



Lumière sur la Trame sombre

Yoann ROULET
Ingénieur écologue
Auddicé biodiversité

Roger COUILLET
Responsable du patrimoine
électrique extérieur
Ville de Douai

SOMMAIRE

- Qu'est-ce qu'une « Trame sombre » ?
- Effet de la pollution lumineuse sur la biodiversité
- Pourquoi des chauves-souris pour évaluer la pollution lumineuse ?
- La Trame sombre de Douai

- **Qu'est-ce qu'une « Trame sombre » ?**

Le contexte du projet de la trame sombre de Douai s'inscrit dans un milieu urbanisé. Cette notion de milieu est primordiale et doit être reprise dans le diagnostic préalable sur la pertinence de mise en place d'une trame sombre.

L'éclairage extérieur est généralement installé pour des raisons de sécurité. Il participe à la vie nocturne de la cité avec un rôle sociétal.

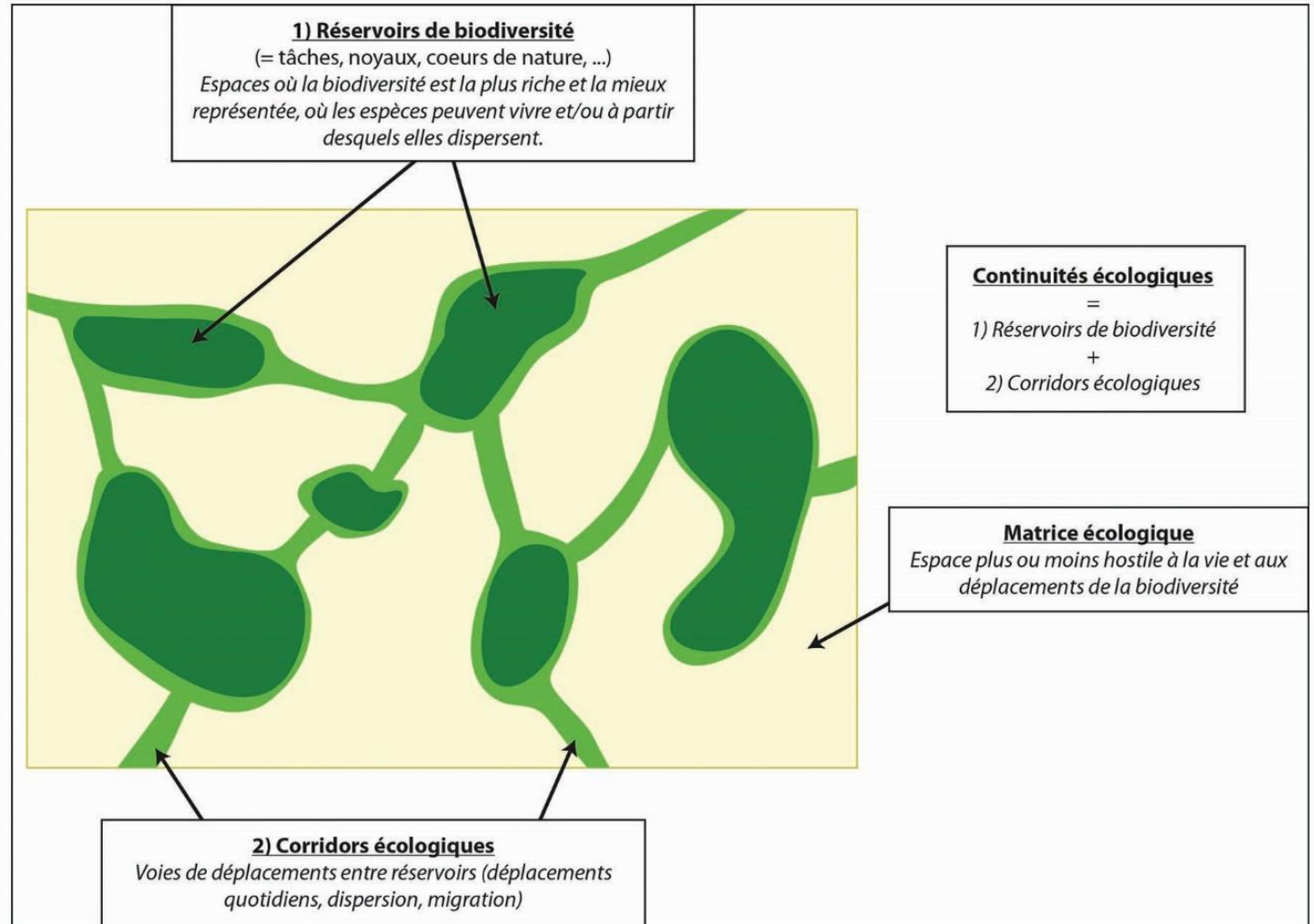
Contexte de l'étude sur Douai

• Qu'est-ce qu'une « Trame sombre » ?

Méthodologie (*durée de l'opération : 3 ans environ*)

- Démarche volontaire et expérimentale
- Choix du périmètre du projet
- Analyse de l'existant : plans, vues aériennes, espaces verts, plans d'eau, rivières, ...
- Evaluation potentielle de la mise en place d'une trame sombre, identification des enjeux,
- Ajout couche orthophotographie nocturne, diagnostic patrimonial,
- Identification des points de conflit potentiels,
- Pertinence le choix d'une solution technico-économiques envisagées,
- Recherche de financements extérieurs potentiels
- Procédure de consultation, réalisation des travaux,
- Etude d'impact.

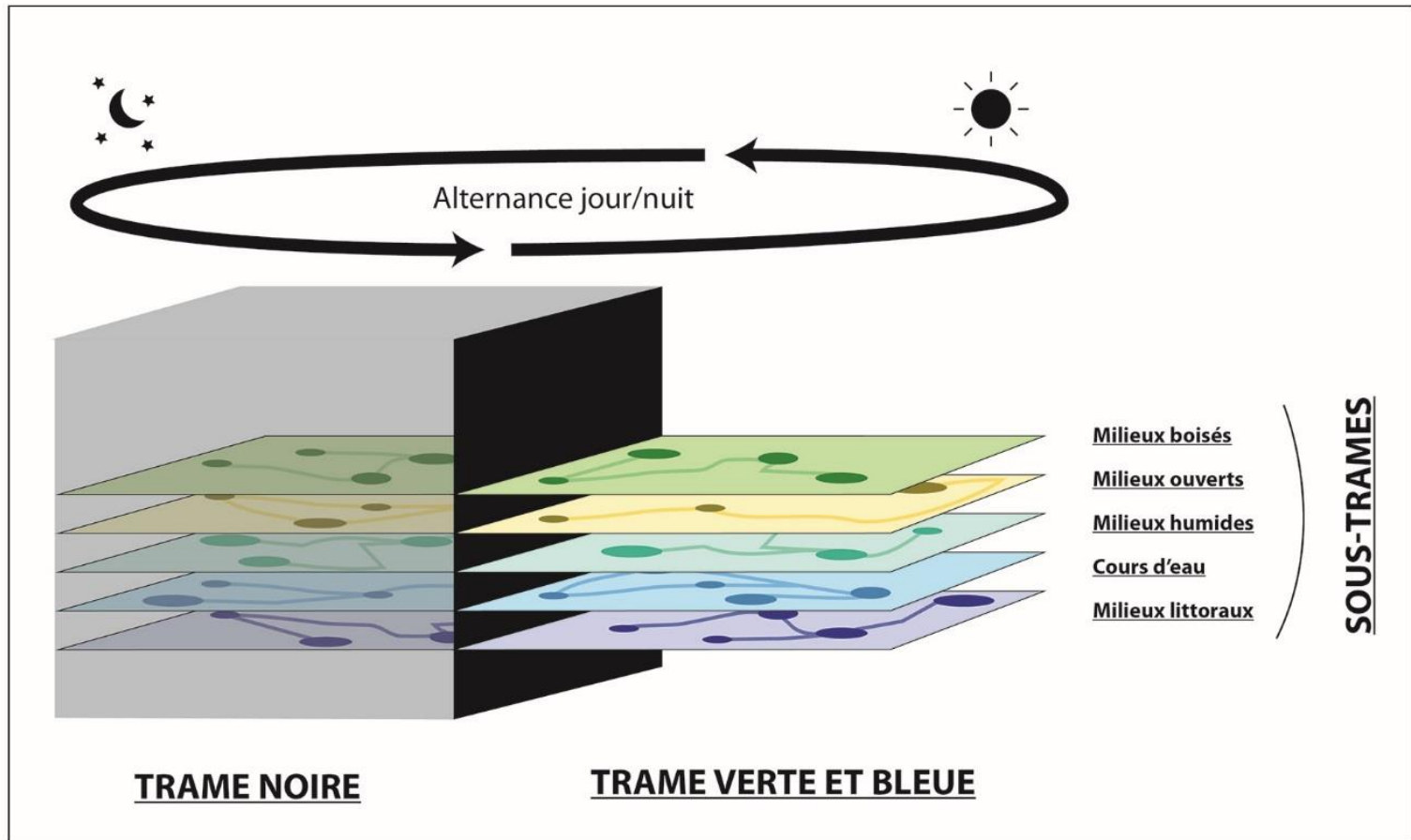
• Qu'est-ce qu'une « Trame sombre » ?



Crédit

R. Sordello (2017) : Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?

- **Qu'est-ce qu'une « Trame sombre » ?**



• Effet de la pollution lumineuse sur la biodiversité

- Effet d'attraction : effet piège, attractivité de certains insectes
- Effet de répulsion : les espèces se détournent de leur chemin habituel
- Effet de fragmentation : barrière infranchissable



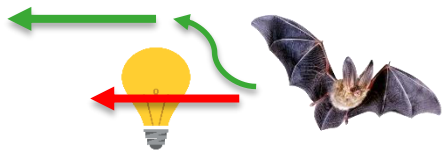
Effet d'opportunité qui peuvent déséquilibrer les écosystèmes (*exemple: prédateurs aériens chassent plus tard*).

Effet de la pollution lumineuse sur la biodiversité

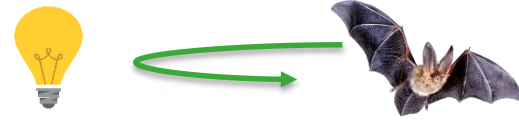
- Effet d'attraction : effet piège, attractivité de certains insectes



- Effet de répulsion : les espèces se détournent de leur chemin habituel



- Effet de fragmentation : barrière infranchissable



Effet d'opportunité qui peuvent déséquilibrer les écosystèmes (*exemple: prédateurs aériens chassent plus tard*).

Phénomène d'adaptation

• Pourquoi des chauves-souris pour évaluer la pollution lumineuse ?

- Espèces spécialisées dans certaines proies : Certaines espèces sont spécialisées dans la prédation de proies spécifiques à certains milieux.

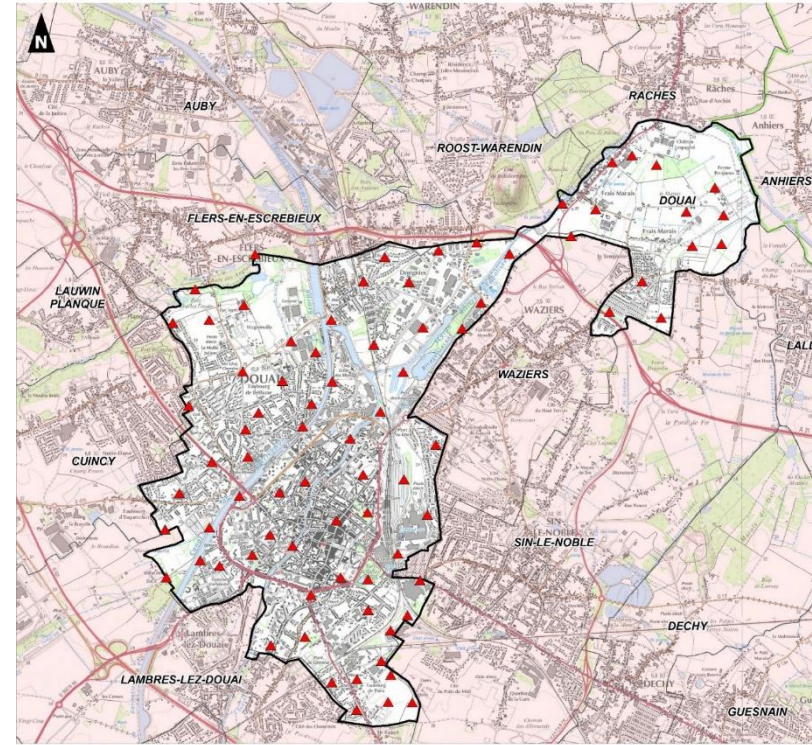


- Activité dépendante de la quantité de proies : un individu peut avaler entre le quart et le tiers de son poids par nuit soit entre 500 et 1000 moustiques !
- Espèces sensibles à la lumière : certaines espèces sont particulièrement lucifuges et d'autres plus tolérantes.

• La Trame sombre de Douai

Protocole

- 80 points d'enregistrement au cours de plusieurs nuits entre le 04 et le 25 juin 2018
- Pour déterminer les lieux de pose, un croisement a été effectué entre :
 - ✓ la proportion de végétation présente dans toute la ville
 - ✓ l'éclairage (somme des flux lumineux reçus en un point donné) obtenue à partir d'une photographie aérienne nocturne
- Analyse des sons via le logiciel Tadarida (MNHN)



• La Trame sombre de Douai

Résultats

➤ 11 espèces identifiées :

- Pipistrelles commune, de Kuhl et de Nathusius,
- Noctules commune et de Leisler,
- Murins à moustaches, de Daubenton et de Natterer,
- Grand Murin, Sérotine commune et Oreillard gris.



Pipistrelle



Oreillard



Noctule



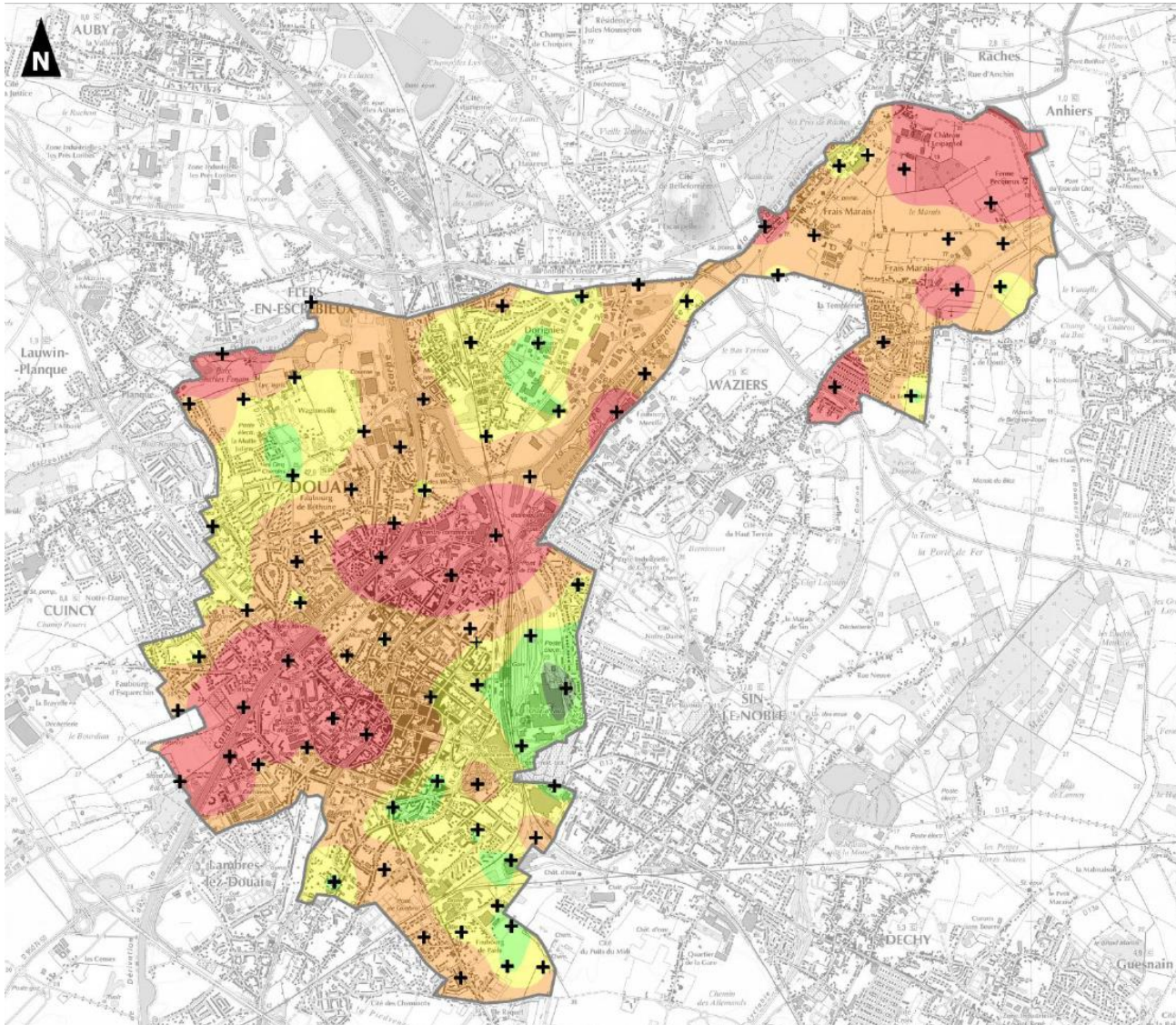
Murin



Sérotine

• La Trame sombre de Douai

Répartition de l'activité

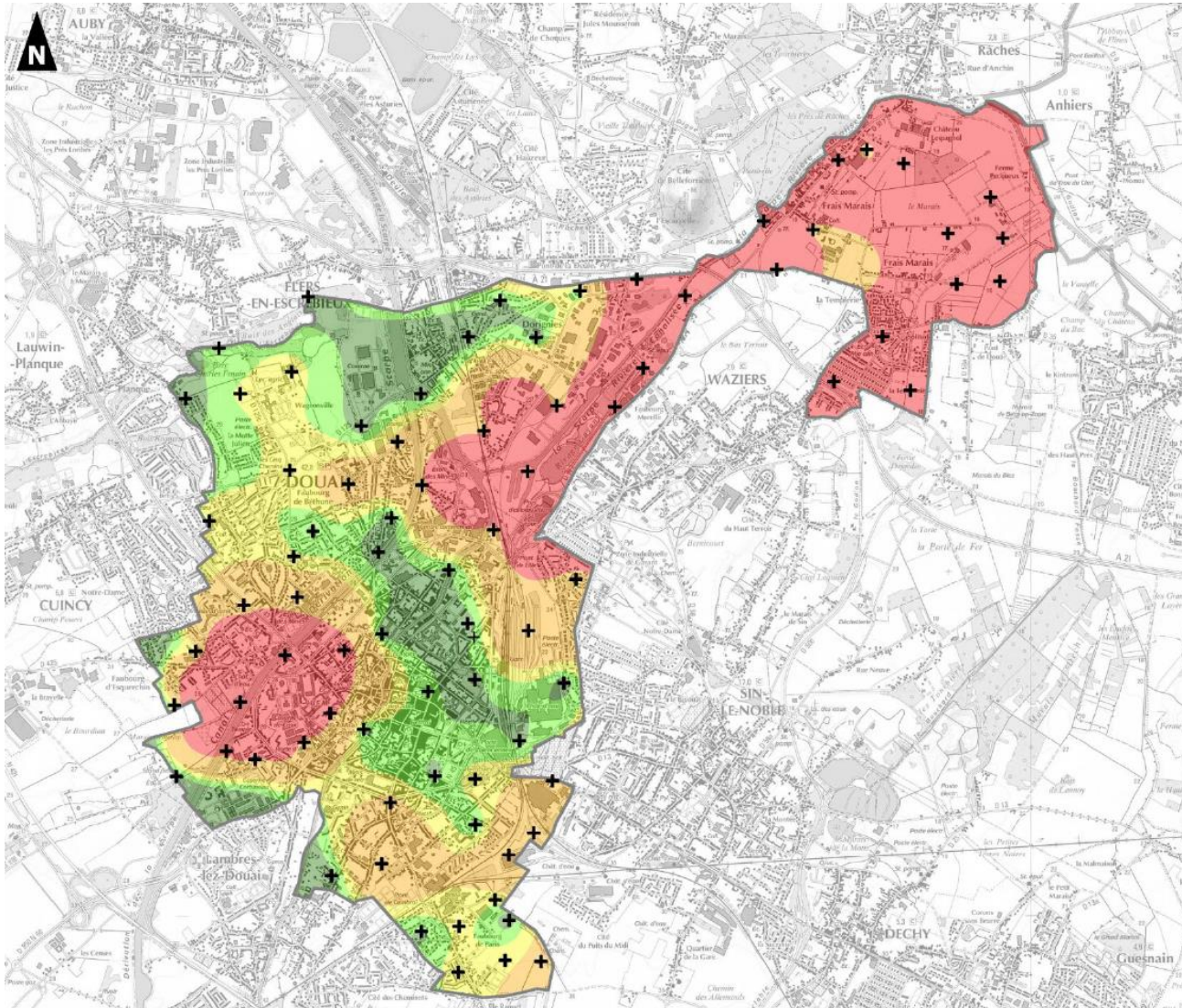


Pipistrelles

Crédit
Auddicé, Ville de Douai

• La Trame sombre de Douai

Répartition de l'activité



- Site étudié
- Zone végétalisée
- Surface en eau
- Niveau d'activité**
- Faible
- Faible à modéré
- Modéré
- Modéré à fort
- Fort

**Sérotines et
Noctules**

Crédit
Auddicé, Ville de Douai

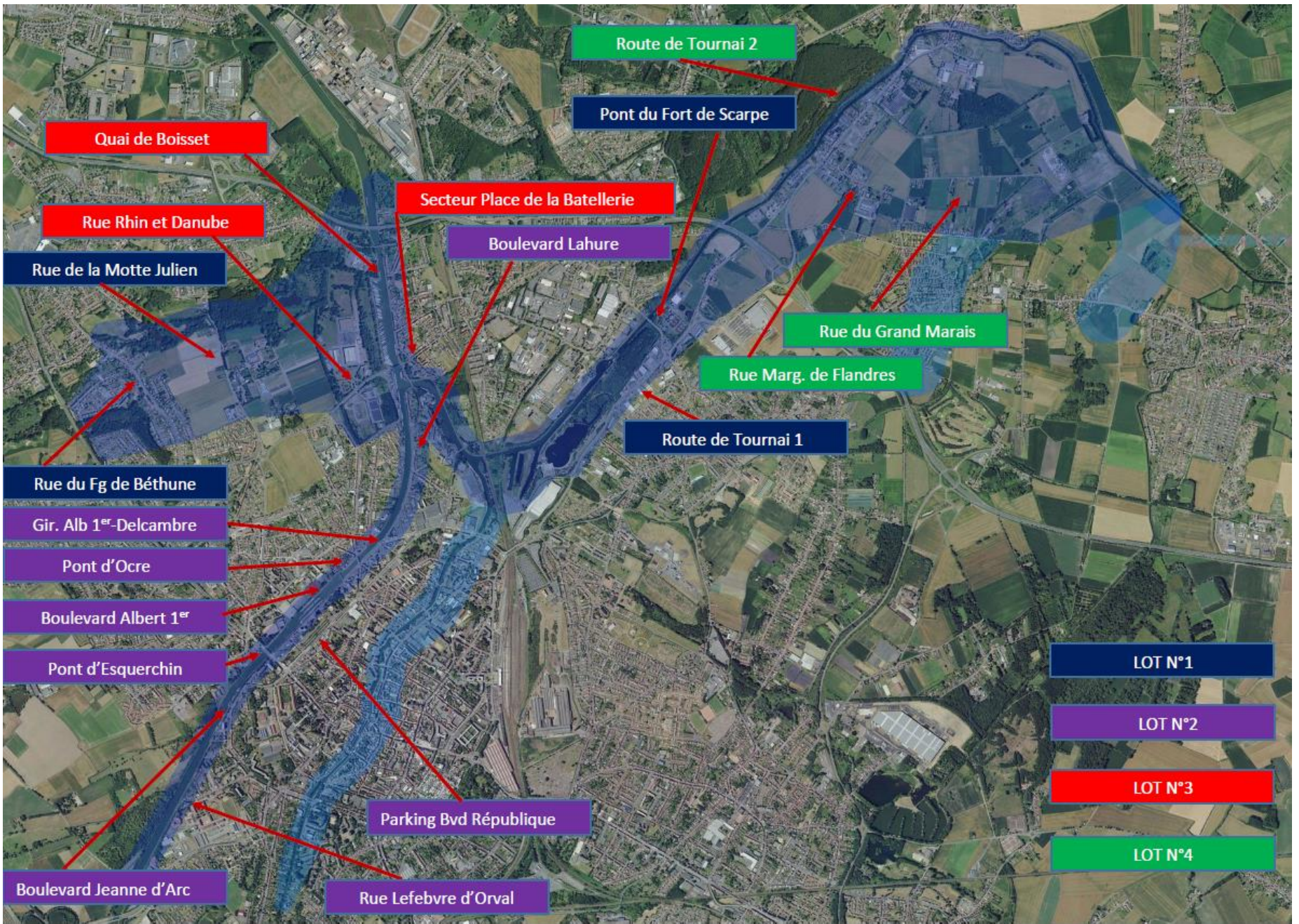
- **La Trame sombre de Douai**

Le Douaisis la nuit, photo prise depuis la station ISS 83 en juin 2021

Sur cette image nocturne vue du ciel, c'est la luminance de la terre et non la luminance du ciel vu de la terre.

La luminance perçue correspond aux flux réfléchis par toutes les surfaces éclairées

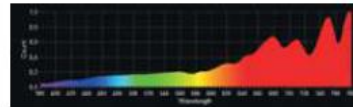




- La Trame sombre de Douai



La Lumière Blanche du soleil



Lumière haute montagne
10 000 K, Blanc très froid

Coucher de soleil
2 200 K, Blanc chaud



	Les températures de couleur en Kelvin
Soleil à l'horizon	2 000 K
Soleil levant	3 000 K
Soleil couchant	2 200 K
Lumière du jour au Zénith	5 800 K
Lumière normée dite "naturelle"	6 500 K (D65)
Ciel nuageux	7 000 à 9 000 K
Ciel polaire	10 000 à 12 000 K

• La Trame sombre de Douai

Prescriptions expérimentales

1 Modulation de températures de couleur (T_{cp}) adaptées : pour les périodes d'activité de la biodiversité (*de février à novembre*) la T_c employée sera de 2 200K. Pour les périodes de moindre activité de la biodiversité (*de novembre à février*), la T_c employée sera de 2 700K.

2 Adaptation du niveau d'éclairage à l'usage : les niveaux d'éclairage seront adaptés en fonction des usagers : piétons, cyclistes, véhicules, l'installation conservant un niveau de veille.

3 Modulation de la puissance installée : un abaissement automatique de la puissance nominale (P_n) sera réalisé (-90% P_n) tout en satisfaisant à la sécurité des déplacements (*détection des piétons et cycles*) et avec un niveau d'éclairage à maintenir adapté. L'optimisation de la maintenance est un enjeu technico-économique fort (*limitation des déplacements, continuité de service*).

4 Emploi d'une photométrie adaptée : mise en œuvre de luminaires avec un rapport ULR (*flux lumineux sortant du luminaire*) proche de 0% (*l'arrêté du 27 décembre 2018 prescrivant une valeur de 4% au maximum*) tout en adaptant la photométrie des luminaires pour éclairer les surfaces utiles.

5 Accentuation des contrastes pour les passages pour piétons : remplacement de certains dispositifs actuels (*fonctionnement à puissance nominale toute la nuit, $T_c = 5\ 300K$*) par des dispositifs « intelligents » (*avec $T_c = 3000K$*) : fonctionnement et communication suivant scénarios d'asservissement à la présence (*bouton poussoir*) avec un protocole de communication.

- **La Trame sombre de Douai**

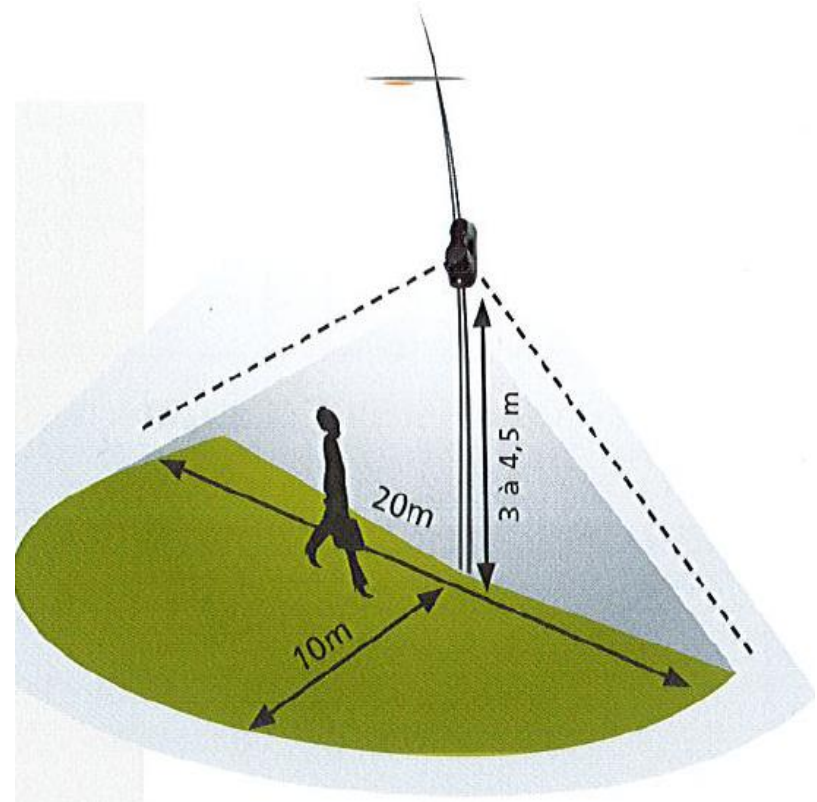
Type de luminaire



2 modules à LED : 2 700K et 2 200K
Actuellement, 3 000K employé en ville

• La Trame sombre de Douai

Détection Cycles et piétons



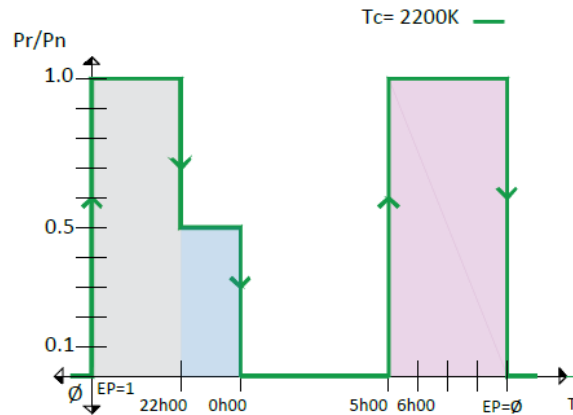
Commande d'un groupe de luminaires

• La Trame sombre de Douai

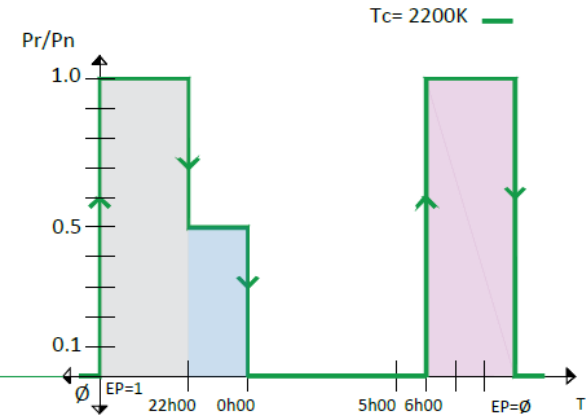
Prescriptions expérimentales

PÉRIODE ÉTÉ:

SCÉNARIO N°3:
Lundi - Vendredi du 1er avril au 30 septembre

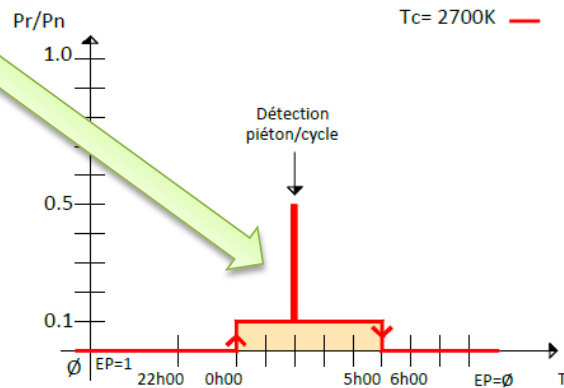


SCÉNARIO N°4:
Samedi - Dimanche du 1er avril au 30 septembre

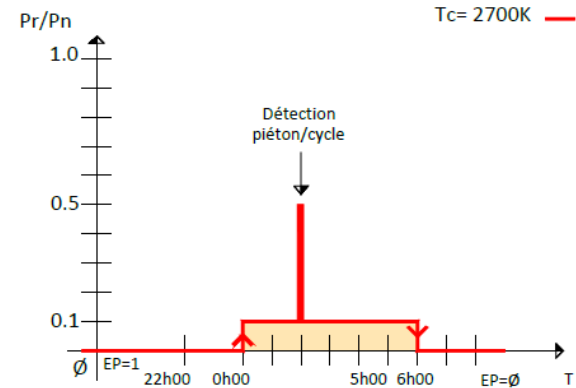


Boost sur détection
de présence

SCÉNARIO N°5:
Lundi - Vendredi du 1er avril au 30 septembre



SCÉNARIO N°6:
Samedi - Dimanche du 1er avril au 30 septembre

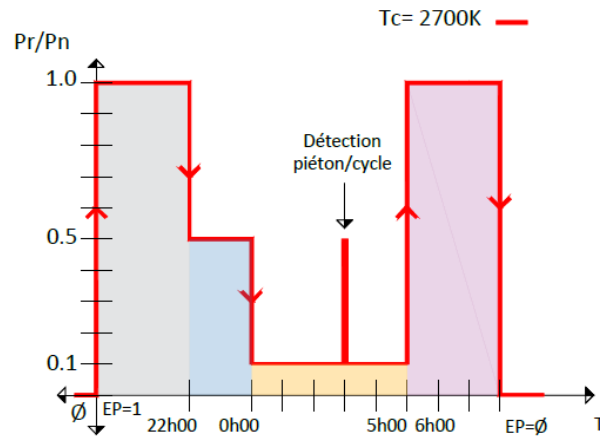


• La Trame sombre de Douai

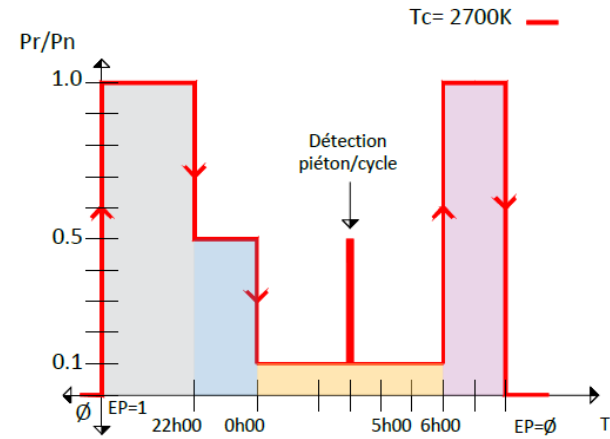
Prescriptions expérimentales

PÉRIODE HIVER:

SCÉNARIO N°1:
Lundi - Vendredi du 1er octobre au 30 mars



SCÉNARIO N°2:
Samedi - Dimanche du 1er octobre au 30 mars



• La Trame sombre de Douai

Exemple : Boulevard Lahure (*jusqu'au pont du Polygone*) :

- Rénovation complète des infrastructures (hauteurs adaptées).
- Modulation des températures de couleur conforme au III-1.
- Adaptation de l'éclairage aux usages conforme au III-2.
- Profil nocturne conforme au III-3.
- Photométrie conforme au III-4.
- Pas d'éclairage intentionnel du canal de la dérivation de la Scarpe. Accentuation des contrastes pour les piétons conforme au III-5.
- **Proposition de mise en place d'une haie basse le long du trottoir côté opposé aux habitations.**



• La Trame sombre de Douai

Quelques données d'ensemble :

- **Calendrier des travaux :** Essais et validation des profils nocturnes (*mai-juin 2021*)



Travaux (*novembre 2021 à juin 2022*)

Etude d'impact (*juin 2023*)

- **Montant des travaux** 1.7 M€ HT dont 1.193 M€ subventions FEDER

- **600 point lumineux et 25 armoires de commande remplacées**

- **Surface du projet : 1.034 km² ou 103.4 hectares**



• La Trame sombre de Douai

Quelques données d'ensemble :

- **Gains énergétiques estimés** -77% de l'énergie active (kWh) sur le périmètre de l'opération (600 PL)
48,94 TEP économisées → Sobriété énergétique
- **Impact technique sur l'esthétique des luminaires** : choix technologiques (2 drivers, détection de présence)
- **Choix technico-économiques** 2 modules LED, surtout pour un 3^{ème} (« veilleuse ») et les dispositifs de communication trop élevé, dimensionnement spécifique de l'installation
- **Maintenance des installations** : harmonisation des profils nocturnes par rapport à l'environnement, des optiques des luminaires, des drivers, interopérabilité, ...

• La Trame sombre de Douai

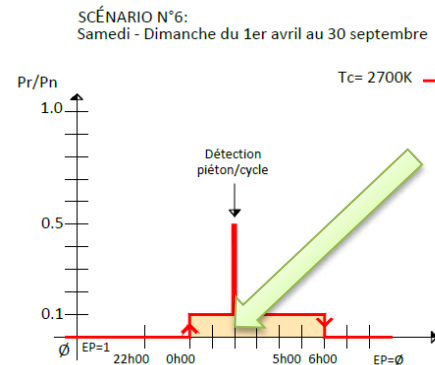
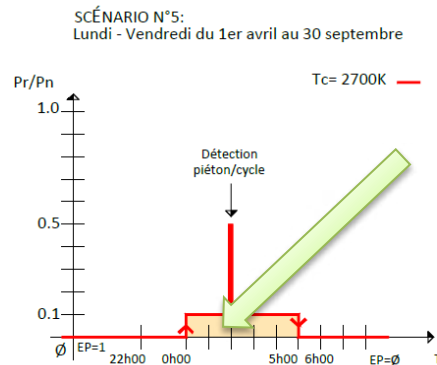
Focus sur les points techniques et technologiques singuliers

- 2 modules source LED au lieu de 3,
- Adaptation des optiques et des appareillages électroniques,
- Plans d'exécution, tableaux de suivi,
- Etudes photométriques suivant la NF EN 13-201,
- Dimensionnement de l'installation,
- Dimensionnement de l'installation suivant l'arrêté du 27 décembre 2018,
- L'accentuation des contrastes pour les passages piétons,
- Synoptique des protocoles de communication mis en place,
- Garanties des performances,
- Logiques de fonctionnement.

• La Trame sombre de Douai

2 modules source LED au lieu de 3

Initialement, le choix s'était porté sur 3 modules source LED : (1 x 2200K, 2 x 2700K) en complément des 2 modules source LED, un 3^{ème} était prévu pour fonctionner à $P_n = 10\% P_{n, 2700K}$ (puissance installée entre 0h00 et 5h30), le « boost » sur détection de présence fonctionnant sur le plateau source LED 2700K



Ce dispositif n'a pas été retenu : coûts supplémentaires des dispositifs de télégestion, esthétique avec des dimensions plus importantes pour les luminaires.

Choix de fonctionner à 10% $P_{n, 2700K}$. Valeurs du taux de distorsion harmonique en courant (*THDi*) et du facteur de puissance (*fp*) impactées.

- **La Trame sombre de Douai**

Adaptation des optiques et des appareillages électroniques

Nécessité d'adapter les optiques des luminaires et des appareillages électroniques en fonction des espaces extérieurs et de leurs géométries



• La Trame sombre de Douai

Plans d'exécution Tableaux de suivis

Nécessité d'avoir des plans d'exécution avec les données nécessaires aux raccordements (*référence PL, type PL, circuit et phase en vue de la GMAO*) : travail de préparation avec les fournisseurs pour les colisages, les identifications des différents appareillages électroniques, les câbles des circuits terminaux, ...



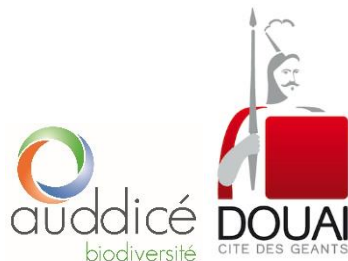
Tableau d'affectation des luminaires : triplet type-optique-driv

LUMINAIRE_REF_FB	SECTEUR	REF_PL_DCE	REPERE_POSE	ENTREPRISE_M19-88_L	CCT [K]	REFERENCE_LUMINAIRE (en 2700K et double plateau) ou suivant CCT fixe	TECEO	P LED [kW]	P Driver [kW]
3 304	1	PL1-19	Type 4	Satelec M19-88-1	2200K-2700K	TECEO GEN2 TAILLE 2 - 64 LED 700mA WW727 Plat, Verre extra clair, Lisse 5139 Light Exhauster	2	0,134	0,165
3 314	1	PL1-18	Type 4	Satelec M19-88-1	2200K-2700K	TECEO GEN2 TAILLE 2 - 64 LED 700mA WW727 Plat, Verre extra clair, Lisse 5139 Light Exhauster	2	0,134	0,165
3 296	1	PL1-17	Type 4	Satelec M19-88-1	2200K-2700K	TECEO GEN2 TAILLE 2 - 64 LED 700mA WW727 Plat, Verre extra clair, Lisse 5139 Light Exhauster	2	0,134	0,165

ARMOIRE_CODE_LIEU	ARMOIRE_NOM_LIEU	LUMINAIRE_POSITION_METRIQ	NUMERO_LUMINAIRE	CIRCUIT	PHASE	ARMOIRE_PROJETEE_NOM	ARMOIRE_EXISTANTE_NOM
212310	FAUBOURG DE BETHUNE (RUE DU)	1352	01	4		GOLF	OCTROI
212310	FAUBOURG DE BETHUNE (RUE DU)	1384	01	4		GOLF	OCTROI
212310	FAUBOURG DE BETHUNE (RUE DU)	1420	01	4		GOLF	OCTROI

LUMINAIRE_REFERENCE_EXISTANT	LUMINAIRE_SOURCE_REFERENCE	LUMINAIRE_PUISSANCE_ACTIV
Philips Comete LV2FS 250	SHP Tubulaire 250W 2000K E40 33000 lm	0,250
Philips Comete LV2FS 250	SHP Tubulaire 250W 2000K E40 33000 lm	0,250
Philips Comete LV2FS 250	SHP Tubulaire 250W 2000K E40 33000 lm	0,250

PROJET_SUPPORT_LAMP_REF_CONST	EXISTANT_SUPPORT_LAMP_REF_CONST
	Ghm AE2 8m
	Ghm AE2 8m
	Ghm AE2 8m



Exemple pour la rue du Faubourg de Béthune

• La Trame sombre de Douai

Etudes photométriques

Dimensionnement effectué suivant la NF EN 13-201, Adaptation de la puissance de l'appareillage électronique à l'éclairement à maintenir requis.

Inclinaison des luminaires : 0° un rapport $ULR\alpha = 0\%$ (*rapport $ULR = 0\%$*).

Pour mémoire, l'arrêté du 27 décembre 2018 relatif aux nuisances lumineuses prescrit un rapport $ULR < 1\%$ et un rapport $ULR\alpha < 4\%$ autorisant gravement la création d'éblouissement et une augmentation potentielle des lumières intrusives du fait autorisés par des inclinaisons anormales pour ce type de luminaire d'éclairage extérieur.

Classe d'éclairage : M3 (6 classes possibles) avec $L_{MOY MIN} : 1 \text{ cd/m}^2$ ($E_{MOY} : 15 \text{ lux}$, $U_{oe} : 0.4$), valeurs à maintenir. **FM : 0.9.**

$P_{n 2700K} : 134 \text{ W}$, $P_{DRIVER} : 165 \text{ W}$, efficacité lumineuse : 116 lm/W , $E_{MOY} : 19.3 \text{ lx}$, $L_{MOY MIN} : 1.4 \text{ cd/m}^2$ (**MES**)

$P_{n 2200K} : 134 \text{ W}$, $P_{DRIVER} : 165 \text{ W}$, efficacité lumineuse : 108 lm/W , $E_{MOY} : 17.9 \text{ lx}$, $L_{MOY MIN} : 1.3 \text{ cd/m}^2$ (**MES**)

Soit une baisse de E_{MOY} entre 2 700 K et 2 200 K à P identique

• La Trame sombre de Douai

Dimensionnement de l'installation

Application des dispositions de la NF C17-200 : règle du nombre

Type de driver	Puissance active [W]	B10	B13	B16	B20	B25
Philips XiFP 40W	40	15	19	24	30	37
Philips XiFP 75W	75	6	8	10	13	16
Philips XiFP 110W	110	6	8	10	13	16
Philips XiFP 165W	165	4	6	7	9	11

Données calculées à partir des valeurs fournies par le fabricant

Il s'agit du nombre maximal d'appareillages électroniques par phase (soit 2 appareillages par luminaires) équipant chaque luminaire et non le nombre de luminaires → Pénalisant pour le dimensionnement.

Mise sous tension simultanée des 2 appareillages électroniques avec une gestion différenciée : fonctionnement distinct et mise en veille (*puissance de veille*) de l'appareillage non utilisé.

Vérification de la longueur protégée contre les courts-circuits (*suivant le FD C17-205*).

• La Trame sombre de Douai

Dimensionnement de l'installation



	Longueur électrique du circuit [m]	Nombre drivers du circuit	Type de driver	Réseau triphasé donc par phase *	Choix du disjoncteur	Règle du nombre Fabricant par phase	Type de câble	Vérification FD C17-205	I_b [A] par phase :
Circuit 1	754	54	Philips XiFP Dali 40W	18	B16	24	U 1000 R2V 5G10	626 m < 777 m	3,57
Circuit 2	321	22	Philips XiFP Dali 40W	8	B16	24	U 1000 R2V 5G10	269 m < 777 m	1,59
Circuit 3	407	18	Philips XiFP Dali 165W	6	B16	7	U 1000 R2V 5G16	407 m < 777 m	4,20
Circuit 4	522	24	Philips XiFP Dali 165W	8	B16	7	U 1000 R2V 5G16	522 m < 777 m	5,60

* Le nombre de drivers par phase doit être un nombre pair pour le dimensionnement (2 drivers par luminaire)

Tableau 7 – Longueurs maximales (en mètres) des canalisations 230/400 V protégées contre les courts-circuits (section cuivre)

Synoptique d'un circuit d'installation de l'armoire de commande de la rue du Faubourg de Béthune

Optimisation de la puissance des drivers pour être la plus proche possible (puissance active nominale immédiatement supérieure à celle nécessaire pour le luminaire source LED considéré)

- **La Trame sombre de Douai**

Dimensionnement de l'installation suivant l'arrêté du 27 décembre 2018

DSFLI \leq 35 lm/m² pour ce type d'installation, valeur réglementaire (*code de l'environnement*).

Surface destinée à être éclairée : 9 810m² (*rue du Faubourg de Béthune*) pour 21 luminaires,

$P_{\text{luminaire}} = ((S \times \text{DSFLI}) / N_{\text{PL}}) / \text{FE}$, avec S en m², DSFLI en lm/m², FE en lm/W, N_{PL} sans unité.

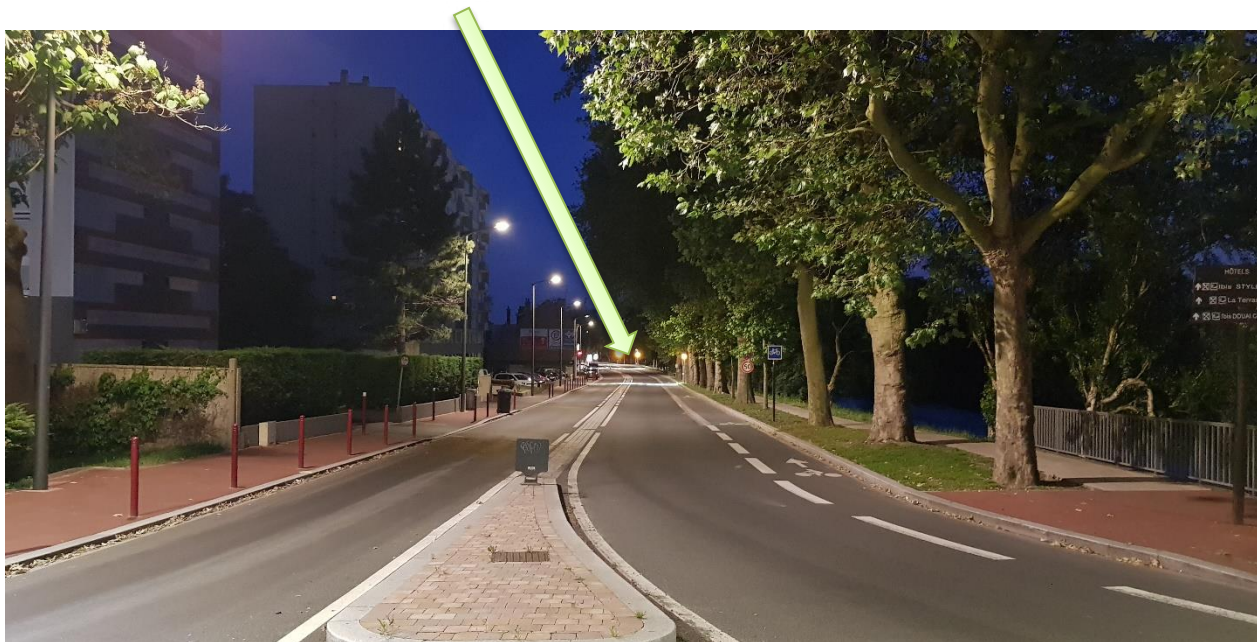
$P_{n\ 2700K} : ((9810 \times 35) / 21) / 116 = 141\text{W}$ à comparer à 134 W en éclairage soit + 5,22%,

$P_{n\ 2200K} : ((9810 \times 35) / 21) / 108 = 152\text{W}$ à comparer à 134 W en éclairage soit + 13,43%.

• La Trame sombre de Douai

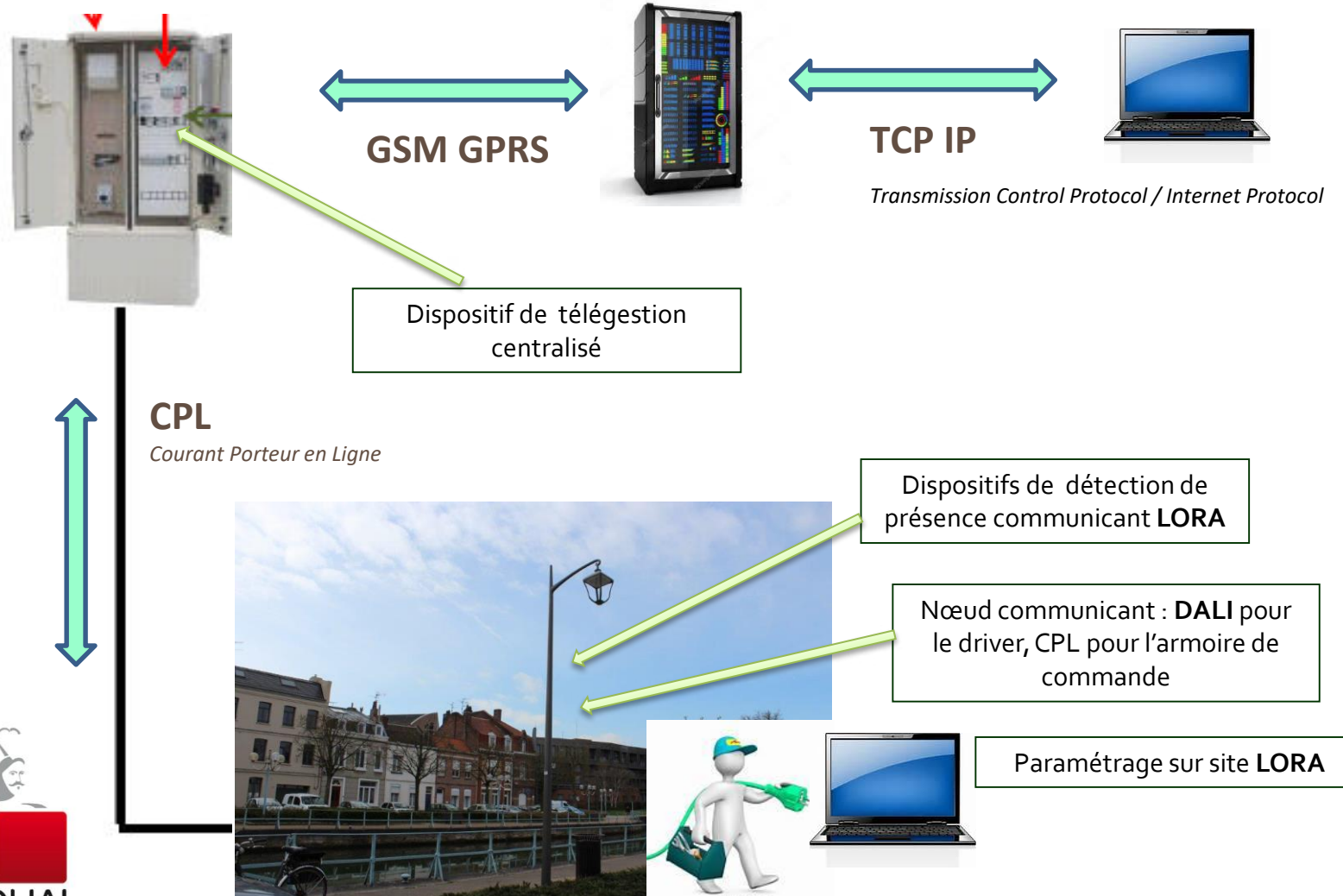
L'accentuation des contrastes pour les passages piétons

Afin de renforcer la signalisation nocturne des traversées pour piétons, des projecteurs source LED permettront d'accentuer les contrastes (*de luminance*). Le fonctionnement autonome est asservi à des détecteurs de présence communicants (*LoRa*) fonctionnant sur une traversée ou sur un carrefour. Chaque projecteur est pourvu d'un dispositif de télégestion.



• La Trame sombre de Douai

Synoptique des protocoles de communication mis en place



• La Trame sombre de Douai

Garanties des performances

Initiée en 2014 depuis l'installation de luminaires source LED 3 000K sur la ville de Douai, les performances des luminaires sont garanties par l'entreprise ayant réalisé les travaux d'installation permettant ainsi d'apprécier le coût de cycle de vie basé sur le coût global :

- **Date de démarrage** : fixée au jour de la première mise en exploitation de ladite installation correspondant au jour arrêté pour la réception des travaux.
- **Situation initiale** : état technique, esthétique, mécanique et fonctionnel, énergétique, à la date de démarrage.
- **Durée de vie assignée [DVA]** : durée de fonctionnement (*sur la base d'un nombre d'heures de fonctionnement annuel suivant un cycle d'allumage et d'extinction journalier*) à la fin de laquelle la valeur du facteur de maintenance du luminaire sera atteinte, le flux lumineux résiduel (*en mode puissance nominale*) ne permettant plus de satisfaire aux exigences photométriques déterminées pour l'installation.

• La Trame sombre de Douai

Garanties des performances pour les appareils d'éclairage extérieur

- **Durée de vie garantie d'un module à LED [DVGM]:** durée de vie garantie minimale de fonctionnement (*sur la base d'un nombre d'heures de fonctionnement annuel suivant un cycle d'allumage et d'extinction journalier*) avec le remplacement aux frais de l'entreprise en cas de défaillance d'un module à LED avant que DVGM ne soit atteinte
- **Durée de vie garantie de l'alimentation du (des) module(s) à LED [DVGA] :** durée de vie garantie minimale (*sur la base d'un nombre d'heures de fonctionnement annuel suivant un cycle d'allumage et d'extinction journalier*) avec le remplacement aux frais de l'entreprise en cas de défaillance d'une alimentation d'un (des) module(s) à LED avant que DVGA ne soit atteinte,
- **Durée de vie mécanique du luminaire [DVM] :** durée de vie fixée (*en années*) liée aux conditions d'implantation du luminaire, à la fixation de luminaire sur son support, à la tenue de la peinture de l'ensemble (*hors dégradations liées à du vandalisme*) avec la remise dans la situation initiale en cas de défaillance impactant la DVM

• La Trame sombre de Douai

Garanties des performances pour les appareils d'éclairage extérieur

Article C.C.T.P	DVA [h fct]	DVGM [h fct]	DVGA [h fct]	DVM [années]
3.7.1	90 000	41 000	32 800	20
3.7.2	90 000	41 000	32 800	20
3.7.3	90 000	41 000	32 800	20
3.7.4	90 000	41 000	32 800	20
3.7.5	90 000	41 000	32 800	20

Extrait du C.C.T.P avec les durées de vie garanties minimales contractualisées (4100 heures de fonctionnement par an).

D'autres types de garanties ont également été prévues pour les luminaires d'éclairage extérieur : continuité des T_{CP} , interopérabilité, valeurs moyennes d'éclairement, ...

Des pénalités (*avec dérogation au C.C.A.G dans certains cas*) ont également été prévues. Les durées de vie des luminaires sont de l'ordre de 30 ans permettant une rénovation du parc national de 3% par an.

• La Trame sombre de Douai

Garanties des performances pour les dispositifs de télégestion

- **Durée de vie fonctionnelle garantie des communications [DVFGC]** : 10 ans calendaires de fonctionnement garanti au minimum pour l'ensemble des diverses communications (*sens ascendants ou descendants*) quelque soit le point lumineux, l'armoire de commande ou les ordinateurs existants,
- **Durée de vie fonctionnelle garantie des dispositifs [DVFGD]** : 5 ans calendaires de fonctionnement garanti pour l'ensemble des dispositifs repris au présent article. Dans le cadre de cette durée, l'entreprise prendra à sa charge l'ensemble des prestations rendues nécessaires afin de satisfaire aux modes de fonctionnement correspondants à la date de situation initiale.
- **Durée de vie fonctionnelle garantie des dispositifs ESPP [DVFGD ESPP]** : 5 ans calendaires de fonctionnement garanti pour l'ensemble des dispositifs repris au présent article. Dans le cadre de cette durée, l'entreprise prendra à sa charge l'ensemble des prestations rendues nécessaires afin de satisfaire aux modes de fonctionnement correspondants à la date de situation initiale.

Des pénalités (*avec dérogation au C.C.A.G dans certains cas*) ont également été prévues.

• La Trame sombre de Douai

Logiques de fonctionnement

Création de groupes pour sous forme de tables de vérité (ou matrices) permettant de relier 1 luminaire à plusieurs groupes afin d'optimiser le juste éclairage (*dimensions temporelle et spatiale*) : « éclairer juste ce qu'il faut quand il le faut ».



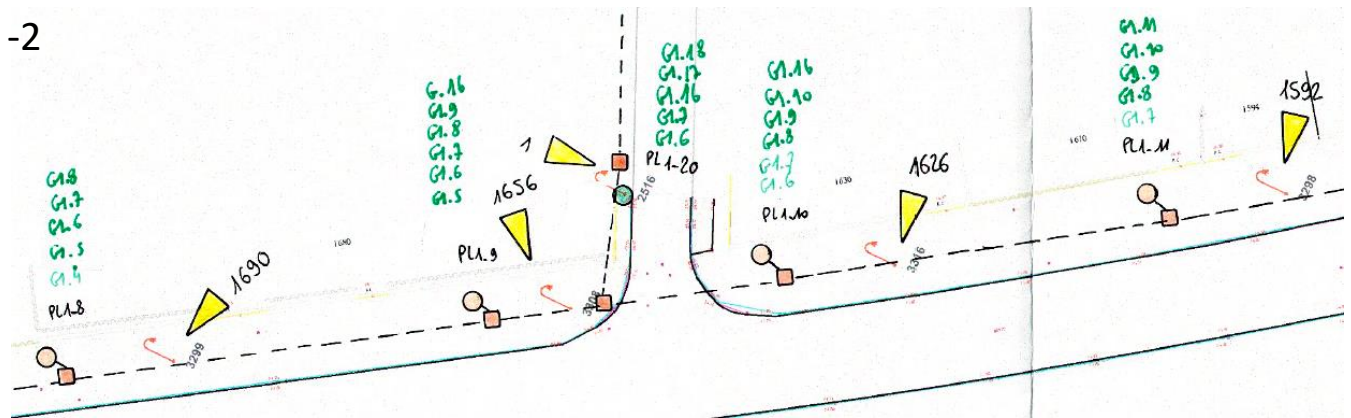
Table de vérité 2 : Secteurs 1-2-3

Armoire	Référence	PL1.1	PL1.2	PL1.3	PL1.4	PL1.5	PL1.6	PL1.7	PL1.8	PL1.9	PL1.10	PL1.11	PL1.12	PL1.13	PL1.14	PL1.15	PL1.16	PL1.17	PL1.18	PL1.19	PL1.20		
	G1.1	G1-1	G1-1	G1-1																			
	G1.2		G1-2	G1-2	G1-2	G1-2	G1-2																
	G1.3			G1-3	G1-3	G1-3	G1-3	G1-3															
	G1.4				G1-4	G1-4	G1-4	G1-4	G1-4														
	G1.5					G1-5	G1-5	G1-5	G1-5	G1-5													
	G1.6						G1-6	G1-6	G1-6	G1-6	G1-6	→										G1-6	
	G1.7							G1-7	G1-7	G1-7	G1-7	G1-7	→										G1-7
	G1.8								G1-8	G1-8	G1-8	G1-8	G1-8										
	G1.9									G1-9	G1-9	G1-9	G1-9	G1-9									

Fonctionnement en +2 / -2

Groupe de 5 PL

Cycles, piétons



• La Trame sombre de Douai

Essais nocturnes

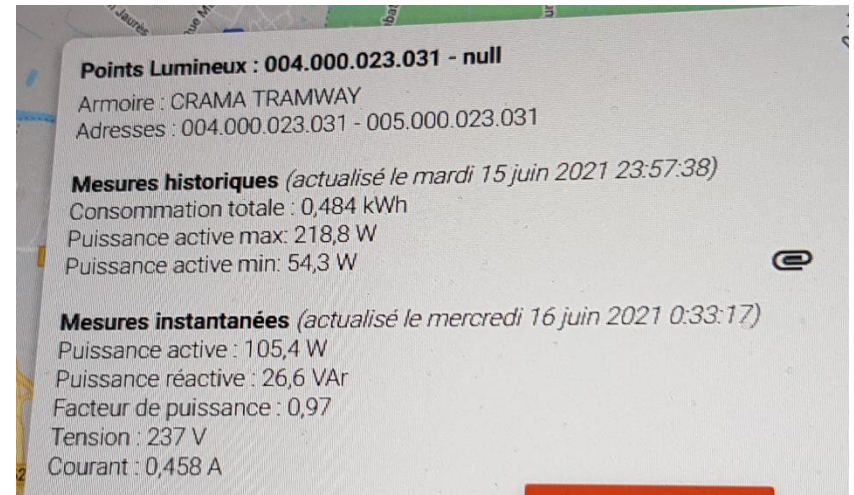
Mesures des éclairagements ponctuels et des températures de couleur suivant les profils nocturnes



P_n à 2 700K



Mesure T_{CP} à $0.5 P_n$



Mesures de certaines grandeurs physiques

- La Trame sombre de Douai

Approche énergétique Dépenses Ville en fonctionnement

				Energie / an
Ratio énergétique [€TTC/kWh/an]	0,145			
Existant				77 931,87 €
Nombre PL déposés	602		Soit par PL	129,45 €
Puissance existante [kW]	130,642			
Nombre sources déposées	687			
36W Fluo	16	0,576	kW	
64W LED	11	0,704	kW	
74W Led	18	1,332	kW	
100W SHP	118	11,8	kW	
140W CPO	17	2,38	kW	
150W SHP	240	36	kW	
250W SHP	193	48,25	kW	
400W SHP	74	29,6	kW	
Energie active existante [kWh]	537 461			
Ratio W / PL existant	217,01			

- La Trame sombre de Douai

Approche énergétique Dépense ville en fonctionnement

Projet				18 297,65 €
Nombre PL projeté	606		Soit par PL	30,19 €
Puissance nominale projetée [kW]	56,57			
Téceo 1 50W-2 200K 26W-2 700K	104			
<i>Valeur moyenne pondérée Téceo 1 [W]</i>	40	4,16	kW	
Téceo 2 121W-2 200K 97W-2 700K	442			
<i>Valeur moyenne pondérée Téceo 2 [W]</i>	111	49,062	kW	
Técéo 1 50W-2 200K	19	0,95	kW	
Projecteur 26W- 2 700K	4	0,104	kW	
Projecteur intensif 26W- 2 700K	37	0,962	kW	
Tilt 74W Led	18	1,332	kW	
Energie active projetée [kWh]	126 191			
Puissance active pondérée projetée [kW]	30,67			
Ratio W / PL pondéré projeté	50,62			

- La Trame sombre de Douai

Approche énergétique

Gain ratio W / PL (projet/existant)			-76,68%
Gain annuel par point lumineux (projet/existant) € TTC			99,26 €
Gain relatif annuel sur facture (projet/existant)			-76,52%
Gain annuel sur facture (projet / existant) € TTC			59 634,22 €
Montant dépenses investissement (part Ville) € TTC			884 386,65 €
Temps de retour sur investissement [années] Energie seule			14,83

Sur part investissement Ville

- **La Trame sombre de Douai**

Montant des travaux

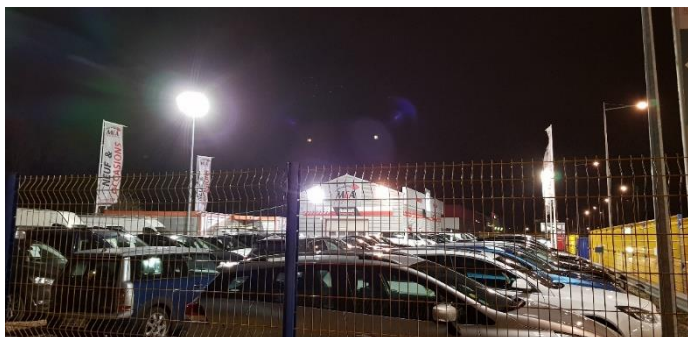
Le montant des travaux avec cette solution est de **2,006 M€ TTC**.

Si les travaux avait été réalisés avec des luminaires habituellement installés sur la Ville de Douai (3000K, 2 abaissements de puissance de -50% de P_n et de -70% de P_n), le montant des travaux aurait été de **1.253 M€ TTC**.

La plus-value pour réaliser ces travaux est donc de +60.01% sur la base des dépenses en € TTC.

- La Trame sombre de Douai

Des actions complémentaires à mener...



Merci de votre attention