

## Projet de Fin d'Etudes

**Comment calculer et anticiper simplement la consommation électrique de l'éclairage urbain de Lyon ?**



**Dardeau Adrien**

**2016-2017**

**S9**

**Directeur de recherche**

**MAÏZIA Mindjid**





# Comment calculer et anticiper simplement la consommation électrique de l'éclairage urbain de Lyon ?

Directeur de recherche : MAÏZIA Mindjid

Auteur : DARDEAU Adrien

**2016**

## Formation par la recherche et projet de fin d'études en génie de l'Aménagement

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

**Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.**

## Remerciements

Je souhaite remercier vivement :

- M. Maïzia, pour avoir encadré ce PFE, pour m'avoir donné de précieux conseils et pour avoir pris le temps de répondre à mes questions. Je tiens aussi à le remercier pour son accord d'utilisation du logiciel Toaster qu'il a développé.
- M. Serrhini, pour m'avoir aidé sur la méthode de collecte de données, notamment celles que j'ai effectué sur le terrain.
- Kévin PROUST, mon collègue d'étude, pour m'avoir invité (et supporté) durant son excursion à Lyon afin que je puisse effectuer des observations sur le terrain.

# SOMMAIRE

Formation par la recherche et projet de fin d'études en génie de l'Aménagement .....	3
Remerciements .....	4
SOMMAIRE .....	5
Introduction.....	6
I) L'éclairage urbain : Début d'un outil fonctionnel devenu élément-clé de l'urbanisme.....	7
1) Aperçu historique.....	7
2) Le non-jour, la période primordiale pour l'éclairage public.....	9
3) L'éclairage public : un parent pauvre dans l'aménagement des villes pourtant élément de valorisation.....	10
4) Lyon, la Ville-Lumière .....	12
II) La simplification du calcul de la consommation électrique .....	17
1) L'intérêt de simplifier le calcul de la consommation électrique de l'éclairage public .....	17
2) Une consommation électrique dépendante de la voirie, de la surface des terrains de sport et des sites illuminés dans le cadre du Plan Lumière .....	17
III) Les variables prises en compte .....	19
1) La puissance électrique .....	19
2) Le temps d'allumage de l'éclairage urbain.....	25
3) Récapitulatif des variables et des formules mathématiques.....	29
IV) Résultats et explications .....	31
1) Résultats.....	31
2) Étude de la sensibilité .....	32
Conclusion .....	34
Bibliographie/Webographie .....	35
Pour aller plus loin.....	37
Annexes .....	38
Table des matières .....	49
Table des figures.....	50

# Introduction

L'éclairage public est un poste très gourmand en électricité. En 2009, l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) dénombrait 9 millions de lampes en France destinées à l'éclairage des villes et des campagnes. La puissance totale utilisée s'élevait alors à 1,26 MW, soit l'équivalent d'un réacteur nucléaire.

Si l'éclairage public est assigné généralement à un usage fonctionnel et sécuritaire, son rôle s'est étendu à partir des années 1990 pour devenir aussi un outil de valorisation urbaine. Aujourd'hui, ce domaine est concerné par la politique du développement durable qui impose de réduire la consommation électrique. Cette diminution de consommation passe aussi bien par les économies d'énergie que par l'emploi de techniques alternatives comme les lampes LED ou les extinctions de réseaux. Les nuisances lumineuses sont un autre aspect que le développement durable incite à réduire du fait de leur impact sur le rythme de vie des animaux, surtout les insectes.

Pour calculer et déterminer la consommation électrique dédiée à l'éclairage urbain, les données sont issues de documents techniques précisant les installations électriques sous la voirie, notamment le Certificat d'Économie d'Énergie (CEE) réalisé par le maître d'ouvrage qui indique la consommation en kW.h lors d'une opération de travaux. Cette méthode peut être longue du fait du grand nombre de document et se révèle parfois compliquée si plusieurs opérations ayant eu lieu à des dates différentes se superposent. Les grandes villes sont souvent les premières à souffrir de cette limite.

L'ADEME de son côté procède habituellement en établissant un inventaire exhaustif des points lumineux, un inventaire financier et en inspectant les armoires de commande. Ce procédé présente l'inconvénient d'être onéreux pour les petites communes et lorsque ces dernières n'ont pas de service d'éclairage dédié, l'exhaustivité n'est pas toujours utile, conclusion que donnait en 2013 le Centre d'Études Techniques de l'Équipement Méditerranée pour la ville d'Arles/Tech (2 700 habitants).

L'objectif de ce Projet de Fin d'Études sera d'établir une modélisation simplifiée du calcul de la consommation énergétique de l'éclairage public. Si cette méthode s'avère fiable, l'impact des nouvelles constructions et des rénovations pourrait être plus facilement anticipée et cela permettrait de simplifier les calculs de la consommation énergétique du réseau.

Nous appliquerons notre méthode à la ville de Lyon. Il s'agit en effet d'une ville pionnière sur l'éclairage public puisqu'elle a été la première commune française à mettre en place un Plan Lumière, un document urbain permettant de valoriser le patrimoine durant la nuit et de créer des effets de mise en scène par le biais d'éclairages. Nous pouvons donc imaginer que la conception de l'éclairage public de Lyon ait été très développée.

Dans un premier temps, nous établirons un résumé historique de l'éclairage public pour déterminer le contexte dans lequel il s'inscrit aujourd'hui. Par la suite, nous insisterons sur l'intérêt de la simplification du calcul de la consommation énergétique. Nous détaillerons ensuite notre méthode de calcul et justifierons les variables ainsi que les formules mathématiques permettant d'y aboutir. Enfin, nous comparerons le résultat calculé aux résultats réels pour en déduire la fiabilité de la modélisation.

## I) L'éclairage urbain : Début d'un outil fonctionnel devenu élément-clé de l'urbanisme

### 1) Aperçu historique

L'éclairage public est né bien longtemps après la création des premières villes. De l'Antiquité jusqu'au milieu du XVIIe siècle, on s'éclairait la nuit avec de simples torches tenues en main. La ville à cette époque avait donc une très forte insécurité la nuit tombée et les meurtres nocturnes en pleine rue étaient monnaie courante. Au XIVème siècle, des progrès minimes ont été réalisés du fait de la présence de cierges allumés dans les madones aux intersections des rues et de lanternes destinées à éclairer les enseignes mais l'insécurité régnait toujours, notamment dans les petites rues.

C'est en 1662 que Louis XIV décida « d'établir en la Ville et faubourgs de Paris [...] des porte-lanternes et porte-flambeaux pour conduire et éclairer ceux qui voudraient aller et venir par les rues » selon le *Guide pour la conception de l'éclairage public en milieu urbain* (1981). Plus de 5000 lanternes à chandelles sont donc suspendues à des cordes dans les rues de la capitale. On considère souvent ces installations comme le premier véritable éclairage public en France du fait que toutes les rues furent éclairées par des moyens mis en place par l'État.

En 1744, la lampe à réverbère est inventée. Ce dispositif est composé d'une lampe à huile et d'un réflecteur en métal argenté qui permet une meilleure luminosité. La découverte du gaz d'éclairage en 1798 par Philippe Lebon permet de perfectionner le système en 1829 avec le service de gaz dont les premiers appareils sont installés sur la place du Carrousel.

L'éclairage électrique fit ses premiers pas en 1878 sur la place et l'avenue de l'Opéra avec des candélabres équipés de globes Jablotchkov. Un succès qui inspira d'autres villes comme Rome qui éclaira le Colisée par cette méthode. Très vite, l'électricité s'imposa. Les lampes à incandescence apparaissent en 1879 mais ne prennent véritablement le relais qu'en 1910, le remplacement est progressif et finit par avoir le monopole dans l'éclairage public jusque dans les années 1950.

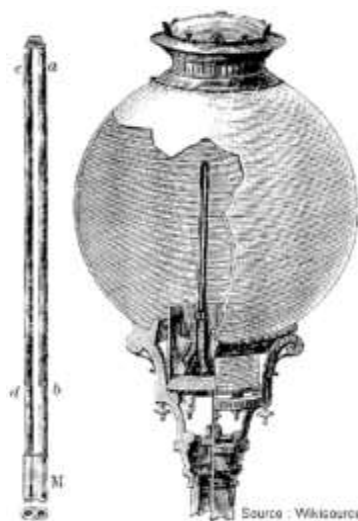


Figure 1 - Une lampe Jablotchkov, une des premières lampes électriques utilisées dans l'éclairage public



Aujourd'hui, avec les enjeux du développement durable, l'éclairage urbain est reconnu comme la principale source de nuisance lumineuse<sup>1</sup>, ce qui perturbe le cycle de vie des végétaux et des animaux et rend le ciel nocturne impossible à observer. L'ampleur du phénomène est tel que, selon l'astrophysicien Yvan Dutil dans son rapport *Qui a volé les étoiles ?* publié en 2002, lorsque Los Angeles s'est retrouvé privé d'électricité en 1994 après un tremblement de terre et que des « lumières dans le ciel » sont apparues, l'observatoire local s'est retrouvé avec de nombreux appels téléphoniques des habitants inquiets. L'observatoire les rassura alors en disant que c'était des étoiles.

La tendance observée est aux lampes plus économes, notamment les LED, les tubes fluorescents ou encore les lampes à iodure métallique afin de réduire l'impact énergétique de l'éclairage urbain. Des techniques sont également développées pour améliorer l'efficacité de l'éclairage comme des lampadaires orientés totalement vers le sol ou la mise en place de capteurs pour adapter l'éclairage en fonction du trafic. À l'inverse, certains modèles de luminaires comme les lampadaires « boules » sont souvent rejetés du fait qu'ils envoient une grande quantité de lumière vers le ciel et peu vers le sol.



Figure 2 - Un lampadaire à LED orienté vers le sol, un des modèles prônés par la politique de développement durable.

---

<sup>1</sup> Il arrive de plus en plus fréquemment que la « pollution lumineuse » soit désignée sous le terme de « nuisance lumineuse » puisque les conséquences de cette pollution cessent immédiatement dès que l'alimentation électrique n'est plus assurée.



Figure 3 - Un lampadaire à boule, un modèle proscrit si on souhaite éviter les nuisances lumineuses.

Par ailleurs, l'éditeur d'études Xerfi a relevé que, toujours dans le but de consommer moins d'énergie électrique, l'éclairage urbain tend maintenant à s'intégrer dans les systèmes des smart cities, ce qui se traduit souvent par la mise en place de détecteurs de mouvements qui permettent d'adapter l'éclairage en fonction du trafic routier. Cette technique trouve généralement son utilité dans les rues peu fréquentées.

## 2) Le non-jour, la période primordiale pour l'éclairage public

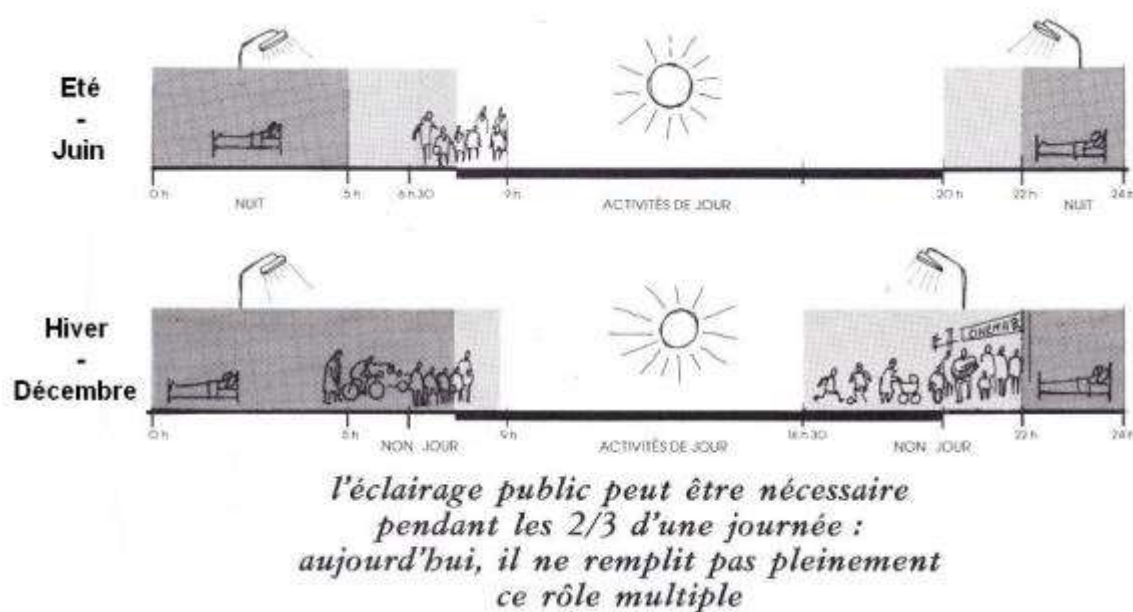
Durant la nuit, la ville poursuit son activité dans la continuité du jour. On distingue généralement trois grandes périodes de la journée : le jour, la nuit profonde et entre les deux, une période de transition. Cette période de transition, que le Ministère des Transports appelait « Non-jour » dans son *Guide pour la conception de l'éclairage public en milieu urbain*, est une période où les activités diurnes se poursuivent et où parfois des activités spécifiques se mettent en place. On peut citer par exemples les services de restauration qui continuent de fonctionner tardivement en soirée, les discothèques qui fonctionnent quasi-exclusivement durant la nuit, les spectacles de plein air qui

profitent de l'obscurité naturelle et des éclairages artificiels pour créer une ambiance particulière, etc.

Cette période de non-jour a une durée variable tout le long de l'année et en fonction de la latitude. En France au mois de juin, la nuit profonde dure de 0h à 5h, elle est suivie d'une période de non-jour où les habitants commencent à partir au travail, surtout à partir de 6h30, et le jour complet ne s'impose que vers 8h. Le non-jour reprend vers 20h où il dure jusqu'à 22h avant que la nuit profonde ne prenne le relais. Le non-jour dure ainsi 5h en été.

Au mois de décembre, toujours en France, la période nocturne dure bien plus longtemps. La nuit profonde dure de 0h jusqu'à 8h suivie d'une courte période de non-jour jusqu'à 9h. Elle reprend vers 16h30 et dure jusqu'à 22h avant de céder sa place à la nuit profonde. Le non-jour dure 6h30 en hiver et est surtout présent en soirée.

L'éclairage public trouve principalement son intérêt durant cette période de non-jour pour assurer la poursuite des activités. Cet intérêt est moindre dans la nuit profonde sauf au moment des départs au travail vers 5h. On peut déjà déceler de possibles économies d'énergie en éteignant l'éclairage public durant la nuit profonde, ou du moins en réduisant l'intensité lumineuse pour diminuer la consommation électrique.



Source : Guide pour la conception de l'éclairage public en milieu urbain

Figure 4 - Décomposition des périodes de la journée.

### 3) L'éclairage public : un parent pauvre dans l'aménagement des villes pourtant élément de valorisation

L'éclairage public est souvent un parent pauvre de l'aménagement, il est souvent intégré à la fin des projets en se basant sur un seul critère : la mauvaise visibilité nocturne. Cela est partiellement justifié du fait que pendant longtemps, le rôle de l'éclairage public était uniquement cantonné à la sécurité de la circulation. Pourtant, ce rôle a été élargi ces dernières années, l'éclairage public peut mettre en valeur des bâtiments et servir à créer des atmosphères uniques qui ne peuvent avoir lieu



que durant la nuit. Les éléments existants la nuit sont ceux qui sont éclairés, les autres qui sont plongés dans le noir passent inaperçus pour les passants et sont même évités.

La ville de Tours par exemple utilise l'éclairage pour promouvoir son patrimoine historique. La nuit tombée, on peut voir la cathédrale illuminée par des projecteurs situés au sol et sur les façades du bâtiment. L'orientation des projecteurs vers le haut et l'uniformité de la couleur de la lumière permet de mettre en valeur la hauteur de la cathédrale et par découlement son volume imposant. Sur la place Plumereau, des éclairages jaunes et blancs valorisent le sol et les commerces situés de part et d'autre de la place, la lumière dégagée s'ajoute à celles émises par les vitrines des commerces tandis que les lieux en hauteur restent dans l'ombre. Dans l'avenue Nationale, les chemins piétons sont légèrement moins éclairés pour mettre en avant l'allée centrale traversée par le tramway et surtout les boutiques de part et d'autre de la rue qui sont une source lumineuse importante. Ces différents exemples démontrent que l'éclairage urbain peut créer de véritables ambiances spécifiques et influent souvent sur les ressentis des éléments urbains.



Figure 5 - La place des Jacobins à Lyon est valorisée par de multiples sources de lumières. Seul le ciel est obscur, ce qui crée un contraste valorisant les éléments urbains.

Pourtant, encore aujourd'hui, l'image de l'éclairage public est associée à la sécurité comme l'a montré un sondage d'Ipsos pour une commande du Syndicat de l'éclairage dans le cadre du développement durable. Selon ce sondage, 91% des 1001 personnes interrogées pensent que l'éclairage public joue un rôle important pour leur sécurité, notamment le soir et la nuit. Il dénote également l'importance pour les interrogés de moderniser le réseau d'éclairage public et d'utiliser des lampes économes en énergie. Même s'il faut nuancer ce sondage du fait qu'il a peut-être été biaisé en servant l'intérêt du syndicat, la sécurité reste l'aspect primordial de l'éclairage public aux

yeux des habitants. On notera tout de même une certaine importance accordée à la mise en place d'une vie de quartier et à la mise en valeur du patrimoine.

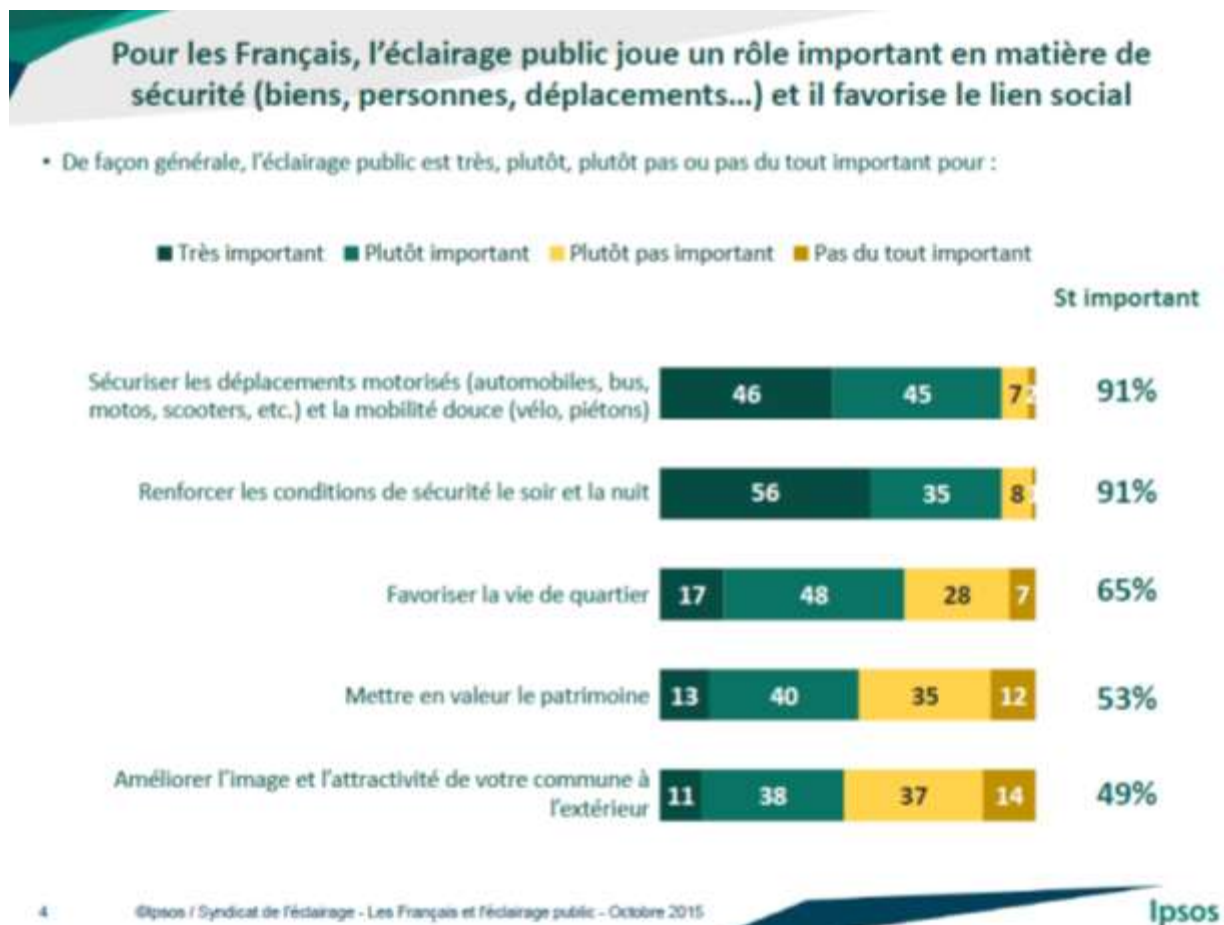


Figure 6 - La sécurité reste le point primordial de l'éclairage public pour les français selon le sondage réalisé par l'Ipsos.

#### 4) Lyon, la Ville-Lumière

##### a. Les moyens mis en œuvre

La ville de Lyon est considérée comme une ville précurseur en éclairage public. Elle a établi son premier Plan Lumière à la fin des années 1980, ce qui en fait une des premières villes à avoir adopté ce nouveau document. Cela a participé à l'établissement d'un paysage nocturne et par découlement d'une vie nocturne. En effet, ce plan a permis de déterminer les éléments à valoriser dans les rues durant la nuit, la ville réputée triste et cachée avant cette période vit à présent durant la phase nocturne. Selon Jean-Pierre Charbonneau, urbaniste et consultant en politiques urbaines, on visite même la ville durant la nuit du fait de l'ambiance propre créée durant la phase nocturne.



Figure 7 - Lyon de nuit vu depuis le Rhône.

« La lumière a contribué à changer Lyon. C'est à présent une ville moderne, rajeunie, vive, attractive. » Jean-Pierre Charbonneau, in revue Topo, 2005.

Toujours selon Charbonneau, Lyon possède de nombreux éléments patrimoniaux et architecturaux à valoriser mais aussi des quartiers avec des histoires et des identités propres. Dans un cas comme dans l'autre, la lumière urbaine peut aider à voir ces personnalités, voire à les raconter. La municipalité a même poussé le concept plus loin puisqu'elle a mis en place des fêtes avec la lumière en rôle central, la plus célèbre étant le Festival des Lumières.

Cependant, Charbonneau nuance ses propos en écrivant que l'agglomération prend des précautions pour ne pas tomber dans l'excès. La lumière peut participer à un brouhaha nocturne laissant de côté le premier rôle de la nuit, à savoir le silence et l'obscurité. L'éclairage urbain est par ailleurs sujet à de nombreuses innovations, les communes doivent donc tenter d'intégrer ces nouveaux concepts surtout s'ils permettent de mieux respecter l'environnement et/ou de faire des économies d'énergie conséquentes.

Le Plan Lumière de la ville de Lyon donne des orientations et des priorités qui donnent ensuite lieu à des actions. Il est aussi porteur d'une philosophie et d'une idée globale pour permettre d'instaurer un « esprit » à la ville, cela ne peut être réussi qu'à condition de tenir compte de tous les acteurs vivant la nuit, que ce soit les activités économiques, culturelles, les collectivités, les industriels, les commerçants... L'objectif défini est aussi d'améliorer et de poursuivre ce qui a été fait jusqu'à présent tout en tenant compte des autres projets urbains.

Pour enrichir ce plan, des professionnels de domaines divers et variés (artistes, techniciens, sociologues, urbanistes, industriels, écoles...) ont apporté leur point de vue lors d'ateliers de rencontre. Lyon souhaite mettre en valeur son patrimoine et raconter l'histoire de la ville tout en restant cohérent avec les programmes urbains.

De nouvelles pistes sont aussi explorées. Par exemple, une fois les équipements installés, les éclairages sont la plupart du temps continus avec la même teinte de couleur et la même intensité lumineuse. Le Plan Lumière de Lyon incite donc à ce que la dimension temporelle soit intégrée aux projets pour donner lieu à de nouvelles mises en scène.

Quant au respect environnemental, des mesures sont prises pour diminuer la consommation électrique, recycler le matériel ou protéger le ciel nocturne. Des lampes sans mercure et sans plomb consommant moins d'électricité sont installées, le juste éclairage est recherché tout en modulant le temps d'éclairage et des programmes de dépollution lumineuse sont même mis en place. Le parc de la Tête d'Or est ainsi plongé dans l'obscurité pour ne pas perturber le rythme de la faune.

### ***b. Une illumination mais qui ne se répercute pas sur la consommation électrique***

À ce stade, on comprend que Lyon consomme beaucoup d'électricité pour le seul poste de l'éclairage public. Selon les rapports du maire sur les budgets primitifs de la ville de Lyon (voir figures 8 et 9), le nombre de lampes installées n'a cessé d'augmenter, que ce soit pour l'éclairage fonctionnel, la mise en valeur pour le Plan Lumière ou l'éclairage de stade. On notera que la consommation électrique totale diminue au fur et à mesure des années mais que le coût de revient par habitant reste stable. Le coût de fonctionnement par lampe d'éclairage fonctionnel a augmenté en parallèle du coût de l'électricité. Nous pouvons expliquer cela par la mise en place de lampes économes en énergie mais qui nécessiteraient davantage d'entretien. Quant aux lampes du Plan Lumière, le coût de fonctionnement a diminué malgré que le coût pour l'électricité consommé soit resté stable. Nous pouvons en déduire que ces lampes ont été progressivement moins entretenues tout en gardant la même puissance électrique.

La part du budget alloué à l'éclairage public est devenue de plus en plus importante. En recoupant avec la consommation électrique, la cause est liée en partie au coût de l'énergie qui a augmenté ces dernières années mais on peut inculper également les dépenses de fonctionnement qui ont augmenté.

Nous pouvons également remarquer que les recettes de fonctionnement ont brusquement augmenté entre 2013 et 2014, l'écart est de l'ordre d'un facteur 10. Aucune indication n'a été donnée à ce sujet dans les rapports, les revenus engendrés ne semblent pas provenir de la multiplication d'événements mettant la lumière en valeur.

<b>Caractéristique</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2016</b>
Nombre total de lampes...	70 023	71 723	72 712	74 214 (?)
... Dont éclairage fonctionnel	51 397	51 827	52 461	53 499
... Dont mise en valeur	16 325	17 621	17 978	18 635
... Dont éclairage de stade	2 301	2 275	2 273	2 350
Consommation électrique totale (kWh)	35 204 969 (année 2010)	33 912 137	31 303 015	31 303 015 (année 2014)
Coût de fonctionnement par lampe (éclairage fonctionnel) ...	103 €	103 €	108 €	113 €
... Dont consommation d'électricité	61 €	63 €	68 €	73 €
Coût de revient par habitant (éclairage fonctionnel)	11 €	11 €	11,79 €	12 €
Coût de fonctionnement par lampe (Plan Lumière) ...	51 €	44 €	40 €	44 €
... Dont consommation d'électricité	25 €	19 €	22 €	22 €
Coût de revient par habitant (Plan Lumière)	2 €	2 €	1,49 €	2 €

Figure 8 - Les caractéristiques de l'éclairage urbain de Lyon selon les rapports des maires sur le budget primitif.



<b>Budget (en k€)</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2016</b>
Énergie	3 521	3 627	-	4 332
Éclairage public	2 599	2 614	-	2 520
Éclairage des terrains de sport	52	51	-	50
Électrification des marchés alimentaires	12	12	-	12
Festivités	170	172	-	173
Dépenses de fonctionnement	6 533	6 657	7 109	7 266
Recettes de fonctionnement	8,6	8,6	84	71
Équivalent temps plein (sans unité)	98,1	93,3	91,0	93,1

Figure 9 - Le budget accordé à l'éclairage urbain de Lyon selon les rapports des maires sur le budget primitif.

Cette consommation électrique n'est pas liée à l'éclairage ou à l'intensité lumineuse émise, en effet, il n'existe aucune formule mathématique formelle qui relie ces deux aspects. Ce lien dépend de chaque modèle de lampe, aussi bien par la technique d'éclairage employée que par la conception de son fabricant. On ne peut donc juger que l'efficacité lumineuse qui permet uniquement de juger l'intensité lumineuse émise par rapport à la puissance de la lampe, ce qui rejoint l'idée d'une performance.

## II) La simplification du calcul de la consommation électrique

### 1) L'intérêt de simplifier le calcul de la consommation électrique de l'éclairage public

Le réseau d'éclairage public nécessite comme nous l'avons vu une grande quantité d'énergie électrique, la ville de Lyon demande ainsi plus de 30 millions de kWh par an pour son réseau. Cependant, pour calculer cette consommation, la plupart des communes utilisent des méthodes semblables à celle employée par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Cette méthode consiste à faire la somme des consommations de chaque ampoule, y compris pour les projets d'urbanisation. Des relevés sont effectués auprès des armoires de commande pour déduire la consommation et un inventaire financier des abonnements et coûts de consommation est mis en place.

Cette méthode est longue et fastidieuse comme l'a relevé l'Association des Directeurs de Services Techniques Départementaux (ADSTD) à l'occasion de la CoTITA Méditerranée 2013. Les études nécessaires se révèlent coûteuses, notamment pour les petites communes. Elles sont pourtant nécessaires pour anticiper les budgets alloués à l'entretien de l'éclairage public. Par ailleurs, plus la commune est grande, plus le terrain d'études est important, ce qui complexifie la détermination des résultats et rallonge le temps de détermination de la consommation.

Il y a donc un intérêt à définir une méthode de calcul simplifiée. Cela permettrait, à défaut d'être exacte et précise, d'avoir une idée de la consommation électrique générale du réseau d'éclairage public rapidement. Comme la consommation exacte a été indiquée par la mairie de Lyon, nous pourrions comparer les résultats de la méthode avec le résultat réel.

Cependant, aucun chiffre n'a été donné pour l'éclairage de la voirie en particulier. Pour avoir des données comparables, il faudra inclure dans notre méthode les autres éclairages publics, nous ajouterons principalement les éclairages des terrains de sport et les éclairages du Plan Lumière. Ces trois postes représentent la quasi-totalité de la consommation électrique de l'éclairage public.

### 2) Une consommation électrique dépendante de la voirie, de la surface des terrains de sport et des sites illuminés dans le cadre du Plan Lumière

En observant l'éclairage public de n'importe quelle ville, on peut se rendre compte que les luminaires sont disposés régulièrement sur les voiries. De plus, un modèle de lampe particulier, et par conséquent une puissance, semble définie pour chaque type de voirie. En effet, l'installation des luminaires fait l'objet de travaux publics et il est plus aisé de prendre un certain modèle de lampe sur toute une rue, ou du moins un tronçon de rue, surtout avec la logique utilitariste de l'aménagement par l'éclairage public.

Pour notre scénario, nous supposons que chaque catégorie de voirie est équipée du même modèle de lampe, **chaque type de voirie posséderait donc une certaine consommation énergétique pour une certaine longueur considérée**. Autrement dit, si nous prenons deux rues de même importance sur une même longueur, leur consommation électrique serait identique. Suivant cette hypothèse, nous considérerons donc que toutes les voiries de Lyon partagent des caractéristiques techniques communes mais avec des valeurs différentes.

De la même manière, **nous supposons que la puissance liée à l'éclairage des terrains de sport est dépendante de la surface**. Ces terrains doivent être éclairés pour assurer les activités sportives, c'est pourquoi il est nécessaire de disposer un certain nombre de lampes en fonction de la taille du terrain. Dans notre modèle, nous établirons une relation proportionnelle entre ces deux variables.

Enfin, **nous supposons que la puissance électrique dédiée aux installations du Plan Lumière est dépendante du nombre de site**. Du fait de la grande dimension artistique de cet aspect, plusieurs modèles de lampes sont employés pour éclairer les sites urbains, ces lampes peuvent aussi être plus ou moins nombreuses en fonction de la taille du site considéré et de la manière dont il est valorisé. Malgré cela, nous pouvons imaginer qu'il existe une puissance électrique moyenne par site, cette moyenne sera alors multipliée par le nombre total de sites éclairés.



Figure 10 - Sur une même rue, les luminaires sont espacés à intervalles réguliers. Nous pouvons donc imaginer qu'il existe un espacement moyen pour chaque catégorie de voirie.

Une fois les résultats obtenus, nous les comparerons aux données fournies par la mairie de Lyon. Si le résultat est proche, nous pourrions en déduire que la méthode est fiable et inversement, si l'écart paraît trop grand, cela montrera que la consommation électrique ne peut pas être simplifiée par cette méthode.

### III) Les variables prises en compte

Les données transmises par la mairie de Lyon sur la consommation électrique de l'éclairage public sont exprimées en kW.h, ce qui correspond à une énergie. Notre résultat doit donc être sous cette forme. L'énergie étant le facteur d'une puissance et d'une durée, nous aurons donc **E** l'énergie nécessaire à l'alimentation de l'éclairage public, cette variable le résultat de la multiplication de la puissance totale des lampes **P** et de la durée d'éclairage **T**.

#### 1) La puissance électrique

La puissance électrique **P** correspond à la somme totale de la puissance des lampes servant à l'éclairage urbain. Si nous souhaitons simplifier le calcul, nous devons voir plus loin qu'une simple somme de la consommation des lampes ou des armoires électriques. Nous proposons donc de prendre en compte une densité linéique pour chaque catégorie de voirie et de la multiplier par la longueur totale de la catégorie correspondante sur toute la ville.

Comme nous ne possédons pas de chiffre sur la consommation réelle de l'éclairage de la voirie spécifiquement, nous prendrons également en compte l'éclairage des terrains de sport et l'éclairage mis en place dans le cadre du Plan Lumière.

##### *a. La voirie*

Pour déterminer la puissance nécessaire à l'éclairage urbain, nous insisterons particulièrement sur la puissance déployées pour l'éclairage de la voirie. Elle sera le facteur de trois variables : la puissance des lampes, la densité linéique et la longueur des voiries. Le facteur de la densité linéique et de la longueur des voiries donnera le nombre de lampes, il suffira ensuite de multiplier ce nombre par la puissance que nous aurons déterminé pour déterminer la puissance totale des éclairages des voiries.

On peut supposer que l'éclairage de chaque voirie a été conçu pour être adapté au trafic, par conséquent, les catégories de voirie rencontrées à Lyon posséderaient leurs propres valeurs pour chacune des trois variables énumérées. Nous utiliserons la distinction des voiries employée par l'IGN, autrement dit, nous considérerons les catégories suivantes : les autoroutes, les voiries doubles, les voiries simples et les chaussées réservées aux piétons et aux vélos.

##### *a1. La puissance des lampes*

Durant nos observations effectuées à Lyon, nous avons remarqué que chaque type de voirie était généralement équipé du même type de lampe. Par découlement, chaque type de voirie se caractériserait par l'emploi d'une puissance spécifique des lampes **pef**.

Pour chaque type de voirie, nous avons donc relevé le type de lampe rencontrée le plus fréquemment et nous les avons identifié à partir des illustrations du livre *Pratique des VRD et Aménagements Urbains* (BOURRIER Régis, SELMI Béchi publié aux éditions Le Moniteur en 2012) qui consacre un passage sur la typologie des lampes employées en éclairage public, puis nous les généralisons à l'ensemble de la ville.

Par exemple, sur les voiries simples, les lampes que nous avons relevé sont des lampes à LED et des lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP), comme ces dernières étaient majoritaires par rapport aux LED, nous sommes partis du principe qu'il n'y avait que des lampes SHP sur les voiries simples.



Figure 11 - Les lampes à vapeur de sodium haute pression sont les lampes qui ont été vues le plus souvent sur les voiries simples.

Nous nous sommes ensuite basés sur les explications du livre pour déduire la puissance employée. Pour reprendre notre exemple, il est dit dans l'ouvrage que « [Les lampes SHP] sont largement utilisées en éclairage public des voiries, des grands espaces, en illuminations et par projecteurs et bornes. De forme diverses, tubulaire claire à un ou deux culots, ovoïde ou à boule, les lampes ont des puissances étendues allant jusqu'à 1000 W. Les plus courantes sont les SHP 100 W, 150 W, 200 W, 250 W et 400W. ». Comme Lyon est sensible à la question des économies d'énergies de longue date, il est probable qu'elle ait employé des lampes peu consommatrices, notre scénario comprendra donc des lampes de 100 W sur les voiries simples.

### *a2. La densité linéique*

De la même manière que pour la puissance des lampes, chaque type de voirie se caractériserait par une densité linéique  $\sigma$  qui déterminerait le nombre de luminaires par mètre. En fonction de l'importance de la voirie, la surface couverte par l'éclairage de chaque luminaire sera plus ou moins grande. La distance entre lampadaires serait adaptée en conséquence, ce qui définirait une densité linéique spécifique.

Dans la pratique, nous nous sommes rendus compte que cette valeur n'était pas fixe. Cela peut s'expliquer par l'angle d'éclairage des modèles de luminaires employés mais aussi par des contraintes d'aménagements. Par exemple, l'autoroute passant à proximité du musée de la Confluence est construite sur un pont, les luminaires sont implantés au niveau du sol. Sur 3 luminaires successifs, nous avons relevé une distance de 30 mètres entre le premier et le deuxième luminaire tandis qu'elle était de 35 mètres entre le deuxième et le troisième luminaire. En observant l'environnement, nous en avons déduits que cette décision découlait de la nécessité de placer le troisième lampadaire sur un terre-plein. Si la distance était plus faible, il aurait été sur la voirie communale, si elle était plus grande, il aurait été sur les voies des tramways.



Figure 12 - Les luminaires autoroutiers au niveau du musée de la Confluence ne sont pas installés sur le pont mais à même le sol.

L'établissement d'une moyenne semble donc nécessaire pour déterminer les valeurs de la densité linéique. Nous avons mesuré des distances entre lampadaires dans plusieurs rues, notamment les voiries simples étant donné qu'il s'agit des voiries majoritaires à Lyon et nous en avons déduits les moyennes pour chaque catégorie de voiries. Nous obtenons les résultats indiqués dans l'annexe 3, les relevés sont indiqués dans l'annexe 4. Précisons que concernant les voiries doubles et les autoroutes, la densité linéique a été doublée en raison de la présence de deux lampes (une pour chaque côté de la voirie) à chaque mât d'éclairage.

### *a3. La longueur des voiries*

La dernière variable nécessaire pour déduire la puissance totale des lampes d'éclairage des voiries est la longueur totale de chaque type de voirie **L**. Comme nous saurons la densité linéique moyenne pour chacune d'entre elle, la multiplication de ces deux valeurs aboutira au nombre total de lampe.

Pour déterminer cette valeur, nous utilisons les données de l'IGN. L'organisme a en effet créé plusieurs Systèmes d'Information Géographiques de la France entière, y compris pour le réseau routier. Dans ces SIG figurent plusieurs caractéristiques, notamment le type des voiries et la longueur de chaque segment établi. En regroupant par type ces caractéristiques puis en additionnant les longueurs par type, nous obtiendrons la longueur des voiries que nous recherchons. Ces données sont disponibles sur le serveur des données urbaines du Département Aménagement et Environnement de Polytech Tours.



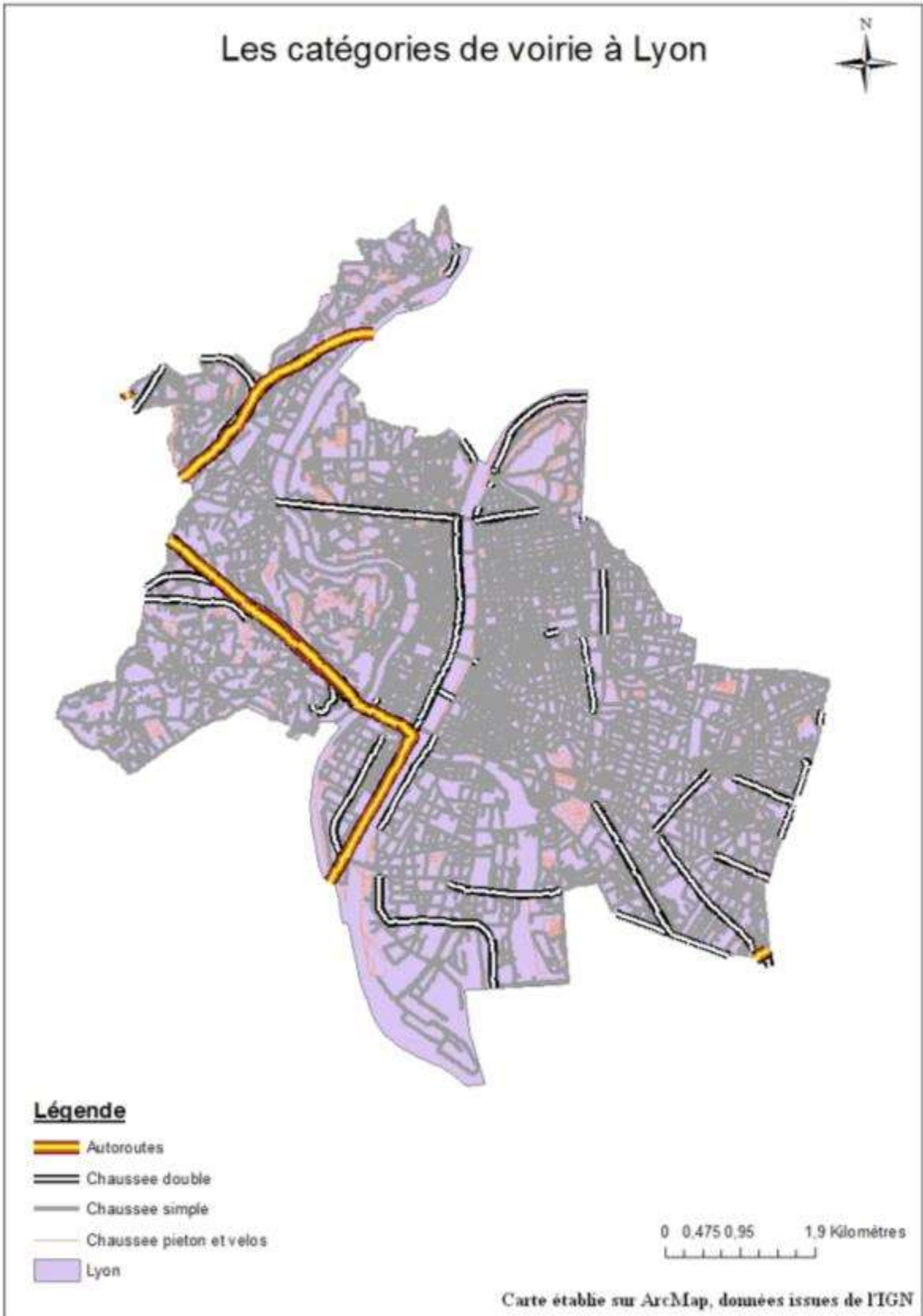


Figure 13 - Les catégories de voirie à Lyon.



## *b. Les terrains de sport*

Même si elle est plus faible par rapport à l'éclairage public, la consommation électrique des terrains de sport n'est pas négligeable, c'est pourquoi elle doit aussi être prise en compte. Nous intégrerons donc une variable **Ps** dépendante de la surface des terrains de sport **S**, du nombre moyen de lampes par mètre carré **NLS** et de la puissance moyenne des lampes d'éclairage **PLS**.

Pour établir le lien de proportionnalité entre la puissance moyenne des lampes et la surface des terrains, nous relèverons ces deux valeurs sur quelques terrains, puis nous en déduirons un coefficient moyen qui sera appliqué à l'ensemble des terrains de la ville.

### *b1. La surface des terrains*

Comme décrit dans notre supposition, nous postulerons que le nombre de lampes **N** est proportionnel à la surface totale des terrains de sport **S**. Ces données ont été récupérées à partir du site Internet officiel de Lyon qui passe en revue les équipements sportifs.

Sur un terrain en extérieur, les surfaces éclairées correspondent principalement aux surfaces où se déroulent les matchs. Pour les terrains en intérieur, il faut considérer d'un côté l'éclairage des terrains et de l'autre l'éclairage des couloirs, des vestiaires et parfois des bureaux, cependant, nous considérerons que ce deuxième aspect a une consommation négligeable devant les premiers. En effet, les terrains se situent dans de vastes salles, pour assurer l'éclairage, il faut donc un nombre important de lampes qui puissent fonctionner pendant toute la durée des séances sportives. Le reste du bâtiment est moins utilisé puisque les personnes n'y transitent que pour changer de vêtements et se diriger vers les terrains, quelques salles abritent du matériel où l'intérêt d'un éclairage est très limité et les bureaux sont trop rares pour que nous en tenions compte.

Nous pouvons alors en déduire la surface éclairée grâce aux réglementations sur les surfaces des terrains sportifs (un terrain de basketball par exemple possède des dimensions entre 22 mètres sur 13 mètres et 28 mètres sur 15 mètres). Par précaution, nous avons pris les dimensions maximales pour chaque terrain.

Il suffit ensuite d'additionner la surface de tous les terrains pour obtenir la surface totale de tous les terrains.

### *b2. La puissance moyenne des lampes et leur densité*

Pour connaître le nombre total de lampes, nous avons besoin de connaître le nombre moyen de lampes sur une surface déterminée. Nous nous appuyons une nouvelle fois sur les réglementations en vigueur pour les terrains sportifs qui imposent souvent un certain éclairage avec un nombre minimum de lampes et/ou de mâts.

Pour les terrains de football en équipes de 11 joueurs par exemple, la réglementation impose que les terrains aient au moins 8 lampes de 600 W, ce qui correspond à une densité moyenne de  $7.4074 * 10^{-4}$  lampe/m<sup>2</sup> si on considère que la surface de jeu est de 10 800 m<sup>2</sup>. Nous faisons ensuite la moyenne de l'ensemble des résultats trouvés.

C'est par la même méthode que nous établissons une puissance moyenne des lampes, cette fois-ci, nous déterminerons le résultat à partir des puissances par lampe habituellement installées sur chaque terrain de sport.

### *c. Le Plan Lumière*

Le Plan Lumière est un poste de dépense énergétique également important, surtout pour la ville de Lyon qui, comme dit auparavant, a acquise une réputation grâce à son éclairage public mettant en valeur son patrimoine. Du fait de la grande dimension artistique de cet aspect, il est difficile d'assigner un nombre d'ampoules ou une surface par site, il paraît donc plus simple d'établir une moyenne de la puissance par site illuminé **P<sub>site</sub>**. Cette moyenne sera ensuite multipliée par le nombre de sites **N<sub>site</sub>** mis en valeur pour obtenir une puissance totale **P<sub>PL</sub>**.

Faute de posséder des informations de la part de la mairie de Lyon si ce n'est le nombre de sites illuminés, nous avons repris des données des villes de Toulouse et de Beaune. Il s'agit de villes qui ont également mis en place un Plan Lumière et qui ont partagé les valeurs des puissances/énergies électriques totales et des nombres de sites illuminés. Nous avons pu en déduire une moyenne que nous avons appliqué à Lyon, cette moyenne est ensuite multipliée par le nombre de sites illuminés dans la ville pour obtenir la puissance totale déployée dans le cadre du Plan Lumière.

## 2) Le temps d'allumage de l'éclairage urbain

Pour déterminer le temps d'allumage de l'éclairage urbain **T**, nous partons du principe que l'éclairage s'allume dès la nuit tombée et s'éteint dès que le jour se lève. Ce temps **T** correspond donc à la somme des durées de la nuit **t** sur chaque journée de l'année. Pour simplifier les calculs, le Soleil est réduit à un point, il n'y a donc pas de moment d'aurore ou de crépuscule. Pour déterminer la durée de la nuit, il nous faut savoir celle du jour que nous appelons **d**. La formule mathématique s'établit à partir d'un calcul trigonométrique. Comme nous allons le voir, **d** dépend de la latitude **λ**, de l'angle d'inclinaison de la Terre par rapport à la normale au plan de l'écliptique **δ** et du rang **n** du jour dans l'année.

### *a. Scénario avec la Terre et l'angle formé par les rayons du Soleil fixes.*

Dans un premier temps, nous déterminons la durée du jour pour une latitude **λ** donnée en fonction de l'angle **α** formé par les rayons solaires avec le plan de l'équateur. Nous supposons que :

- 1) La Terre est une sphère parfaite de rayon **r** et de centre **T**,
- 2) Les rayons du Soleil sont parallèles ( i.e. le Soleil est situé à l'infini),
- 3) Durant la journée, l'angle **α** ne varie pas.

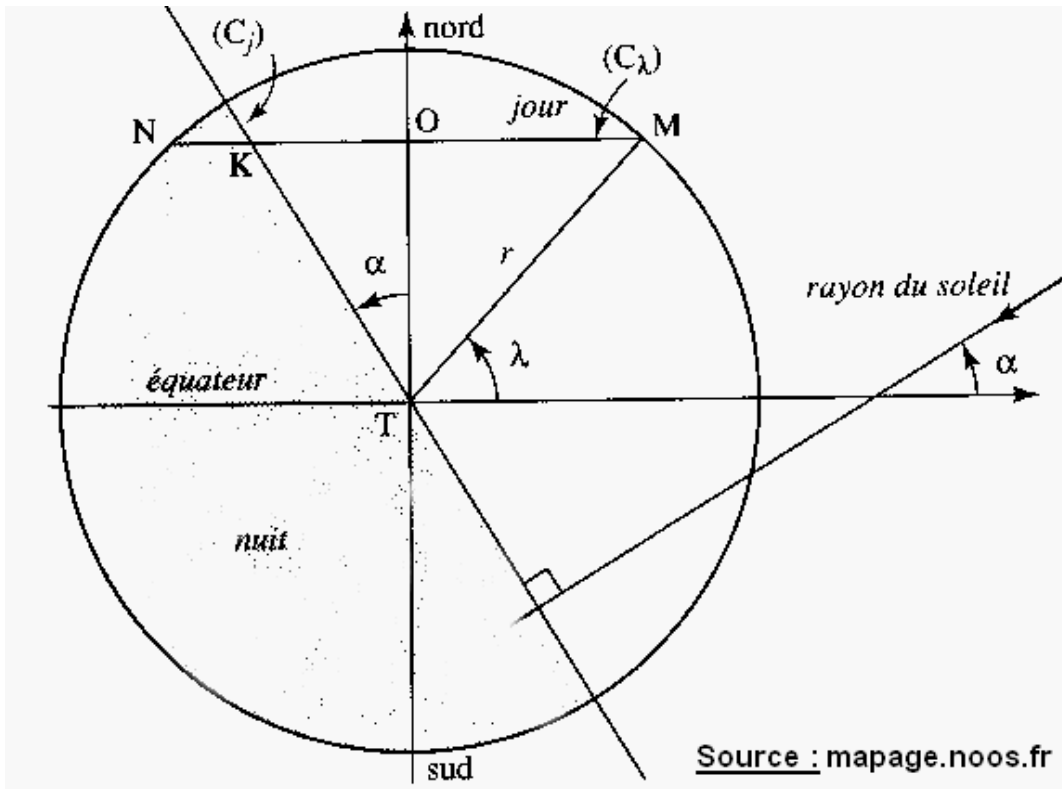


Figure 14 - Schéma du scénario avec  $\alpha$  fixe vu de profil.

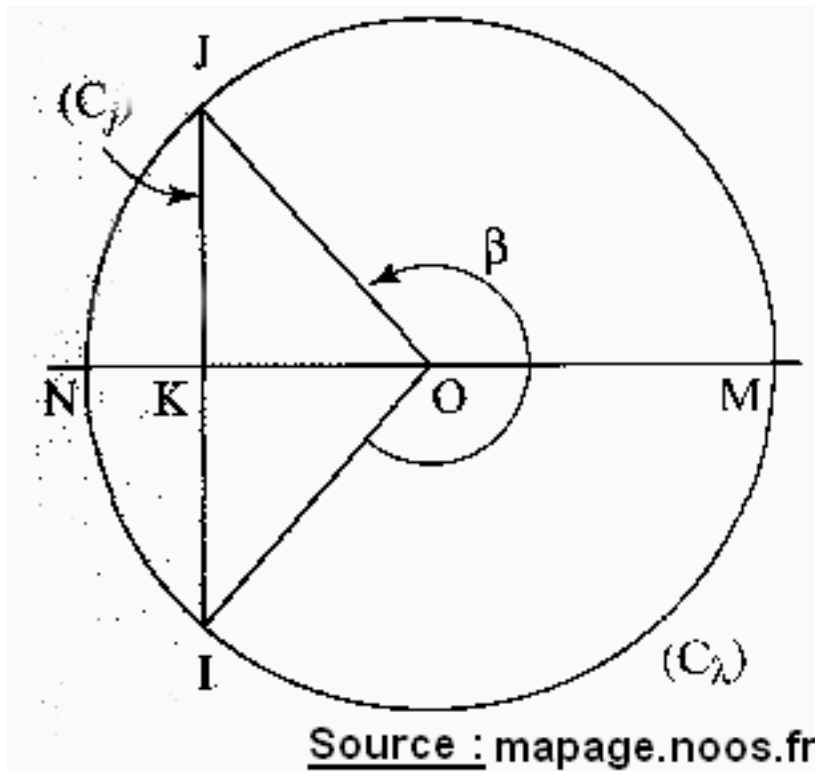


Figure 15 - Schéma du scénario avec  $\alpha$  fixe vu du dessus.

À chaque instant, les rayons du Soleil réchauffent une moitié de la Terre délimitée par un cercle  $(C_j)$  dont le plan est perpendiculaire aux rayons du Soleil. Ce grand cercle coupe le cercle  $(C_\lambda)$  parallèle à l'équateur de latitude  $\lambda$  en deux points I et J,  $\lambda$  étant compris entre 0 et  $\frac{\pi}{2} - |\alpha|$  inclus.

Il nous faut déterminer l'angle au centre  $\beta \in [0, 2\pi]$  de l'arc (IJ) de ce cercle se trouvant dans le jour. Nous nommons O le centre de ce cercle, K milieu de [IJ] et M et N les points d'intersection de la droite (OK) avec la terre ferme, M se situant du côté jour, N du côté nuit. Pour faciliter la compréhension, nous prenons  $\lambda$  et  $\alpha$  positifs, ce qui correspond à une situation dans l'hémisphère nord en été.

Nous pouvons calculer la distance OK de 2 manières :

1.  $OK = TO * \tan(\alpha) = r * \sin(\alpha) * \tan(\alpha)$  (Situation de la figure 14)
2.  $OK = OM * \cos(\pi - \frac{\beta}{2}) = -r * \cos(\lambda) * \cos(\frac{\beta}{2})$  (Situation de la figure 15)

Nous en déduisons ainsi que :

$$r * \sin(\alpha) * \tan(\alpha) = -r * \cos(\lambda) * \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = -\tan(\alpha) * \tan(\lambda)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\beta}{2} = \cos^{-1}(-\tan(\alpha) * \tan(\lambda))$$

$$\Leftrightarrow \beta = -2 * \cos^{-1}(\tan(\alpha) * \tan(\lambda))$$

La durée du jour en heures dans ce scénario est donc égale à  $d = \frac{24}{2\pi} * \beta = -\frac{24}{\pi} * \cos^{-1}(\tan(\alpha) * \tan(\lambda))$ .

### ***b. L'incidence en fonction du temps***

À présent que nous avons calculé la durée du jour à un moment donné de l'année, nous allons déterminer cette durée à partir de l'incidence  $\alpha$  des rayons du soleil qui varient en fonction du rang du jour dans l'année.

Cette fois-ci, en plus des suppositions précédemment décrites, nous supposons que :

- 4) L'année comporte 365 journées de 24h,
- 5) Le mouvement de la Terre autour du Soleil est circulaire, de centre S le centre du Soleil et de rayon R,
- 6) Ce mouvement s'effectue de la manière suivante : chaque journée, la Terre effectue une rotation sur elle-même sans bouger par rapport au Soleil, puis effectue  $\frac{1}{365}$  de tour autour du Soleil. L'angle  $\alpha$  reste ainsi constant durant une même journée,
- 7) L'angle  $\delta$  de l'axe des pôles avec la normale au plan de l'écliptique (plan comprenant la Terre et le Soleil) est constant et vaut  $23,45^\circ$ . Le plan (axe des pôles – normale à l'écliptique) a une direction fixe,
- 8) Nous prenons pour jour de référence le 24 juin, jour du solstice d'été où la durée du jour est la plus longue.

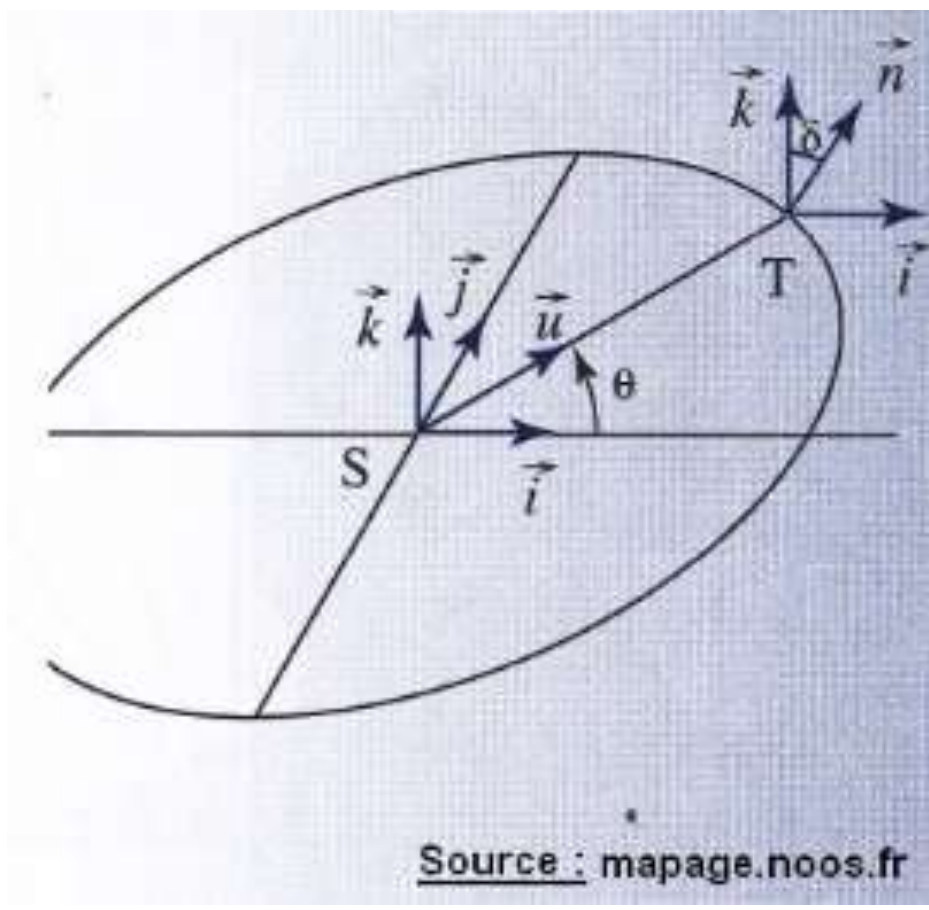


Figure 16 - Le repère orthonormé direct héliocentrique. La Terre se situe en T et le Soleil en S.

L'espace dans lequel nous nous situons est un repère orthonormé direct  $(S, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  où  $\vec{i}$  dirige la droite (ST) au moment du solstice d'été, où  $\vec{j}$  dirige la droite (ST) au moment de l'équinoxe d'automne et où  $\vec{k}$  est déterminé par le fait que le pôle Nord a une ordonnée positive.

Nous désignons par  $\vec{n}$  le vecteur normé du pôle sud vers le pôle nord, par  $\vec{u}$  le vecteur  $\frac{\vec{ST}}{ST}$  et par  $\theta$  l'angle  $(\vec{i}, \vec{u})$ . On notera que  $\vec{n} = \sin(\delta) \vec{i} + \cos(\delta) \vec{k}$  et que l'angle  $\alpha$  est complémentaire de l'angle  $(\vec{u}, \vec{n})$ . On en déduit donc que :

$$\begin{aligned} \cos(\vec{u}, \vec{n}) &= (\sin(\delta) \vec{i} + \cos(\delta) \vec{k}) * (\cos(\theta) \vec{i} + \sin(\theta) \vec{j}) \\ &= \sin(\delta) * \cos(\theta) * \vec{i} * \vec{i} + \sin(\delta) * \vec{i} * \sin(\theta) * \vec{j} + \cos(\delta) * \\ &\quad \vec{k} * \cos(\theta) * \vec{i} + \cos(\delta) * \vec{k} * \sin(\theta) * \vec{j} \\ &\Leftrightarrow \cos(\vec{u}, \vec{n}) = \sin(\delta) * \cos(\theta) \end{aligned}$$

(Le produit scalaire de deux angles droits est en effet toujours égal à 0 et celui de deux vecteurs unitaires à 1)

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \sin(\alpha) &= \sin(\delta) * \cos(\theta) \\ \alpha &= \sin^{-1}(\sin(\delta) * \cos(\theta)) \end{aligned}$$

Il nous reste à exprimer  $\theta$  en fonction du rang  $j$  du jour dans l'année. Comme nous prenons le 24 juin comme référence, cela correspond au 1er jour de l'année. Le 23 juin est donc le 365<sup>ème</sup> jour pris en compte où  $\theta = 0$ , le 1<sup>er</sup> janvier correspond quant à lui au 189<sup>ème</sup> jour.  $\theta$  s'exprime donc de la manière suivante :

$$\theta = \frac{2\pi}{365} * j$$

Par conséquent :  $\alpha = \sin^{-1}(\sin(\delta) * \cos(\frac{2\pi}{365} * j))$

Nous pouvons donc en déduire au final que la durée du jour en fonction du jour de l'année est égale à :  $d = -\frac{24}{\pi} * \cos^{-1}(\tan(\lambda) * \tan(\sin^{-1}(\sin(\delta) * \cos(\frac{2\pi}{365} * j))))$ .

La durée de la nuit sur une journée est égale à  $t = 24 - d$ , il suffit ensuite de faire la somme sur toute la période considérée, ici une année, pour connaître la durée totale de la nuit et donc de l'allumage de l'éclairage public.

### 3) Récapitulatif des variables et des formules mathématiques

Toutes les variables expliquées dans cette partie III) peuvent être résumées par l'arbre de relations sur la figure 17, les relations mathématiques sont détaillées sur la figure 18.

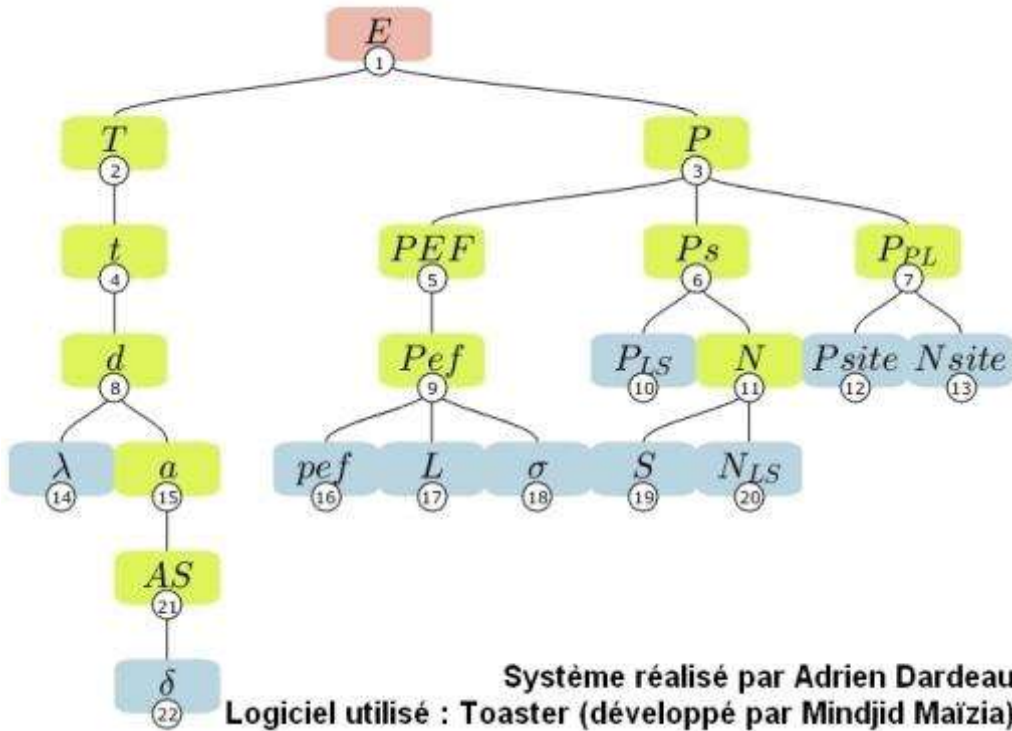


Figure 17 - L'arbre des relations entre les variables permettant de calculer la consommation énergétique de l'éclairage urbain de Lyon.

1	$E = (P \otimes 1000) \otimes T$	13	$N_{site} = 350$
2	$T = \sum (t_i)$	14	$\lambda = 45.47$
3	$P = \frac{PEF + P_s + P_{PL}}{1000000}$	15	$\alpha = \arcsin(AS)$
4	$t = 24 - d$	16	$50 \leq pef \leq 180$
5	$PEF = \sum (P_{ef} f)$	17	$18.716 \leq L \leq 765.897$
6	$P_s = N \otimes P_{LS}$	18	$0.030902 \leq \sigma \leq 0.048611$
7	$P_{PL} = P_{site} \cdot N_{site}$	19	$S = 278696$
8	$d = 24/\pi \otimes \arccos(-\tan(\lambda, \pi/180) \otimes \tan(\alpha))$	20	$N_{LS} = 0.015117$
9	$P_{ef} = (L \otimes 1000) \otimes \sigma \otimes pef$	21	$AS = \sin(\delta) \otimes \cos\left(\left(\frac{2 \otimes \pi}{365}\right) \otimes [1 - 368]\right)$
10	$P_{LS} = 732.8$	22	$\delta = 23.44$
11	$N = N_{LS} \cdot S$		
12	$P_{site} = 103.507$		

Variables reprises du système Toaster réalisé par Adrien Dardeau  
Logiciel développé par Mindjid Maizia

Figure 18 - Les variables prises en compte dans le système de l'éclairage urbain de Lyon et leurs relations mathématiques.

## IV) Résultats et explications

### 1) Résultats

Grâce aux variables et aux relations mathématiques expliquées dans la partie III, nous avons pu établir un modèle. Ce modèle correspond à la méthode simplifiée que nous tentons de mettre en place.

Selon ce modèle, la ville de Lyon consommerait environ **34 860 974 kW.h** pour alimenter son réseau d'éclairage public.

En 2014, l'éclairage public de Lyon avait consommé très exactement **31 303 015 kW.h**. Si nous considérons que le résultat donné par notre modèle est le résultat attendu, nous pouvons dénoter un écart de -10.2%, ce qui se révèle assez important. En revanche, il se rapproche davantage des consommations relevées en 2010 et en 2013, respectivement **35 204 969 kW.h** et **33 912 137 kW.h**. L'écart est alors de 1.0% dans le premier cas et de -2.7% dans le deuxième.

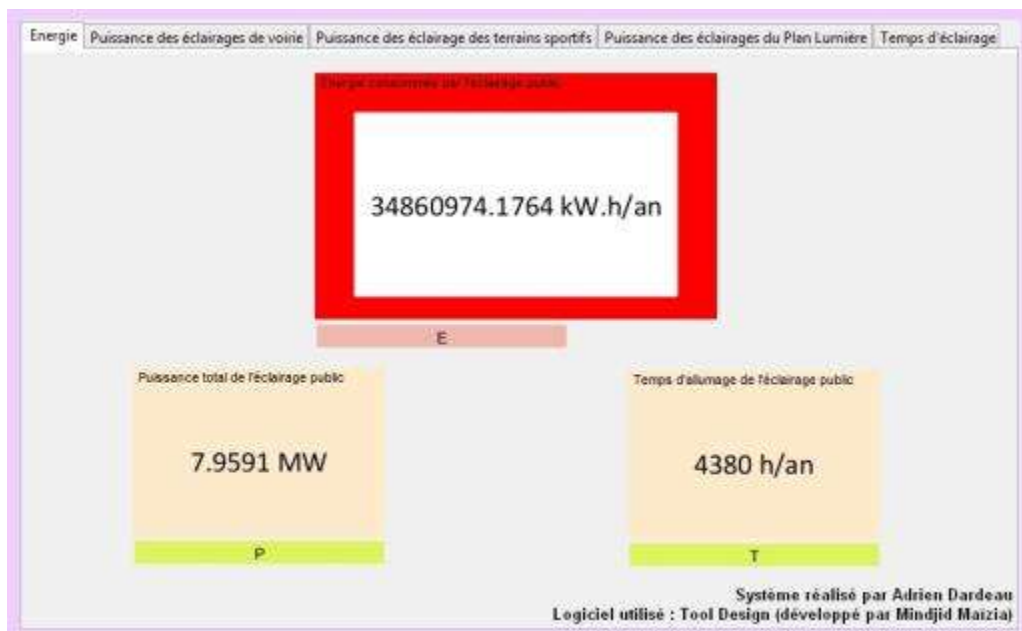


Figure 19 - La consommation énergétique totale de l'éclairage public de Lyon sur un an.

Ces différences peuvent s'expliquer de nombreuses manières. Tout d'abord, notre temps d'éclairage s'élève à **4380h/an**, or, ce temps d'éclairage pourrait être en réalité plus faible. À Toulouse par exemple, cette durée s'élève à **4200h/an** selon le Plan Lumière de la ville. Si Lyon possède le même temps d'éclairage et si nous gardons la même puissance calculée, nous obtenons une consommation énergétique s'élevant à **32 990 580 kW.h**. L'écart par rapport à 2014 est réduit (5,3%) mais il reste important.

D'autres facteurs peuvent justifier cet écart : le fait que Lyon remplace de plus en plus les lampes de ses luminaires par des lampes à LED moins consommatrices d'énergie, que nous ayons pris de trop grandes valeurs pour l'illumination des sites urbains et les surfaces des terrains de sports, que les données récupérées n'ont pas pu être choisies de manière aléatoire dans Lyon... Malheureusement, faute de données officielles, il est difficile de repérer l'origine des erreurs et de



les corriger en conséquence. Il n'est pas non plus impossible que plusieurs erreurs se cumulent et faussent le résultat.

## 2) Étude de la sensibilité

Pour savoir plus précisément quelles sont les principales variables agissant sur le résultat, nous avons repris le modèle Toaster et nous avons simplifié plusieurs de ses variables. Dans ce modèle simplifié, nous avons notamment pris en compte une seule catégorie de voirie et nous avons considéré la latitude comme une valeur variable. Seule l'inclinaison de la Terre reste fixe pour la raison évidente que les moyens développés par l'être humain ne permettent pas (encore) de la faire varier.

Par défaut, nous fixons les valeurs suivantes :

$P_{LS} = 150 \text{ W}$  ;  
 $P_{\text{site}} = 150 \text{ W/site}$  ;  
 $N_{\text{site}} = 200$  ;  
 $\lambda = 55^\circ$  ;  
 $p_{\text{ef}} = 115 \text{ W}$  ;  
 $L = 400 \text{ km}$  ;  
 $\sigma = 0,1 \text{ m}^{-1}$  ;  
 $S = 50\,000 \text{ m}^2$  ;  
 $N_{LS} = 1 \text{ lampe/m}^2$  ;

Le résultat s'élève alors à environ 53 millions de kW.h.

En modifiant les différentes variables, nous avons pu constater que celles agissant grandement sur la consommation énergétique totale sont :

- La puissance des lampes des stades : Avec une valeur de 200W, la consommation grimpe à plus de 64 millions de kW.h
- La puissance des éclairages de la voirie : En indiquant une valeur de 50W, la consommation diminue à environ 42 millions de kW.h
- La longueur des voiries : En augmentant la longueur totale des voiries à 600 km, le résultat final est de 63 millions de kW.h
- La densité linéique : En triplant la valeur jusqu'à  $0,3 \text{ m}^{-1}$ , on obtient une consommation totale de plus de 93 millions de kW.h
- La surface des terrains de sport : Lorsqu'on diminue la surface à  $10\,000 \text{ m}^2$ , la consommation énergétique totale s'élève à environ 27 millions de kW.h
- La densité surfacique des lampes des terrains de sport : En doublant la valeur à  $2 \text{ lampes/m}^2$ , la consommation énergétique finale est approximativement de 86 millions de kW.h

Pour réduire la consommation énergétique, il paraît donc plus intéressant d'agir sur ces critères.

À l'inverse, les autres variables ont beau changer de valeur, elles n'influent que très peu sur le résultat final :

- La puissance déployée par site illuminée : avec 200 W/site, la consommation reste à hauteur de 53 millions de kW.h.
- Le nombre de sites illuminés : avec 300 sites, la consommation reste là-aussi à hauteur de 53 millions de kW.h
- La latitude : la consommation reste inchangée quel que soit la latitude du lieu. En effet, même si la nuit dure plus ou moins longtemps en fonction de la latitude et du moment de l'année, les journées durent 24 heures sur toute la planète. Les nuits courtes en été sont compensées par de longues nuits en hiver. Au final, la durée totale de la nuit est la même en tout point sur Terre.

On constate donc que les éclairages mis en place dans le cadre du plan Lumière n'agissent que très peu sur la consommation énergétique finale de la ville de Lyon. La ville peut donc continuer ses installations pour embellir son patrimoine car l'impact énergétique sera relativement réduit.

## Conclusion

Avec la politique du développement durable, les communes sont plus que jamais tenues de réduire leur consommation électrique. L'éclairage public étant un poste demandant une grande quantité d'électricité, des mesures doivent donc être prises pour réduire l'impact environnemental engendré. Il est donc capital pour les communes de connaître leur consommation électrique de l'éclairage public afin de prendre les mesures nécessaires pour la réduire.

Pour simplifier le calcul de cette consommation, nous avons mis en place une méthode prenant en compte différentes variables, ces dernières pouvant se généraliser à l'ensemble de la ville. En effet, actuellement, pour déterminer la consommation électrique, les communes effectuent des relevés sur l'ensemble des armoires électriques et se contentent d'en faire la somme, ce qui est long et coûteux. C'est pourquoi nous avons pris des variables pouvant être prises sur l'ensemble d'une ville comme la longueur des voiries, la puissance des ampoules ou la surface des terrains de sport.

Nous avons pris comme terrain d'étude la ville de Lyon. La commune est réputée pour le soin qu'elle a apporté à son éclairage public, à tel point qu'il fait maintenant office d'élément valorisant le patrimoine et que des festivals sont organisés autour de l'éclairage comme la fête des Lumières.

Cette méthode a permis au final de sortir un résultat d'environ 34,4 millions de kW.h par an, ce qui est proche de la consommation électrique réelle de Lyon en 2010 (35,2 millions de kW.h) et 2013 (33,9 millions de kW.h) mais est bien plus en décalage avec les résultats de 2014, pourtant plus récents (31,3 millions de kW.h). Plusieurs critères peuvent expliquer ce décalage comme le temps d'éclairage plus faible que calculé ou encore que certaines voiries soient équipées de lampes moins puissantes que celles prises en modèle. La méthode paraît donc fiable à condition de posséder des données plus précises que celles que nous possédons.

Néanmoins, malgré sa fiabilité moyenne, la méthode pourrait être utilisée pour d'autres applications. On peut imaginer l'utiliser pour anticiper la consommation électrique de l'éclairage urbain par exemple lors de la construction de nouveaux quartiers ou lors d'un remplacement général des lampes. Il faudra prendre en compte qu'elle ne sera pas exacte et ne permettra d'avoir qu'une idée générale ou un ordre de valeur si les données manquent de précision.

Le système nécessitera d'être complété et/ou remanié si des changements majeurs surviennent dans l'éclairage public. On peut notamment penser aux détecteurs de présence qui permettent aux luminaires d'adapter leur luminosité en fonction du trafic. En effet, le système en l'état actuel n'est valable que si les lampes fonctionnent à pleine puissance durant toute la nuit. Si nous souhaitons le rendre dépendant du trafic, il faudra ajouter un coefficient avec une variabilité temporelle.

## Bibliographie/Webographie

- DUSSEAUX Vincent. *Les Français et l'éclairage public* [en ligne]. IPSOS, Syndicat de l'éclairage, 2015. [Consulté le 16 octobre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.syndicat-eclairage.com/wp-content/uploads/2015/11/2-Resultats-Ipsos-Syndicat-eclairage-2015.pdf>
- *Éclairage des espaces publics – Projet, installation, maintenance, coût*. COUILLET Roger/Le Moniteur, 210 p. Disponible au DAE, référence : 127-696
- *Éclairage LED de terrain de foot*. Maxi-LED. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.maxi-led.fr/eclairage-led-de-terrain-de-foot/>
- *Éclairage LED salle de basket*. Céphée LED. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.cephaeled.com/index.php/fr/offres/eclairage-sportif-indoor/15-eclairage-led-salle-de-basket>
- *Éclairage LED terrain de handball*. Céphée LED. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.cephaeled.com/index.php/fr/offres/eclairage-sportif-indoor/19-eclairage-led-terrain-de-handball>
- *Éclairage LED terrain de hockey sur gazon*. Céphée LED. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.cephaeled.com/index.php/fr/offres/eclairage-sportif-outdoor/25-eclairage-led-terrain-de-hockey-sur-gazon>
- *Éclairage LED terrain de rugby*. Maxi-LED. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.maxi-led.fr/eclairage-led-terrain-de-rugby/>
- *Éclairage public : quelles solutions pour réduire la facture énergétique et la pollution lumineuse ?* [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://www.actu-environnement.com/ae/news/etde\\_solutions\\_eclairage\\_public\\_poullution\\_lumineuse\\_energie\\_8182.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/news/etde_solutions_eclairage_public_poullution_lumineuse_energie_8182.php4)
- *Fête des Lumières de Lyon et techniques de représentation*. LAGANIER Vincent, mis en ligne le 20 juin 2016, consulté le 15 octobre 2016. Accessible à l'adresse : <http://www.lightzoomlumiere.fr/photos/fete-des-lumieres-de-lyon-et-techniques-de-representation/>
- *Guide de l'éclairage public : voirie et bâtiments*. ARNAUD Isabelle, LOUIS Jean-Claude. Mis en ligne en octobre 2013, consulté le 16 octobre 2016. Accessible à l'adresse : [http://www.territorial.fr/PAR\\_TPL\\_IDENTIFIANT/4955/TPL\\_CODE/TPL\\_OVN\\_CHAPITRE\\_FICHIE/2690-consultation-guide-de-l-eclairage-public-voirie-et-batiments.htm](http://www.territorial.fr/PAR_TPL_IDENTIFIANT/4955/TPL_CODE/TPL_OVN_CHAPITRE_FICHIE/2690-consultation-guide-de-l-eclairage-public-voirie-et-batiments.htm)
- *Guide pour la conception de l'éclairage public en milieu urbain*. Centre d'études des transports urbains, Ministère de l'Urbanisme et du logement/Ministère des transports, 148 p., publié le 30 septembre 1981. Disponible au DAE, référence : 122-276
- *Inclinaison de l'axe*. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Inclinaison\\_de\\_l'axe](https://fr.wikipedia.org/wiki/Inclinaison_de_l'axe)
- INSEE [Consulté le 12 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- *La durée du jour*. [Consulté le 19 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://mapage.noos.fr/r.ferreol/atelecharger/textes/jour/duree%20du%20jour.html>
- *Le nouveau Plan Lumière de Lyon*. CHARBONNEAU Jean-Pierre. Mis en ligne en 2005, consulté le 16 octobre 2016. Accessible à l'adresse : <http://www.jpcharbonneau-urbaniste.com/index.php/articles/textes-divers/le-nouveau-plan-lumiere-de-lyon/>

- *Les coordonnées géographiques de Lyon*. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=2996944>
- *Plan Lumière*. Wikipédia. Consulté le 19 octobre 2016. Accessible à l'adresse : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Plan\\_lumi%C3%A8re](https://fr.wikipedia.org/wiki/Plan_lumi%C3%A8re)
- *Pratique des VRD et aménagement urbain*. BOURRIER Régis, SELMI Béchi/Le Moniteur, 982 p., publié en juin 2012. Disponible au DAE, référence :
- *Site officiel de la ville de Lyon*. [Consulté le 12 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.lyon.fr/page/accueil.html>
- *Sondage IPSOS : Pour plus de sécurité, les français veulent un éclairage public modernisé*, Syndicat de l'éclairage. [Consulté le 07 octobre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.syndicat-eclairage.com/sondage-ipsos-pour-plus-de-securite-les-francais-veulent-un-eclairage-public-modernise/>
- *Plan Lumière de la ville de Beaune*. Publié en octobre 2013. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://www.attf.asso.fr/uploads/Document/40/WEB\\_CHEMIN\\_774\\_1389349187.pdf](http://www.attf.asso.fr/uploads/Document/40/WEB_CHEMIN_774_1389349187.pdf)
- ASSEMAT Anthony, « Éclairage public : ce qui va changer à Toulouse d'ici à 2018 ». Actu Côté Toulouse [en ligne]. 2015. [Consulté le 22 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://actu.cotetoulouse.fr/eclairage-public-ce-qui-va-changer-a-toulouse-dici-2018\\_12038/](http://actu.cotetoulouse.fr/eclairage-public-ce-qui-va-changer-a-toulouse-dici-2018_12038/)

## Pour aller plus loin

- *25 images pour 25 ans de Plan Lumière à Lyon : 1989-2014*, LAGANIER Vincent, Light Zoom Lumière. [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.lightzoomlumiere.fr/photos/25-ans-de-plan-lumiere-a-lyon-25-images-photos/>
- *D'étranges lueurs dans le ciel de New York*. Astronogeeek. [Consulté le 12 novembre 2016]. Accessible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=HzbGVSVDUA>
- DUTIL Yvan. *Qui a volé les étoiles : Le ciel nocturne : un patrimoine culturel et scientifique menacé* [en ligne]. 2002. [Consulté le 07 octobre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.faaq.org%2Fbibliotheque%2Fcielnoir%2Fdutil%2Fetoiles\\_2002.PDF](http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.faaq.org%2Fbibliotheque%2Fcielnoir%2Fdutil%2Fetoiles_2002.PDF)
- *Éclairage public et (in)sécurité : y'a-t-il un véritable lien ?* Association Française de l'Éclairage. [Consulté le 07 octobre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://www.afe-eclairage.fr/docs/2014/12/09/12-09-14-11-11-eclairage\\_public\\_et\\_insecurite\\_securite.pdf](http://www.afe-eclairage.fr/docs/2014/12/09/12-09-14-11-11-eclairage_public_et_insecurite_securite.pdf)
- F. DE PAZ Juan, BAJO Javier, RODRIGUEZ Sara, VILLARRUBIA Gabriel, M. CORCHADO Juan. « Intelligent system for lighting control in smart cities » in : *Information Sciences*. Madrid :Département d'informatique et d'automatisation, École des sciences, Université de Salamanca, 2016. p. 241-255.
- GARRIC Audrey. « Doit-on couper l'éclairage public de nuit ». Le Monde [en ligne]. 2012. [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : [http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/07/03/doit-on-couper-l-eclairage-public-de-nuit\\_1728446\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/07/03/doit-on-couper-l-eclairage-public-de-nuit_1728446_3244.html)
- RABAZA Ovidio, GOMEZ-LORENTE Daniel, PEREZ-OCÓN Francisco, PENA-GARCIA Antonio. « A simple and accurate model for the design of public lighting with energy efficiency functions based on regression analysis » in : *Energy*. Grenade : Département Génie Civil, Université de Grenade, 2016. p. 831-842
- *Fête des Lumières de Lyon et techniques de représentation*, LAGANIER Vincent, Light Zoom Lumière. [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.lightzoomlumiere.fr/photos/fete-des-lumieres-de-lyon-et-techniques-de-representation/>
- *Le Plan Lumière, un Art lyonnais de faire la ville*, École Normale Supérieure. [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.geographie.ens.fr/Le-Plan-Lumiere-un-art-lyonnais-de.html>
- *Lyon smart city connectée en éclairage public*, LAGANIER Vincent, Light Zoom Lumière. [Consulté le 28 septembre 2016]. Accessible à l'adresse : <http://www.lightzoomlumiere.fr/article/lyon-smart-city-connectee-en-eclairage-public/>

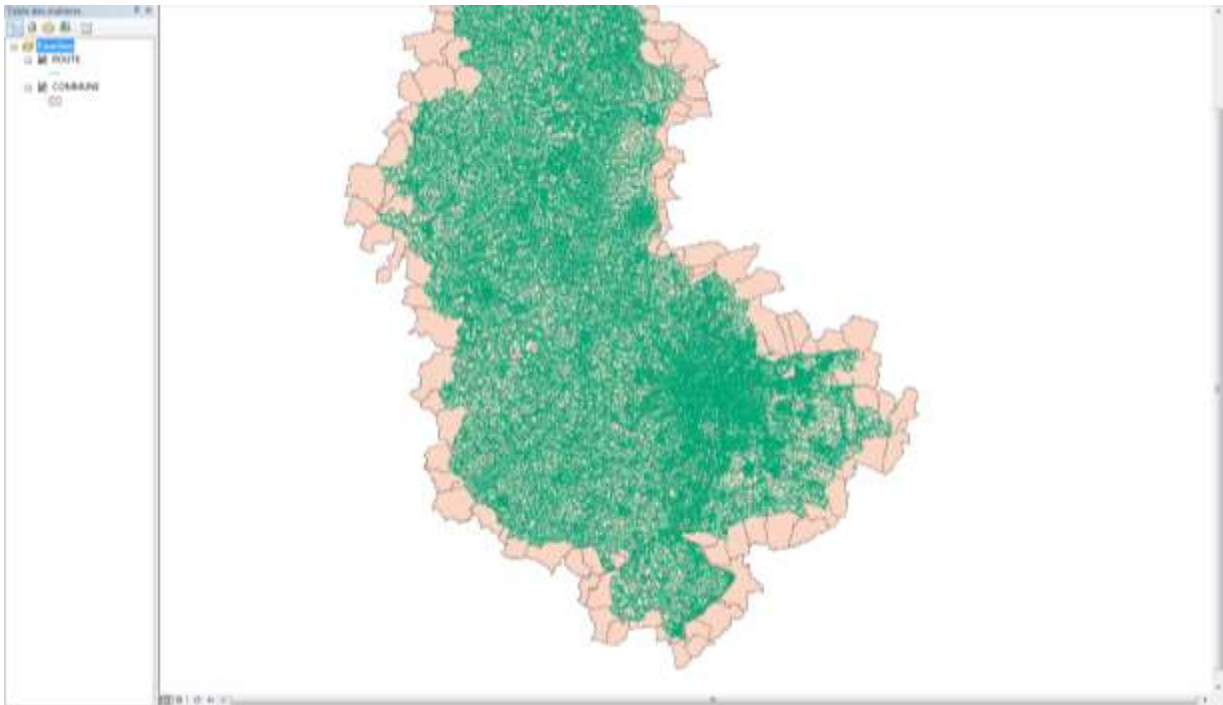
# Annexes

## Annexe 1 - Protocole de fabrication de la carte des voiries de Lyon sur ArcMap.

Pour créer notre carte visible sur la figure n° 13 de ce rapport, nous avons mis à profit le logiciel ArcMap. L'objectif est d'indiquer sur la carte les principales catégories de voirie à Lyon afin que nous puissions calculer la longueur totale de chacune d'entre elle.

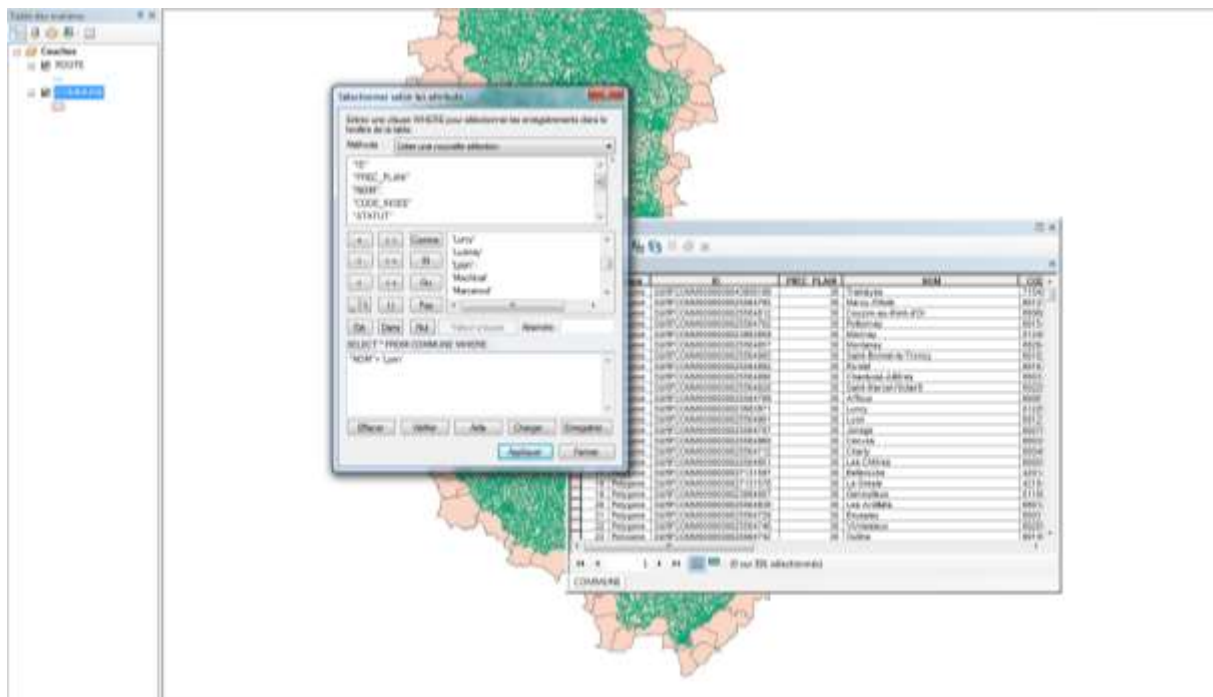
Nous avons tout d'abord copié les données « BD Topo » de l'IGN modélisant le département du Rhône vers un support de stockage local, ces données sont accessibles sur le serveur « Commun Étève 20162017 de Polytech Tours au DAE.

Sur le logiciel ArcMap, avant de commencer la création de la carte, nous nous assurons d'abord que les chemins relatifs soient enregistrées pour faciliter les repérages de fichiers. Nous commençons ensuite la création proprement dite en mettant les couches « ROUTE » et « COMMUNE ».



Nous faisons ensuite une sélection pour ne garder que la ville de Lyon. Pour cela, nous faisons une sélection selon les attributs dans la couche « COMMUNE » en sélectionnant pour valeur unique 'Lyon'. Par la suite, nous créons une nouvelle couche à partir des données sélectionnées que nous renommons « Lyon ».





À présent que nous possédons une couche correspondant à la ville de Lyon, nous pouvons garder les routes spécifiques à la ville. Pour s’assurer de la propreté de l’opération et ne garder que les routes se trouvant sur le territoire administratif de Lyon, nous utilisons l’outil « Découper ». Nous créons ainsi une nouvelle couche que nous renommons « Voiries\_Lyon ».



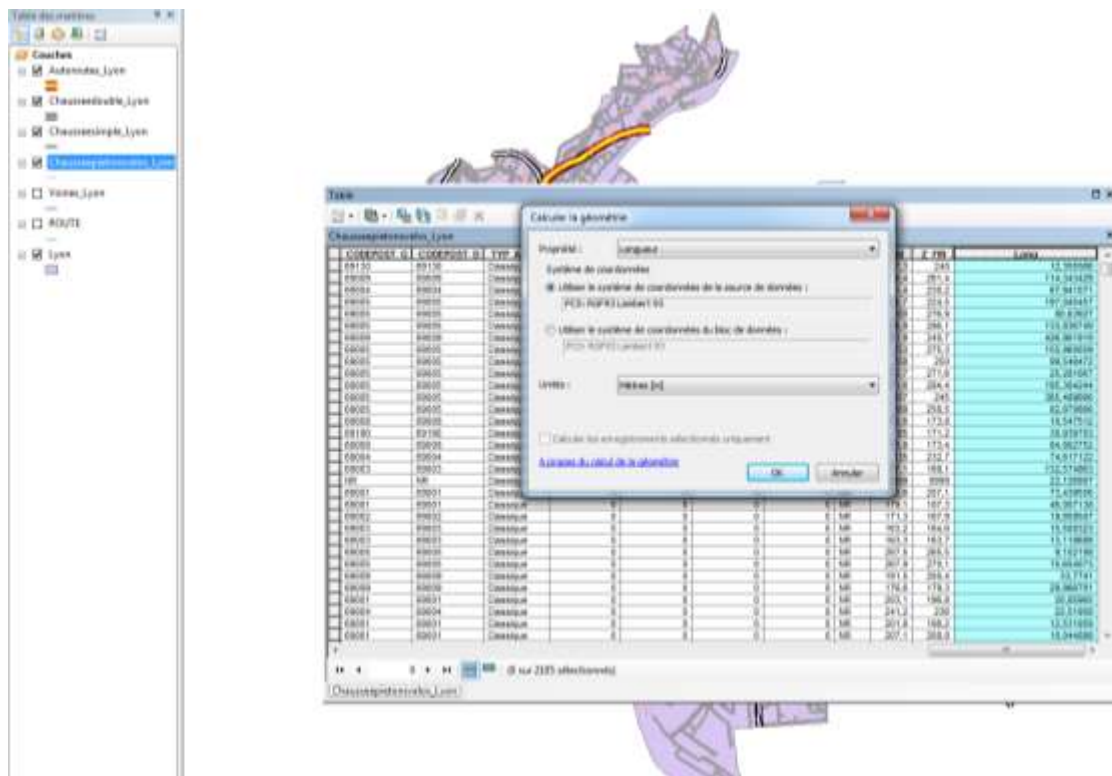


Pour distinguer les différentes catégories de voirie, nous faisons une nouvelle sélection selon les attributs. Nous fabriquons ainsi 4 nouvelles couches :

- « Autoroutes\_Lyon » regroupant les voiries de catégorie 'Autoroute' et 'Quasi-Autoroute',
- « Chausseedouble\_Lyon » regroupant les voiries de catégorie 'Route U 2 chauss1e', 'Route U 2 chauss2e', 'Route U 2 chauss3e', 'Route U 2 chauss4e', 'Route U 2 Chauss5e', 'Route U 2 chauss6e', 'Route U 2 chauss7e', 'Route U 2 chauss8e' et 'Route U 2 Chauss9e',
- « Chausseesimple\_Lyon » regroupant les voiries de catégorie 'Route U 1 chauss1e', 'Route U 1 chauss2e', 'Route U 1 chauss3e', 'Route U 1 chauss4e', 'Route U 1 Chauss5e', 'Route U 1 chauss6e', 'Route U 1 chauss7e', 'Route U 1 chauss8e' et 'Route U 1 Chauss9e',
- « Chaussepietonsvelos\_Lyon » regroupant les voiries de catégorie 'Route empierr0e', 'Piste cyclable' et 'Sentier'

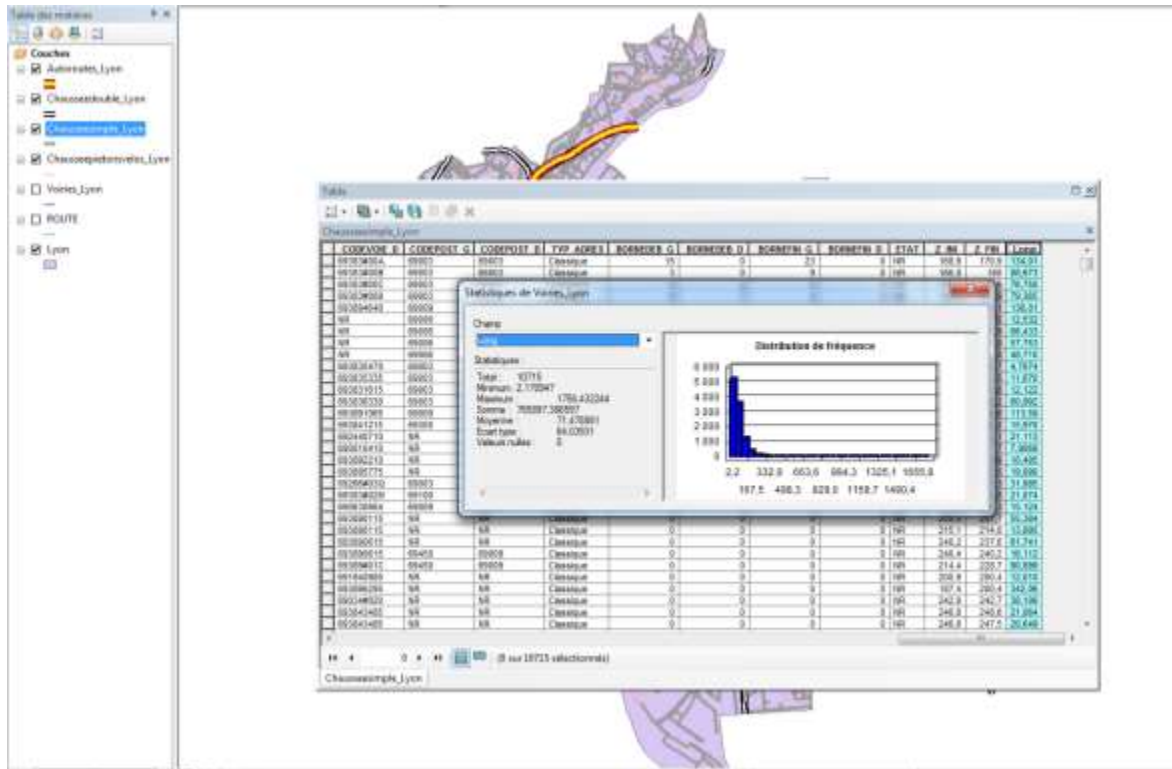


La carte étant créée, nous nous concentrons maintenant sur les tables attributaires. Dans chacune des tables des catégories de voirie, nous créons un nouveau champ « Long » défini en « Réel double ». Nous déterminons la longueur de chacun des segments en calculant la géométrie.

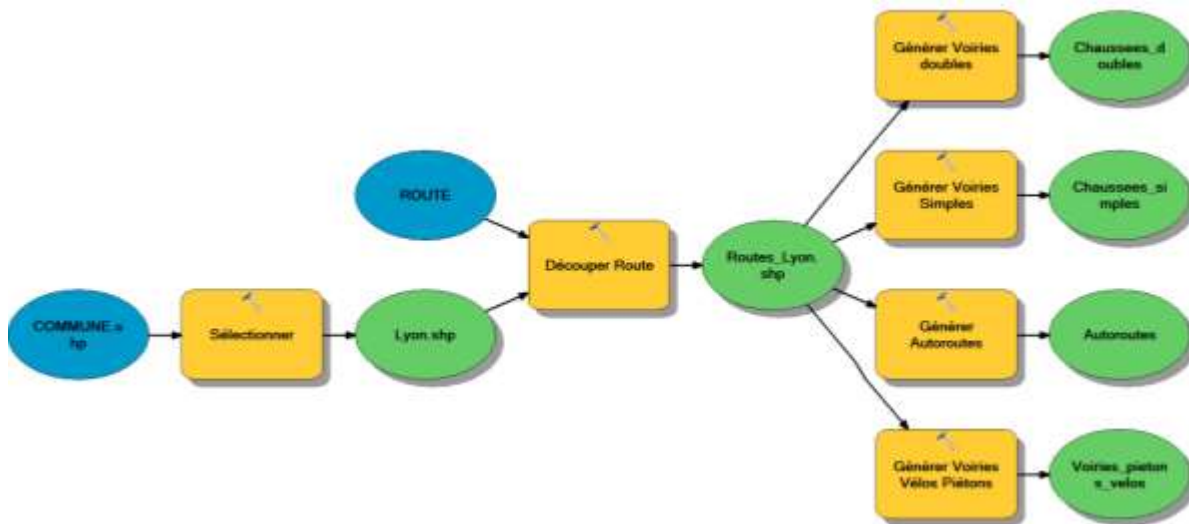


Il suffit ensuite d'ouvrir les statistiques du champ « Long » et de regarder la somme pour connaître la longueur totale de chacune de nos catégories de voirie. Nous obtenons ainsi les valeurs suivantes :

- Autoroutes : 18 716 mètres = 18,716 km
- Chaussées Doubles : 62 621 mètres = 62,621 km
- Chaussées Simples : 765 897 mètres = 765,897 km
- Chaussées Piétons/Vélos : 169 169 mètres = 169,169 km



Pour faciliter la fabrication de la carte, nous avons créé un modèle Builder de la manière suivante :



Catégorie de voirie	Modèle de lampe le plus souvent remarqué	Puissance déduite (W)
Autoroute	Vapeur de sodium basse pression	180
Voirie double	Vapeur de sodium haute pression	100
Voirie simple	Vapeur de sodium haute pression	100
Voirie piétonne	Iodure métallique	50

Annexe 2 - Modèles de lampes les plus souvent remarqués sur les voiries et puissance déduites.

Nom de la rue	Type de voirie	Distance relevée entre deux luminaires (m)	Densité linéique déduite (m <sup>-1</sup> )
Rue Lebrun	Voirie simple	36	0.0278
Montée Bonafous	Voirie simple	21	0.0476
Montée Justin Godart	Voirie simple	30	0.0333
Montée Justin Godart	Voirie simple	21	0.0476
Rue Belfort	Voirie simple	24	0.0417
Grande rue de la croix rousse	Voirie simple	12	0.0833
Grande rue de la croix rousse	Voirie simple	24	0.0417
Rue Jamin	Voirie simple	19	0.0526
Montée Georges Kubler	Voirie simple	18	0.0556
Rue Jean Jullien	Voirie simple	25	0.0400
Rue Eugène Pons	Voirie simple	22	0.0455
Quai de Serbie	Voirie simple	13	0.0769
Pont Morand	Voirie simple	36	0.0278
Cours d'Herboville	Voirie double	23	0.0435
Pont de Lattre de Tassigny	Voirie double	24	0.0417
Quai de Serbie	Voirie double	17	0.0588
Quai Assagne	Voirie double	30	0.0333
Quai de Serbie	Voirie piétonne	18	0.0556
Quai piéton longeant le Quai de Serbie	Voirie piétonne	24	0.0417
Autoroute du Soleil (Niveau du musée de la Confluence)	Autoroute	30	0.0333
Autoroute du Soleil (Niveau du musée de la Confluence)	Autoroute	35	0.0286

Annexe 3 - Relevés des distances entre lampadaires et densités linéiques déduites.

Type de voirie	Densité linéique moyenne relevée (luminaires/m)
Voie piétonne	0.0486
Voirie simple	0.0478
Voirie double	0.0886
Autoroute	0.0620

Annexe 4 - Moyenne des densités linéiques déduites des distances relevées entre lampadaires.



Terrain de sport	Dimensions minimales (m) (Source : Wikipédia)	Dimensions maximales (m) (Source : Wikipédia)	Surface considérée (à partir des dimensions maximales) (m <sup>2</sup> )
Football (11)	90x45	120x90	10800
Football (7)	50x45	75x55	4125
Rugby	144x70	144x70	10080
Hockey sur gazon	91,4x50	91,4x50	4570
Handball	40x20	40x20	800
Basketball	22x13	28x15	420
Volleyball	18x9	18x9	162

Annexe 5 - Dimensions des terrains de sports retenues et surfaces déduites.

Nom	Adresse	Équipements	Surface (m <sup>2</sup> )
Plaine de jeux de Gerland	405, avenue Jean Jaurès	8 terrains de football (11 joueurs), 1 terrain de hockey, 2 terrains de rugby	111130
Terrain - Plaine de jeux de Gerland	405, avenue Jean Jaurès	10 terrains de football (11)	108000
Plaine de jeux des États-Unis	8, rue Oradour sur Glane	2 terrains de rugby	20160
Terrain de sports Anatole France	8, boulevard Anatole France	1 terrain de hand/basket/volley	800
Stade Dumont	36, rue Antoine Dumont	1 piste d'athlétisme droite (80m), 1 terrain de football (7), 1 terrain de volley, 1 terrain de basket	4449
Terrain de sports Artaud	37, rue Artaud	1 terrain de basket	420
Terrain de sports Dauphiné	37 bis, rue du Dauphiné	1 terrain de football (7), 1 terrain de handball, 4 buts de basket (2 terrains)	5765
Terrain de sports Denfert Rochereau	32, rue Denfert Rochereau	1 terrain de basket	420
Terrain de sports du gymnase Baillieu	53, rue Philippe de Lassalle	1 piste d'athlétisme circulaire (200m), 1 terrain de hand/basket/volley	800
Terrain de sports du gymnase Branly	rue Mère Elisabeth Rivet	1 terrain de handball, 2 terrains de basket	1640
Terrain de sports du gymnase Charcot	13, rue commandant Charcot	1 terrain de hand/basket	800
Terrain de sports du gymnase Clémenceau	95, rue Sébastien Gryphe	1 terrain hand/basket/volley	800
Terrain de sports du gymnase Colbert	3, rue Louis Chapius	1 terrain de hand/basket, 1 terrain de volley, 1 piste de	962

		vitesse	
<b>Terrain de sports du gymnase Eisenhower</b>	Avenue Général Eisenhower	1 terrain handball/basket	800
<b>Terrain de sports du gymnase Gabriel Rosset</b>	15, avenue du château de Gerland	1 ciblirie tir à l'arc extérieure, 1 terrain hand/basket/volley	800
<b>Terrain de sports du gymnase Grignard</b>	177, avenue Paul Santy	1 terrain de hand/basket/volley	800
<b>Terrain de sports du gymnase Jean Moulin</b>	10, montée du Télégraphe	1 terrain de hand/basket	800
<b>Terrain de sports du gymnase Jean Zay</b>	1, rue Jean Zay	1 terrain de hand/basket/volley	800
<b>Terrain de sports du gymnase Jeunet</b>	12, rue Jeunet	1 terrain de basket, 1 terrain de handball	1220
<b>Terrain de sports du gymnase Tissot</b>	9, rue Laure Diebold	1 terrain de basket	420
<b>Terrain de sports du gymnase Viviani</b>	23, rue Berty Albrecht	1 terrain de handball/basket	800
<b>Terrain de sports Ferdinand Buisson</b>	41, rue Ferdinand Buisson	1 terrain de handball, 3 mini-basket	2060
<b>Terrain de sports Henri Ferré</b>	24, rue Henri Ferré	1 terrain de basket	420
<b>Terrain de sports Les Bleuets</b>	rue Marcel Cerdan	1 terrain de basket	420
<b>Terrain de sports du Lycée Edgar Quinet</b>	16, place Edgar Quinet	1 terrain de basket, 1 terrain de football (7)	4545
<b>Terrain de sports Meynis</b>	6, rue Meynis	1 terrain de handball/basket	800
<b>Terrain de sports Morat</b>	30, rue Professeur Morat	1 piste d'athlétisme droite (60m), 1 terrain hand/volley/basket	800
<b>Terrain de sports Philibert Delorme</b>	159, route de Vienne	1 terrain de basket	420
<b>Terrain de sports Pressenssé</b>	23, avenue de Pressenssé	1 terrain de basket, 1 piste d'athlétisme droite (100m)	420
<b>Terrain de sports Sauvagère</b>	Quai Paul Sédallian	1 terrain de football (7), 1 terrain de handball	4925
<b>Terrain multisport - Espace Michel Saez</b>	9, rue Joseph Nicolas	1 terrain de football, 3 terrains de basket, 2 courts de tennis, 1 piste d'athlétisme	1300

Annexe 6 - Terrains de sports relevés à Lyon et surfaces déduites.



Terrain	Surface (m <sup>2</sup> )	Nb projecteurs	Nb lampes/surface (m <sup>-2</sup> )	Puissance des projecteurs (W)
Football (11)	10 800	8	0,000740741	600
Rugby	10 080	4	0,000396825	1000
Hockey sur gazon	4 570	4	0,000875274	1700
Handball	800	36	0,045	144
Basketball	420	12	0,028571429	220
Moyenne	X	X	0,015116853646394 1	732,8

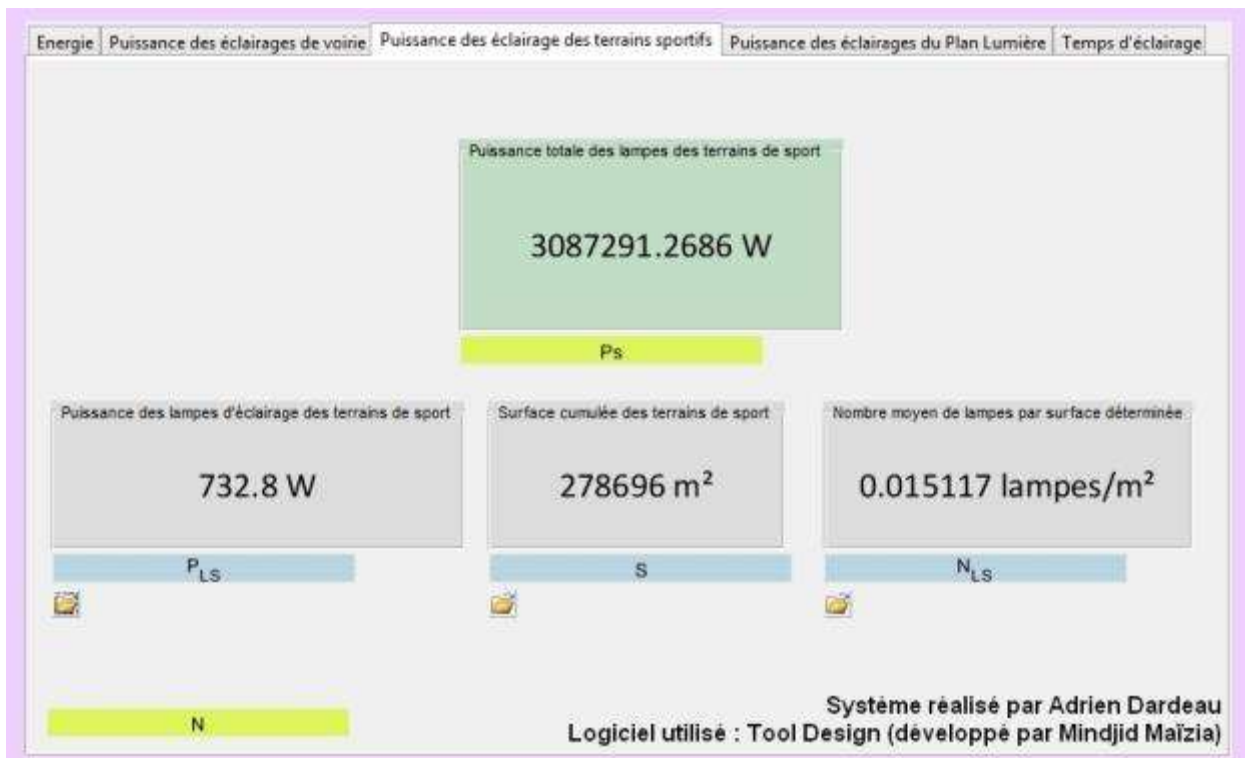
Annexe 5 - Densité surfacique et puissance moyennes des lampes d'éclairage des terrains de sport.

Ville	Puissance installée (W)	Durée d'illumination (h/an)	Énergie consommée (kW.h)	Nombre de sites mis en valeurs	Puissance par site déduite (W)
Beaune	2639	X	X	30	88
Toulouse	11905	4200	50000	100	119
Lyon	X	X	X	350	X

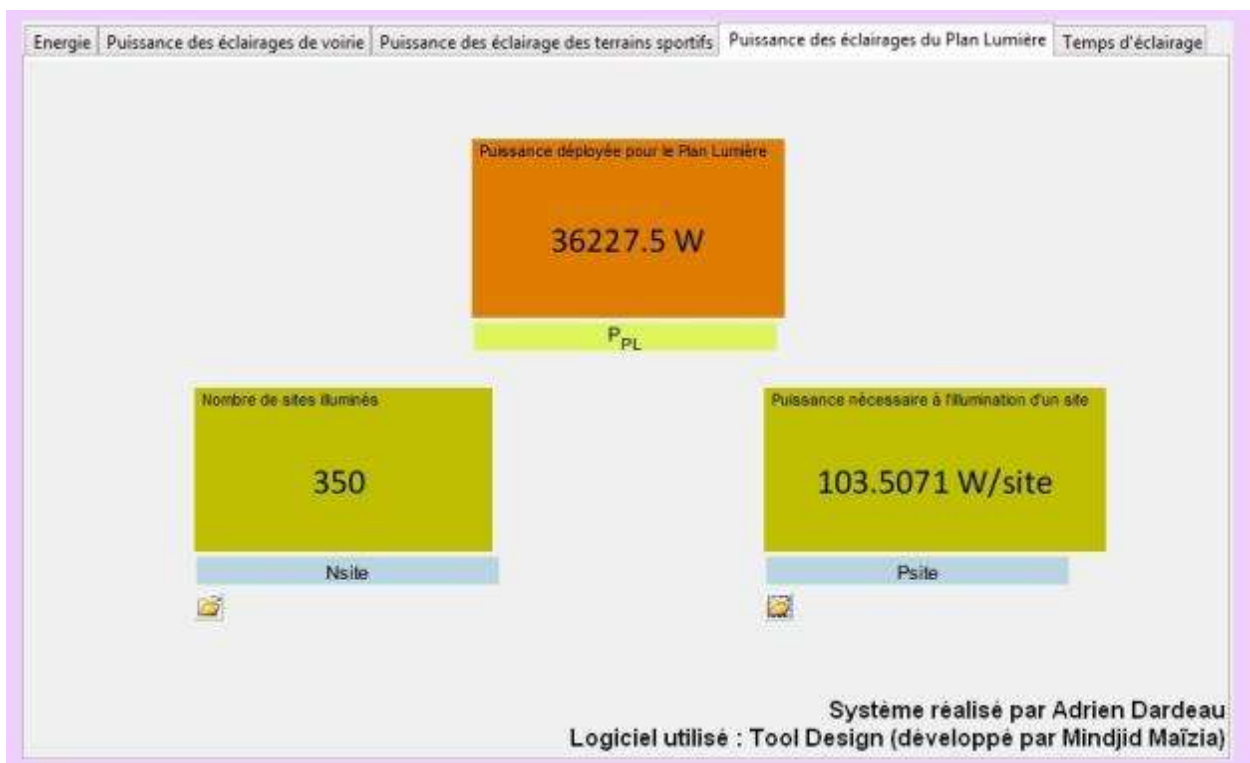
Annexe 6 - Données issues des Plans Lumières de différentes villes françaises.



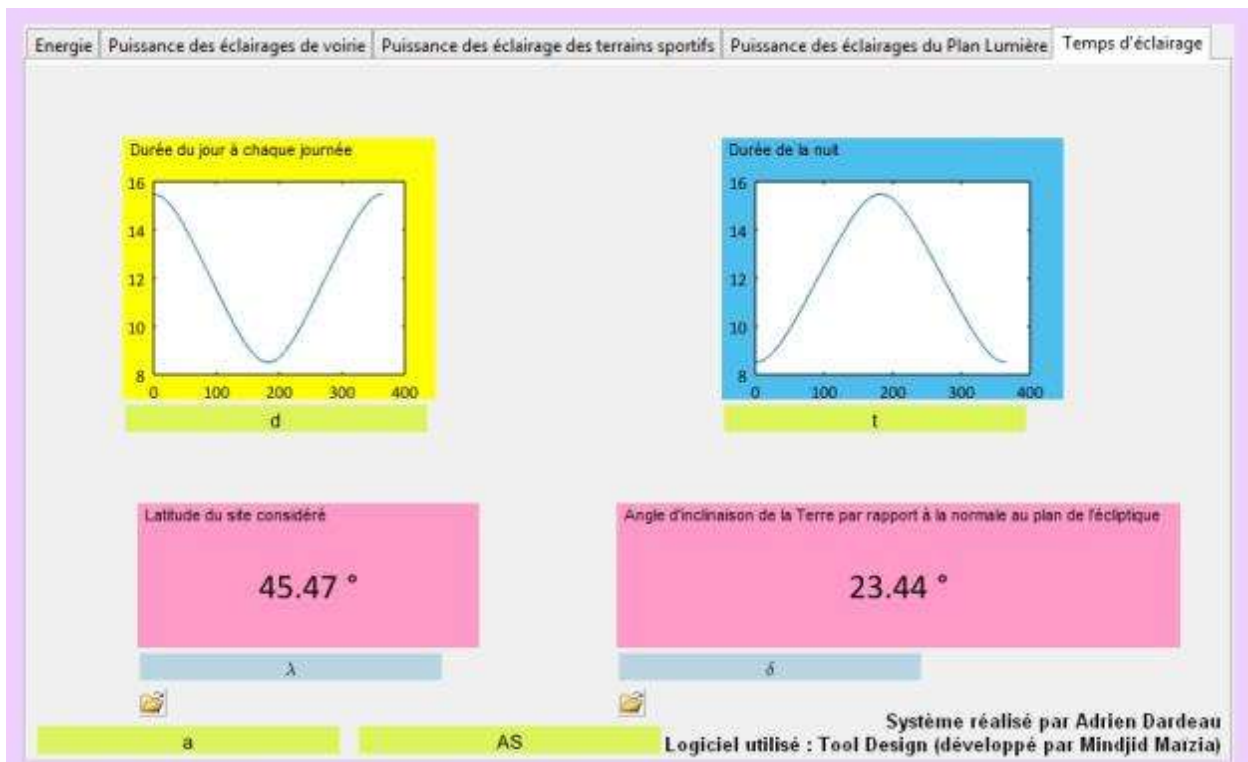
Annexe 7 - La puissance totale de l'éclairage des voiries.



Annexe 8 - La puissance totale de l'éclairage des terrains de sport.



Annexe 9 - La puissance totale de l'éclairage dans le cadre du Plan Lumière.



Annexe 10 - La durée du jour et de la nuit sur Terre en fonction du jour de l'année.



Source : Adrien Dardeau

Annexe 11 - Le suréclairage provoqué par l'éclairage public occasionne parfois une nuisance importante comme dans cet appartement de Lyon. La photo a été prise à 2h du matin.

# Table des matières

Formation par la recherche et projet de fin d'études en génie de l'Aménagement .....	3
Remerciements .....	4
SOMMAIRE .....	5
Introduction.....	6
I) L'éclairage urbain : Début d'un outil fonctionnel devenu élément-clé de l'urbanisme.....	7
1) Aperçu historique.....	7
2) Le non-jour, la période primordiale pour l'éclairage public.....	9
3) L'éclairage public : un parent pauvre dans l'aménagement des villes pourtant élément de valorisation .....	10
4) Lyon, la Ville-Lumière .....	12
II) La simplification du calcul de la consommation électrique .....	17
1) L'intérêt de simplifier le calcul de la consommation électrique de l'éclairage public .....	17
2) Une consommation électrique dépendante de la voirie, de la surface des terrains de sport et des sites illuminés dans le cadre du Plan Lumière .....	17
III) Les variables prises en compte .....	19
1) La puissance électrique .....	19
2) Le temps d'allumage de l'éclairage urbain.....	25
3) Récapitulatif des variables et des formules mathématiques.....	29
IV) Résultats et explications .....	31
Conclusion .....	34
Bibliographie/Webographie .....	35
Pour aller plus loin.....	37
Annexes .....	38
Table des matières .....	49
Table des figures.....	50

## Table des figures

Figure 1 - Une lampe Jablotchkov, une des premières lampes électriques utilisées dans l'éclairage public .....	7
Figure 2 - Un lampadaire à LED orienté vers le sol, un des modèles prônés par la politique de développement durable.....	8
Figure 3 - Un lampadaire à boule, un modèle proscrit si on souhaite éviter les nuisances lumineuses.	9
Figure 4 - Décomposition des périodes de la journée.....	10
Figure 5 - La place des Jacobins à Lyon est valorisée par de multiples sources de lumières. Seul le ciel est obscur, ce qui crée un contraste valorisant les éléments urbains. ....	11
Figure 6 - La sécurité reste le point primordial de l'éclairage public pour les français selon le sondage réalisé par l'Ipsos.....	12
Figure 7 - Lyon de nuit vu depuis le Rhône. ....	13
Figure 8 - Les caractéristiques de l'éclairage urbain de Lyon selon les rapports des maires sur le budget primitif.....	15
Figure 9 - Le budget accordé à l'éclairage urbain de Lyon selon les rapports des maires sur le budget primitif.....	16
Figure 10 - Sur une même rue, les luminaires sont espacés à intervalles réguliers. Nous pouvons donc imaginer qu'il existe un espacement moyen pour chaque catégorie de voirie. ....	18
Figure 11 - Les lampes à vapeur de sodium haute pression sont les lampes qui ont été vues le plus souvent sur les voiries simples.....	20
Figure 12 - Les catégories de voirie à Lyon.....	23
Figure 13 - Schéma du scénario avec $\alpha$ fixe vu de profil. ....	26
Figure 14 - Schéma du scénario avec $\alpha$ fixe vu du dessus.....	26
Figure 15 - Le repère orthonormé direct héliocentrique. La Terre se situe en T et le Soleil en S.....	28
Figure 16 - L'arbre des relations entre les variables permettant de calculer la consommation énergétique de l'éclairage urbain de Lyon.....	29
Figure 17 - Les variables prises en compte dans le système de l'éclairage urbain de Lyon et leurs relations mathématiques. ....	30
Figure 18 - La consommation énergétique totale de l'éclairage public de Lyon sur un an. ....	31
Annexe 1 - Protocole de fabrication de la carte des voiries de Lyon sur ArcMap. ....	38
Annexe 2 - Modèles de lampes les plus souvent remarqués sur les voiries et puissance déduites. ....	43
Annexe 3 - Relevés des distances entre lampadaires et densités linéiques déduites. ....	43
Annexe 4 - Moyenne des densités linéiques déduites des distances relevées entre lampadaires. ....	43
Annexe 5 - Terrains de sports relevés à Lyon et surfaces déduites. ....	45
Annexe 6 - Dimensions des terrains de sports retenues et surfaces déduites. ....	44
Annexe 7 - Densité surfacique et puissance moyennes des lampes d'éclairage des terrains de sport.	46
Annexe 8 - Données issues des Plans Lumières de différentes villes françaises. ....	46
Annexe 9 - La puissance totale de l'éclairage des voiries. ....	46
Annexe 10 - La puissance totale de l'éclairage des terrains de sport. ....	47
Annexe 11 - La puissance totale de l'éclairage dans le cadre du Plan Lumière. ....	47
Annexe 12 - La durée du jour et de la nuit sur Terre en fonction du jour de l'année.....	48
Annexe 13 - Le suréclairage provoqué par l'éclairage public occasionne parfois une nuisance importante comme dans cet appartement de Lyon. La photo a été prise à 2h du matin. ....	48

*Équipe IPA-PE  
Ingénierie du Projet  
d'Aménagement,  
Paysage,  
Environnement*

35 allée Ferdinand de Lesseps  
BP 30553  
37205 TOURS cedex 3

51

Directeur de recherche :  
**MAÏZIA Mindjid**

**Dardeau Adrien**  
**Projet de Fin d'Études**  
**DAE5**  
**2016-2017**

## **Comment calculer et anticiper simplement la consommation électrique de l'éclairage urbain de la ville de Lyon ?**

### **Résumé :**

À l'heure du développement durable, l'éclairage public des villes est amené à se renouveler afin d'adopter des modèles de lampes plus économes en énergies et implanter de nouvelles technologies comme les éclairages adaptatifs faisant varier l'éclairage en fonction du trafic routier. Il est donc capital pour les communes de connaître la consommation électrique totale de leur réseau d'éclairage public pour prendre des décisions. Cependant, les méthodes utilisées actuellement sont souvent longues et coûteuses pour déterminer cette consommation.

L'objectif de ce PFE est d'établir une méthode de calcul plus simple permettant d'obtenir des résultats plus rapidement. Nous comparerons ensuite les valeurs calculées avec les résultats réels afin de déterminer sa fiabilité. À défaut d'avoir des résultats exacts, cette méthode permettrait d'avoir un résultat approximatif qui permettrait de mieux anticiper les impacts de l'éclairage public. Elle pourrait alors servir lors de la construction d'un nouveau quartier ou lors d'un renouvellement important du parc d'éclairage public.

Notre terrain d'études est la ville de Lyon, réputée pour le soin qu'elle procure à son éclairage public. Preuve en est avec le Plan Lumière, un document urbain permettant de valoriser la ville la nuit grâce à la lumière artificielle, Lyon fût la première ville de France à en établir un.

---

**Mots-clés :** Éclairage Public, LED, Lyon, Plan Lumière, Smart Cities

**Localisation géographique :** Auvergne Rhône-Alpes, Rhône, 69