

**paris-belleville**  
école nationale supérieure d'architecture



Universidad  
de Navarra

UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST

ÉCOLE DOCTORALE — PARIS-EST  
Ville, Transports et Territoires



Thèse CIFRE

*"La mise en lumière des tours de grande hauteur :  
historique, problématiques contemporaines et évolutions en cours."*

Doctorant	Asier MATEO
Entreprise	Light Cibles, encadrement Louis CLAIR
Laboratoires	ENSAPB, IPRAUS, co-direction Nathalie LANCRET et Jean-Philippe GARRIC ETSAUN, co-tutelle César MARTIN

# 1 LA QUESTION INITIALE

---

***Le développement technologique et les nouvelles approches techniques des projets de mise en lumière des tours permettront respecter les exigences énergétiques et environnementales.***

A partir de l'apparition des premières lampes de gaz dans les villes au XIX<sup>ème</sup> siècle, l'éclairage urbain a changé profondément jusqu'à aujourd'hui.

On a évolué à partir des éclairages purement fonctionnels et de sécurité, vers des mises en lumière riches et complexes qui nous permettent de mettre en valeur les bâtiments et d'offrir une image nocturne des villes alternative à leur apparence diurne<sup>1</sup>. La lumière dans les villes est devenue un symbole de progrès et sa dimension communicative et médiatique permet de fixer son image dans l'esprit d'un public mondial et de fomentier le tourisme nocturne. Des exemples comme les *skylines* de New York ou de Shanghai évoquent une image, une culture.

Actuellement, l'éclairage architectural expérimente une profonde révolution et une incertitude pour l'avenir touchant presque tous les aspects. L'éclairage dans la ville est en train d'évoluer dans un premier temps grâce à l'implantation des normes et certifications en matière d'efficacité énergétique et de pollution lumineuse et ensuite à cause de l'arrivée d'une technologie *led*<sup>2</sup> qui monopolise le marché depuis l'année 2000.

Socialement, se dessine ainsi un conflit entre le désir d'exprimer une image de modernité et le respect de la nature. Se dirige-t-on vers des façades média toujours plus lumineuses ou, veut-on plutôt préserver la vision d'un ciel étoilé ? Faut-il éclairer la ville ? Pourquoi ? Qu'est-ce qu'il faut mettre en lumière et comment ? Quels seront les concepts et techniques dominantes en matière d'éclairage architectural dans les années prochains ? Quelle sera la technologie des appareils d'éclairage par rapport à son intégration, sa consommation et sa vie utile ? Quelles normes et certifications seront imposées ?

La clé se trouverait dans un équilibre entre les capacités esthétiques et les exigences écologiques. Cela serait-il possible ?

## **Pourquoi les tours ?**

Notre approche de la recherche sera liée aux villes et aux tendances urbaines globales présentes et futures. Les Nations Unies<sup>3</sup> ont récemment estimé que la population mondiale sera de 9 milliards de personnes à l'horizon 2050, soit une augmentation d'environ 40% par rapport à la situation actuelle. Simultanément, d'ici 2050, les projections considèrent que 80% des habitants de la planète seront des citadins.

Cette concentration massive dans les villes a produit une augmentation significative des tours de grande hauteur dans le cœur de ces noyaux urbains. Si on analyse les perspectives démographiques et architecturales dans les villes, on voit qu'il y a des évidences que nous font penser que cette tendance

---

<sup>1</sup> L'éclairage architectural qui poursuivait la valorisation des architectures a été protagoniste dans les Expositions Intentionnelles de Paris 1889, 1900, 1937. A partir de 1960, l'éclairage des monuments dans les villes est devenu une pratique habituelle et la mise en lumière est liée à la mise en valeur.

<sup>2</sup> LED : Une diode électroluminescente (DEL), (en anglais : Light-Emitting Diode, LED), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

<sup>3</sup> Nations Unies: l'Organisation des Nations Unies dans un rapport de prospective sur l'urbanisation, World Urbanization Prospects, rendu public en octobre 2006.

peut continuer dans les décades futures. L'architecture verticale se démarque nettement. « Les tours poussent comme des champignons, avec une course à la hauteur et à l'image la plus prestigieuse »<sup>4</sup>.

Les tours sont considérées aujourd'hui comme les nouveaux monuments des villes et constituent leur cœur : objets, sculptures imposantes, symboles de pouvoir, de la technique et de la technologie, les protagonistes des quartiers et des *skylines*. L'image de la tour est omniprésente depuis tous les points de la ville et sa mise en lumière constitue un risque et à la fois une motivation.

## 2 L'ETAT DE L'ART

---

Les publications en matière d'éclairage architectural et urbain qui nous seront utiles pour le développement de la recherche peuvent se distinguer en cinq groupes d'ouvrages.

Premièrement, nous disposons des livres rédigés par des architectes et concepteurs lumière qui montrent leurs expériences et théories à propos de la lumière. Ils analysent les différentes ambiances lumineuses, les moyens techniques, les problématiques de conception et les démarches environnementales. Ces ouvrages montrent une vision d'ensemble de la problématique qui concerne l'éclairage aujourd'hui. Dû à ce caractère généraliste, nous devons nous concentrer sur les ouvrages les plus orientés vers l'éclairage dans la ville et sur celles concernant la mise en lumière des bâtiments de grande hauteur<sup>5</sup>.

Il existe également des manuels techniques écrits par des ingénieurs spécialistes. Ces livres offrent une forte base pour ce qui concerne les théories scientifiques, le vocabulaire technique spécifique, les unités des magnitudes d'éclairage et les dernières avancées du secteur<sup>6</sup>.

D'autre part, on trouve des livres qui offrent des formules simples d'application générales des systèmes d'éclairage. Ces publications, créées souvent par les grands fournisseurs internationaux de lampes et luminaires, sont parfois polluées par les objectifs commerciaux de la marque et les informations offertes ne sont pas toujours impartiales. Pour cette raison, il faudra les aborder avec les précautions méthodologiques nécessaires<sup>7</sup>.

A ce stade, nous avons consulté aussi plusieurs thèses doctorales et publications en revues scientifiques sur des sujets proches à ce que nous proposons. Ces publications nous intéressent du point de vue du contenu et rigueur, mais ils seront à la fois des bons exemples en termes de planification, structuration et postérieure mise en page de la recherche.

Finalement, ils existent plusieurs documents provenant des associations professionnelles d'éclairage et aussi les normes et certifications en matière d'efficacité énergétique et pollution lumineuse, qui sont fortement influentes dans le monde aujourd'hui. On considère utiles les ouvrages et documents publiés par l'Association Française de l'Éclairage (AFE) qui concernent l'éclairage dans la ville.

---

<sup>4</sup> Entretien avec l'éclairagiste Louis Clair, 2008.

<sup>5</sup> Voir par exemple Narboni, *Lumière et ambiances. Concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville*, 2006.

<sup>6</sup> Voir par exemple Puente et Valero, *Luminotecnia. Manual para arquitectura y diseño de interiores*, 2011.

<sup>7</sup> Voir par exemple Karcher, Krautter, Kuntzsch, Schielke, Steinke, Takagi, *Erco. Luz en espacios exteriores. Diseño, luminotecnia y prácticas de planificación*, 2009.

### 3 LES HYPOTHESES

---

A notre avis, il est possible de trouver un équilibre entre les capacités esthétiques des tours éclairées la nuit et les exigences énergétiques et environnementales imposées aujourd'hui. On suppose que les tours seront éclairées dans les années suivantes, mais, comment seront leurs mises en lumière ? Quelles seront les caractéristiques des appareils et les techniques développées compatibles ?

Pour l'instant, les hypothèses que nous avons envisagés sont les suivantes :

**«Les appareils d'éclairage de tours seront énergétiquement autonomes»**

A notre avis, dans le futur, on va évoluer vers des techniques basées en la luminance<sup>8</sup> (candela/m<sup>2</sup>) contrairement aux pratiques actuelles, qui valorisent surtout l'éclairage<sup>9</sup> (lux). La luminance est la lumière qui sort d'un matériel avec une direction concrète. Et donc, si on dispose d'un flux stratégiquement dirigé vers l'observateur, on pourra arriver aux résultats plus efficaces, efficients et écologiques<sup>10</sup>.

Cette réduction du besoin énergétique et le profit des énergies solaire, éolique et thermique, permettront possiblement aux appareils d'éclairage être énergétiquement autonomes sans nécessité de câblage.

**«La pollution lumineuse<sup>11</sup> sera inexistante»**

Une conséquence des techniques énergétiquement efficientes serait la limitation de la pollution lumineuse. Un faisceau lumineux orienté vers les observateurs pourrait éviter complètement l'envoi de lumière vers l'hémisphère supérieur. Aujourd'hui, les lois contre la pollution lumineuse prolifèrent surtout en Europe et aux États-Unis. La réglementation plus restrictive qui limite la dispersion vers le haut du flux provenant de sources de lumière artificielle est l'*UNI 108119* (Prescriptions pour la limitation de la dispersion vers le haut du flux lumineux) et s'applique en Italie.

Concernant l'hypothèse méthodologique, nous avons décidé d'enchaîner les temps à partir d'un processus chronologique. On va étudier l'évolution historique et analyser les problématiques présentes en ce qui concerne les pratiques d'éclairage des tours pour arriver à formuler les hypothèses des évolutions prévisibles.

---

<sup>8</sup> Luminance : La luminance  $L$  est l'intensité lumineuse d'une source lumineuse étendue dans une direction donnée, divisée par l'aire apparente de cette source dans cette même direction. Son unité est le candela/m<sup>2</sup>.

<sup>9</sup> Eclairage : L'éclairage d'une surface est le flux lumineux reçu par unité de surface. Son unité est le lux.

<sup>10</sup> Voir la référence bibliographique suivante : "Luminotecnia. Manual para arquitectura y diseño de interiores". (Puente R. et Valero I., 2011).

<sup>11</sup> Pollution lumineuse : La pollution lumineuse est la lumière qui est projetée vers le ciel par l'éclairage artificiel.

## 4 LE CHOIX DU CORPUS

---

Afin de délimiter une étude globale des éclairages des bâtiments de grande hauteur existants, il a fallu identifier des critères pour définir le corpus de la thèse.

Le premier paramètre que nous avons considéré pour faire le choix, c'est la représentativité des éclairages des tours par rapport aux paramètres que nous avons fixé : la consommation énergétique et l'impact environnemental. Les tours considérés devront montrer des exemples de mises en lumière historiquement innovantes en matière d'efficacité énergétique et respect environnemental.

Chacune de ces évolutions suppose à la fois un changement de génération en matière d'éclairage architecturale. Par conséquent, toutes les générations seront prises en compte dans notre travail, et leur enchaînement nous permettra concevoir une ligne évolutive de l'éclairage des tours.

Même si ce paramètre nous permet déjà d'exclure un nombre substantiel de bâtiments de notre corpus d'étude, il sera nécessaire ajouter un deuxième filtre qui nous permettra de nous focaliser sur des tours qui nous intéressent particulièrement: les tours de plus de 300 mètres d'hauteur. Pourquoi nous avons choisi la hauteur comme caractéristique distinctive pour concrétiser la recherche ?

La plupart de classifications de tours et gratte-ciels se basent en la hauteur car elle permet de faire une comparaison directe et de déterminer un *ranking* objectif. Nous avons dû délimiter un seuil, une valeur de hauteur sur laquelle nous allons concentrer notre sujet d'étude et recherche: les tours de plus de 300 mètres de hauteur. Et pourquoi les 300 mètres ?

En cherchant les informations et données nécessaires pour initier cette recherche, nous nous sommes rendu compte qu'il existe des évidences qui nous font penser que les 300 mètres ont supposé une barrière technique qui a limité leur construction.

Jusqu'à aujourd'hui, il y a environ 70 tours de plus de 300 mètres et environ 703 tours comprises entre 200 et 300 mètres de hauteur. En revanche, en 2015, les chiffres vont changer drastiquement. Il y aura environ 133 tours de plus de 300 mètres et 772 comprises entre 200 et 300 mètres. Selon ces données, la tendance future de la construction des tours est évidente, et comme il nous intéresse réaliser des études sur un sujet d'actualité, nous allons nous focaliser sur l'éclairage des tours de plus de 300 mètres de hauteur.

		Hauteur en mètres	
		200-300	300
Année	2013	703	70
	2015	772	133
Taux de croissance en %		10%	90%

Figure 1. Evolution de la construction de gratte-ciels entre 2013 et 2015  
SOURCE : [www.skyscraperpage.com](http://www.skyscraperpage.com)

Les tours les plus hautes sont particulièrement intéressantes du point de vue urbain, parce qu'elles ont une présence et un impact évidents sur l'environnement où elles s'insèrent. Autrement, au niveau technique, de puissance installée et consommée, d'installation et de maintenance des dispositifs d'éclairage, ce type de constructions présentent une complexité élevée et représente un défi fortement attractif.

De plus, il ne faut pas oublier que 300 mètres est une hauteur symbolique parce que c'est la hauteur de la tour Eiffel, qui a été la tour plus haute du monde pendant 40 ans. Aujourd'hui, la tour Eiffel est le bâtiment plus célèbre du monde grâce à, entre autres, ses mythiques mises en lumière au long de sa histoire. Cette tour sera sans aucun doute une des protagonistes de la recherche.

En conclusion, si nous superposons les deux critères antérieurement mentionnés, nous allons définitivement étudier les exemplaires de plus de 300 mètres de hauteur qui ont proposé une nouveauté en termes de consommation énergétique et d'impact environnemental. Cela nous permettra d'analyser l'évolution historique de l'éclairage des tours et établir une classification typologique à partir d'une sélection qui ne dépassera la dizaine de bâtiments.

À la date, on n'a pas encore précisé la sélection finale mais on peut avancer quelques bâtiments qui ont été choisis, comme la Tour Eiffel (1889), l'Empire State Building (1931), les tours Petronas (1974) et le Burj Khalifa (2010).

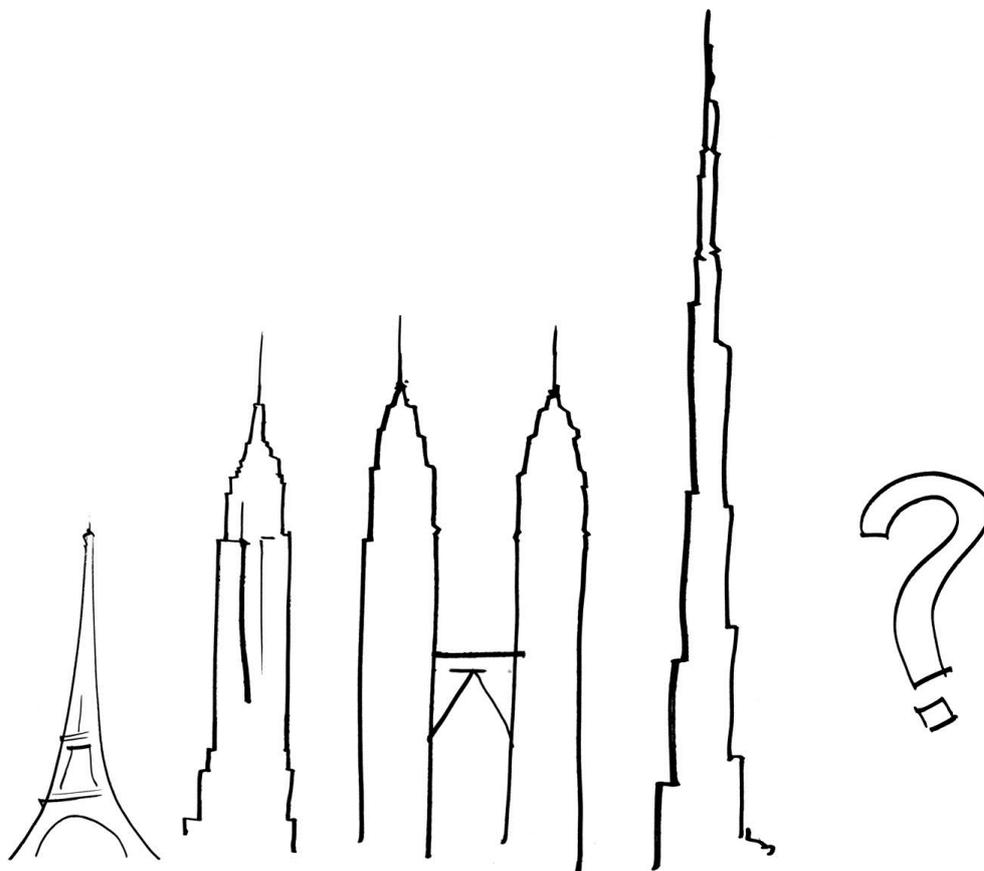


Figure 2. Comparative selon la hauteur  
SOURCE : Crédit personnel

## 5 LA METHODE

---

Lors de cette recherche il y aura trois parties à traiter de manière progressive : l'historique, les problématiques contemporaines et les évolutions en cours. Ce dernier point sera considéré le protagoniste, et occupera un important pourcentage du temps et de l'effort.

### 5.1 L'historique

Pour comprendre le présent et pour disposer d'éléments permettant de se projeter dans l'avenir il est indispensable d'analyser le passé. Nous nous proposons d'étudier l'évolution des mises en lumière des tours de grande hauteur tout au long de l'histoire selon les principales problématiques présentes : l'efficacité énergétique et la considération environnementale. On se concentrera sur les tours plus représentatives pour établir des comparaisons et pour obtenir une classification.

### 5.2 Les problématiques contemporaines

Depuis la fin du XXème siècle, il existe une préoccupation sociale et économique générale en hausse par rapport à la consommation énergétique et la pollution. Dans le domaine de l'éclairage urbain, les gens sont motivés de voir les tours éclairées, mais ils refusent le gaspillage énergétique et ils veulent voir le ciel étoilé. Le but principal des architectes éclairagistes consiste à optimiser, gérer et marier les aspects écologiques, économiques et esthétiques pour faire accepter le résultat final à la société.

Une question clef qui concerne la problématique actuelle est le développement durable<sup>12</sup>, où s'inscrit l'accomplissement des normes et l'obtention des certifications en matière d'efficacité énergétique et de pollution lumineuse. Nous croyons que dans le contexte des *smart cities* de l'avenir, ces normes et certifications seront protagonistes et auront un impact considérable. D'entre toutes les normes et certifications existantes, nous allons choisir les plus appliquées pour étudier leurs respectives demandes et bénéfices. On croit que ces documents peuvent indiquer des aspects très utiles pour essayer d'établir les hypothèses des scénarios d'évolution par rapport aux technologies et techniques d'éclairage.

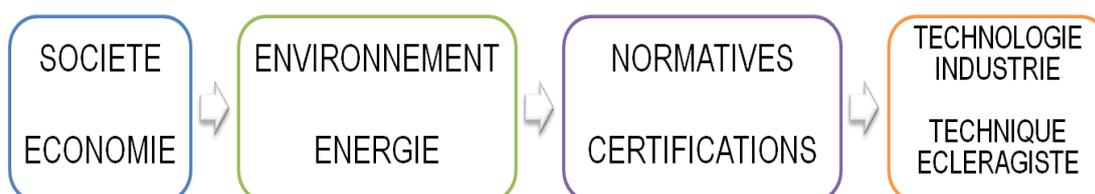


Figure 3. Importance des normes et certifications pour le développement des produits et projets d'éclairage  
SOURCE : Crédit personnel

---

<sup>12</sup> Développement durable (Rapport Brundtland, 1987): Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.

### 5.3 Les évolutions en cours

L'architecture se base en l'anticipation et nous, en tant qu'architectes, nous sommes des créateurs qui devons souvent nous anticiper afin de concevoir dans le présent les constructions pour le futur. Cette façon de création nous oblige à cerner au mieux les paramètres socio-économiques, techniques et juridiques qui nous permettront de maîtriser les évolutions prévisibles.

La partie finale de la thèse sera consacrée à l'anticipation de ce que pourrait se passer dans les années qui viennent, c'est-à-dire, *se projeter dans l'avenir*. Nous ne ferons pas de la divinatoire ni de la prospective basée sur des données statistiques. Par contre, nous nous proposons d'anticiper les développements en cours les plus importants qui seront fondamentales pour se projeter dans l'avenir et conclure les scénarios d'évolution.

Il faudra définir les éléments d'étude, analyser les jeux d'acteurs et trouver les informations nécessaires pour constituer une base solide. Une fois cernés au mieux ces paramètres qui nous permettront d'anticiper, nous déterminerons les scénarios résultants. Qu'est-ce que va se passer, comment et quand ?

Mais, qu'est-ce qu'on peut prévoir ? Nous devons repérer les différents scénarios les plus probables et mesurer le risque d'inexactitude des conclusions. Pour ce motif, on établira différents degrés de fiabilité pour les conclusions auxquelles on arrivera.

### 5.4 L'approche visuelle

Pour les chapitres qui concernent l'historique et les problématiques contemporaines, nous accompagnerons le texte avec des documents graphiques qu'illustrent et clarifient le contenu étudié. Nous nous servirons des photos et des vidéos, des élévations et des plans d'implantation, des détails constructifs de la fixation du matériel et du passage du câblage, des diagrammes de distribution lumineuse dans la façade et des courbes photométriques des dispositifs d'éclairage (photométries).

D'autre part, nous aurons besoin de faire des dessins à la main et de créer des modèles 3D pour représenter les scénarios d'évolution prévus.

## 6 LES OBJECTIFS POURSUIVIS

---

La mise en lumière des tours de grande hauteur est un marché en hausse qui peut constituer un pourcentage important des chiffres d'affaire de *Light Cibles* dans les années qui suivent. Cette thèse permettrait au bureau d'éclairage d'avoir des hypothèses utiles qui nous permettraient d'anticiper pour être les premiers à innover en ayant comme objectif le maintien de *Light Cibles* au plus haut niveau concernant la conception lumière internationale.

D'autre part, nous voudrions développer une thèse que soit à la fois, la base et la référence des travaux de recherche postérieurs concernant l'éclairage architectural des tours de grande hauteur. Il faudra approfondir le sujet en étant méthodique tout au long du procès afin d'obtenir des conclusions pour les chercheurs qui pourront, par la suite, continuer et enrichir la recherche dans ce domaine. De plus, nous sommes aussi très motivés pour développer un travail qui soit intéressant et accessible pour un public plus large et contribuer ainsi à diffuser la culture de la lumière.

## 7 LA STRUCTURE DE LA THESE

---

La thèse, telle que nous l'imaginons aujourd'hui, sera structurée de la façon suivante:

### A INTRODUCTION

- A.1 OBJECTIFS
- A.2 METHODOLOGIE

### B HISTORIQUE

- B.1 SELECTION DE TOURS
- B.2 EVOLUTION ET CLASSIFICATION

### C PROBLEMATIQUES CONTEMPORAINES

- C.1 EFFICIENCE ENERGÉTIQUE ET POLLUTION LUMINEUSE
- C.2 NORMATIVES ET CERTIFICATIONS

### D EVOLUTIONS EN COURS

### E CONCLUSIONS

### F BIBLIOGRAPHIE / CONTACTS

### G ANEXES

## 8 LES ENGAGEMENTS VOLONTAIRES

---

Pendant la durée de la thèse doctorale, nous nous sommes proposés les suivants engagements volontaires chaque année (2014, 2015 et 2016) :

- Une publication dans une revue scientifique indexée.
- Une conférence résultat des avancées en la recherche.
- Un voyage stratégique pour visiter les tours objet d'étude.
- Assistance à une exposition de matériel d'éclairage.

## 9 L'ENCADREMENT DE LA THESE

---

La thèse se déroulera 60% du temps au sein du bureau d'éclairage architectural *Light Cibles* et 40% à l'ENSAPB (en co-tutelle avec l'école d'architecture espagnole ETSAUN).

L'encadrement à l'entreprise sera assuré par Louis Clair, *Light Cibles*.

Le doctorat sera co-dirigé par Nathalie Lancret et Jean Philippe Garric, ENSAPB, (en co-tutelle avec César Martín, ETSAUN).

Nathalie LANCRET	ENSAPB	Architecture et urbanisme
Jean Philippe GARRIC	ENSAPB	Histoire de l'architecture
César MARTÍN	ETSAUN	Installations et énergie dans l'architecture
Louis CLAIR	Light Cibles	Éclairage urbain et architectural