



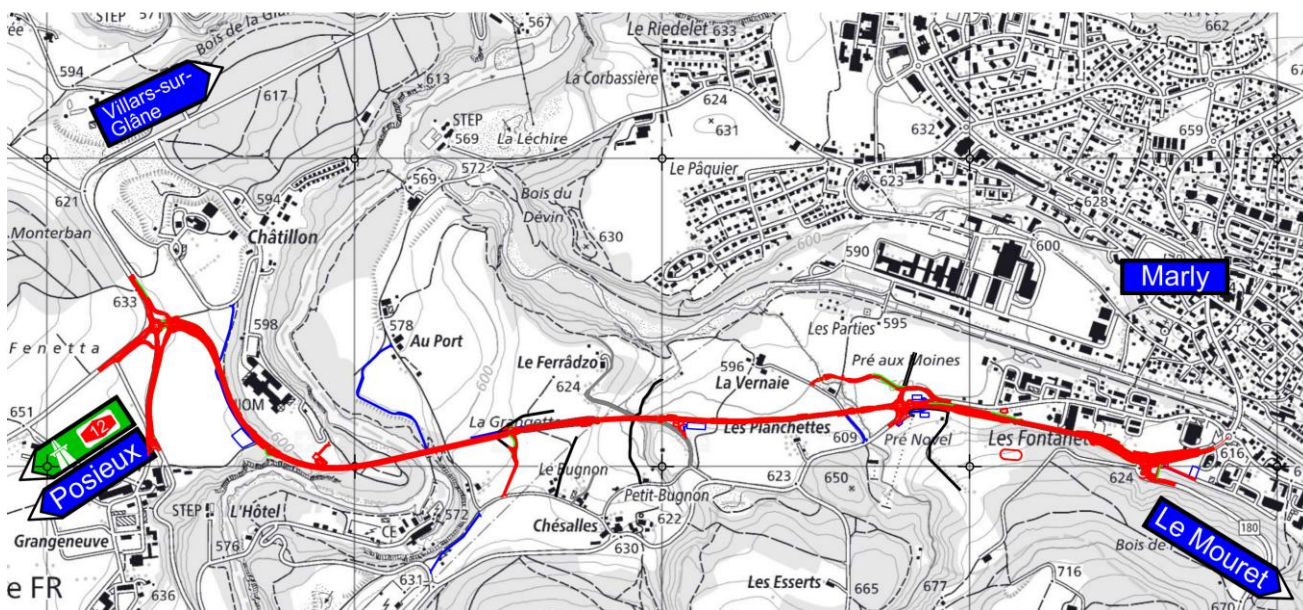
*Fribourg, le 6 mai 2025*

Etude d'éclairage routier du carrefour du Stand,

33: Procédure de demande d'autorisation – Enquête publique complémentaire

Axe 1250 Marly-Matran, PR 0 à 350

Marly et Hauterive, Nouvelle liaison routière Marly-Matran  
PCAM 10712



Maître d'ouvrage : Etat de Fribourg, représenté par le Service des ponts et chaussées

Auteur du projet : WSP Ingénieurs Conseils SA

LAUSANNE, LE 6 MAI 2025

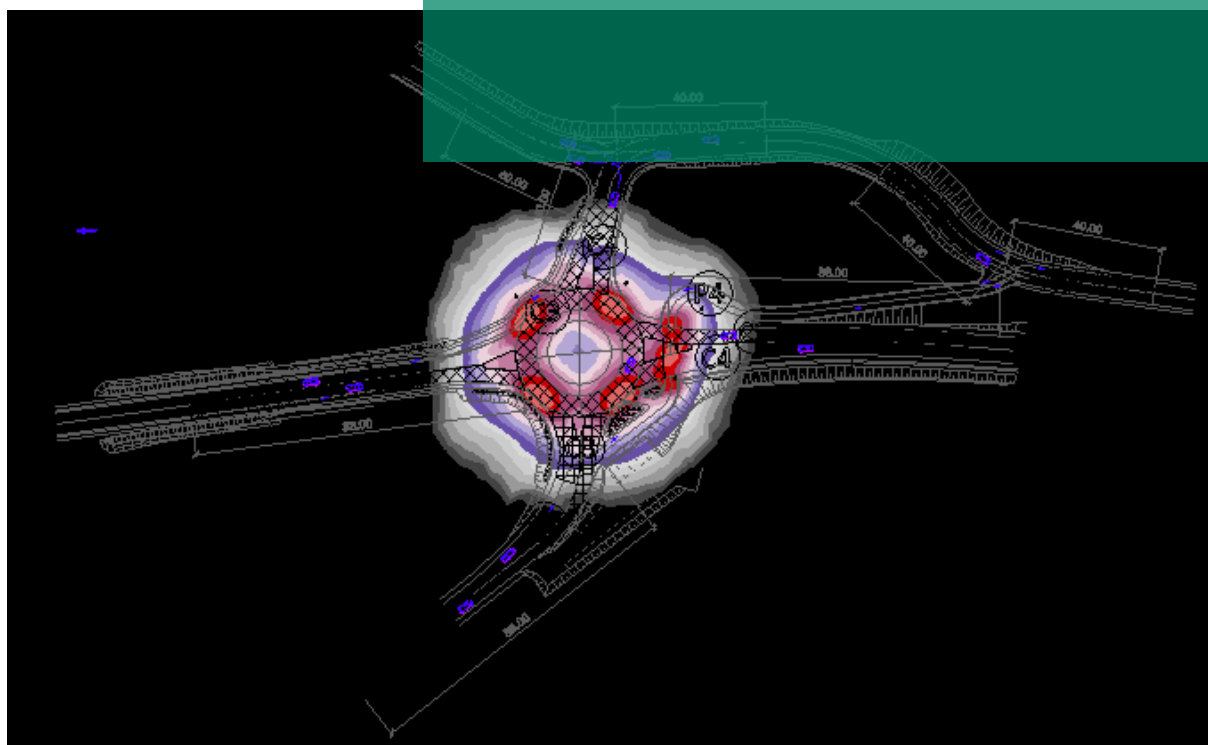
#### Historique du document

Version du	Auteur	Description	Statut/ validation
06.05.2025	WSP	Version enquête complémentaire	

**ETAT DE FRIBOURG**  
**Service des ponts et chaussées**  
**Section projets routiers**  
**cantonaux**

**AXE 1250 MARLY-MATRAN, MARLY ET HAUTERIVE,  
 NOUVELLE LIAISON ROUTIÈRE MARLY-MATRAN**


# **ÉTUDE D'ÉCLAIRAGE ROUTIER DU GIRATOIRE DU STAND**





AXE 1250 MARLY-MATRAN, MARLY ET HAUTERIVE, NOUVELLE LIAISON ROUTIÈRE MARLY-MATRAN

# ÉTUDE D'ÉCLAIRAGE ROUTIER DU GIRATOIRE DU STAND

VERSION	-	a	c
DOCUMENT	100190.14-RN006	100190.14-RN006a	100190.14-RN006b
DATE	25 septembre 2024	14 février 2025	6 mai 2025
	Jean von Känel	Jean von Känel	Jean von Känel
	Grégoire Chabloz	Grégoire Chabloz	Grégoire Chabloz
ELABORATION	Jeremie Doan	Jeremie Doan	Jeremie Doan
VISA	David Ducommun	David Ducommun	 David Ducommun
COLLABORATION	David Ducommun	David Ducommun	David Ducommun
DISTRIBUTION	État de Fribourg Mary-Florence Javet - Cheffe de projet	État de Fribourg Mary-Florence Javet - Cheffe de projet	État de Fribourg Mary-Florence Javet - Cheffe de projet



## AXE 1250 MARLY-MATRAN - ÉCLAIRAGE ROUTIER DU GIRATOIRE DU STAND

<b>TABLE DES MATIÈRES</b>		<b>Page</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Objectif des études</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>Documents mis à disposition</b>	<b>1</b>
<b>4.</b>	<b>Normes, règlements et recommandations en vigueur</b>	<b>1</b>
<b>5.</b>	<b>Résumé des grandeurs photométriques et glossaire</b>	<b>2</b>
<b>6.</b>	<b>Caractéristiques du carrefour du Stand</b>	<b>3</b>
<b>7.</b>	<b>Situations d'éclairage et classifications</b>	<b>4</b>
7.1	Classification des routes	4
7.2	Détermination des zones conflictuelles selon SLG 202	8
7.3	Rehaussement de la classe d'éclairage dans les zones de conflits	9
7.4	Positions et décisions du SPC	10
<b>8.</b>	<b>Considérations photométriques et environnementales</b>	<b>10</b>
8.1	Généralités	10
8.2	Choix du spectre lumineux / couleur de la lumière	10
8.3	Choix des distributions photométriques	10
<b>9.</b>	<b>Choix et implantation des luminaires</b>	<b>11</b>
9.1	Choix du type de faisceaux lumineux	11
9.1.1	Considérations générales	11
9.2	Luminaires utilisés pour les simulations	17
9.2.1	Modèles	17
9.2.2	Types de faisceaux	18
9.2.3	Flux lumineux émis au-dessus de l'horizon (ULOR)	19
9.3	Résumé des implantations	20
<b>10.</b>	<b>Résultat de la simulation d'éclairage</b>	<b>21</b>
10.1	Simulation réalisée	21
10.1.1	Vues Isovaleurs 3D	22
10.2	Tableaux résumés	24
10.3	Commentaires sur les résultats	25
<b>11.</b>	<b>Valeurs limites de puissance et d'énergie</b>	<b>25</b>
<b>12.</b>	<b>Régulation et économie d'énergie</b>	<b>26</b>
12.1	Comptage et détection de véhicules	26



## AXE 1250 MARLY-MATRAN - ÉCLAIRAGE ROUTIER DU GIRATOIRE DU STAND

12.2	Détection de cyclistes	28
12.2.1	Zones concernées	28
12.2.2	Traversées des cyclistes sur la route en direction du quartier des Fontanettes	29
12.2.3	Fonctionnalités complémentaires des caméras thermiques	30
12.2.4	Système complet	33
12.2.5	Cas spécifiques de détection de cyclistes	34
12.3	Principe de régulation	37
<b>13.</b>	<b>Alimentation électrique</b>	<b>39</b>
<b>14.</b>	<b>Variante photovoltaïque</b>	<b>40</b>
<b>15.</b>	<b>Résumé synthétique du rapport</b>	<b>41</b>
<b>16.</b>	<b>Recommandations du bureau d'ingénieurs</b>	<b>41</b>

## ANNEXES

1. 100190.14-RN002 - Simulation d'éclairage giratoire Stand
2. 100190.14-RN008 - Simulation d'éclairage giratoire Stand – Traversée uniquement
3. 100190.14-PG002 – Giratoire Stand, Implantation des luminaires
4. Groupe E – Alimentation du tableau d'introduction du giratoire du Stand

## 1. Introduction

BG a été mandaté par le Service des ponts et chaussées de l'Etat de Fribourg afin d'élaborer un projet d'éclairage routier pour le carrefour du Stand, qui sera situé sur la nouvelle liaison routière Marly-Matran (Axe 1250).

Ce rapport est une nouvelle version de la précédente étude du projet 100190.10.-RN004a. Les modifications apportées dans ce nouveau rapport sont notamment le nombre et l'implantation des luminaires qui changent, par rapport aux nouvelles demandes et décisions prises par le SPC.

## 2. Objectif des études

Les objectifs du projet sont de :

- Déterminer un éclairage routier adéquat selon les normes en vigueur, décrites au chapitre 4 ;
- Proposer une solution d'éclairage satisfaisant les exigences normatives, minimisant les perturbations et visant à optimiser la consommation d'énergie électrique ;
- Étudier la possibilité de la mise en place d'une gestion dynamique de l'éclairage afin de réduire au strict minimum la consommation électrique ainsi que les nuisances environnementales.

## 3. Documents mis à disposition

Pour réaliser cette étude, les documents suivants ont été mis à notre disposition concernant la nouvelle liaison routière Marly-Matran :

- Le plan de situation générale "Construction routière, Situation km -0.300 à 3.490", n°33-2104, Emma+, Emch+Berger AG Bern ;
- Le plan de détail du giratoire "Construction routière, Situation carrefour du Stand", n°33-2402, Emma+, Emch+Berger AG Bern ;
- Le plan "Signalisation et marquage – Situation km 0.590 – 1.000, Carrefour du Stand", n°33-2501, Emch+Berger AG Bern ;
- Le rapport d'étude de vérification du trafic de la nouvelle liaison routière Marly-Matran, "L21156\_R001\_Marly-Matran - Trafic – étude de vérification\_v5", RGR Ingénieurs Conseils, du 19.07.2022 ;
- Le plan « Construction routière – Viabilité des carrefours » ", n°33-2407, Emma+, Emch+Berger AG Bern.

## 4. Normes, règlements et recommandations en vigueur

Les normes et recommandations applicables en matière d'éclairage des routes sont les suivantes :

- SNR 13201-1 Eclairage public – Partie 1: Fil conducteur pour la sélection des classes d'éclairage ;
- SN-EN 13201-2 Eclairage public – Partie 2: Exigences de performance ;
- SN-EN 13201-3 Eclairage public – Partie 3: Calcul des performances ;
- SN-EN 13201-4 Eclairage public – Partie 4: Méthodes de mesure des performances photométriques ;

- SN-EN 13201-5 Eclairage public – Partie 5: Indicateurs de performance énergétique ;
- SN-EN 40263 : Carrefours giratoires ;
- SIA 491 Prévention des émissions inutiles de lumière à l'extérieur ;
- SLG 202:2021 Directive de la Société Suisse pour l'Eclairage, ci-après appelé "SLG 202" Eclairage public – Compléments à SNR 13201-1 et SN EN 13201-2 à -5 ;
- RSF 780.11 : Règlement sur la mobilité (RMob) du canton de Fribourg ;
- Office fédéral de l'environnement OFEV : Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses (état 2021) ;
- Station ornithologique suisse : Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction (état 2012) ;
- Loi cantonale sur l'énergie art. 5 al. 7 (RSF 770.1 - LEn) ;
- Règlement sur l'énergie art. 34a (RSF 770.11 - REn).

## 5. Résumé des grandeurs photométriques et glossaire

### Flux lumineux – $\Phi$ [lm]

Efficacité lumineuse totale émise par une source (lampe/luminaire) qui s'exprime en "lumens".

### Intensité lumineuse - I [cd]

Part de flux lumineux émis par une source dans une direction donnée qui s'exprime en "candéla".

Grandeur photométrique servant à décrire le rayonnement lumineux d'une source.

### Eclairement ou intensité lumineuse - E [lx]

Part de flux lumineux tombant sur un élément de surface qui s'exprime en "lux".

Grandeur photométrique servant à décrire la lumière tombant sur une surface.

### Luminance - L [cd/m<sup>2</sup>]

Part de flux lumineux émis par un élément de surface d'une surface lumineuse ou éclairée dans une direction donnée dans un cône d'angle qui s'exprime en "candéla par mètre carré".

### Eclairement vertical dans le sens de la conduite - E<sub>v+</sub> [lx]

Eclairement sur une surface verticale visible pour le conducteur perpendiculairement au sens de marche à une hauteur de 1m qui s'exprime en "lux".

### Uniformité globale - U<sub>0</sub> [L<sub>min</sub>/L<sub>m</sub>]

Rapport entre la luminance minimale et la luminance moyenne d'un champ de mesure ou de calcul.

### Divers

Puissance électrique d'une source lumineuse, s'exprime en "Watt" [W].

Tension électrique d'une source lumineuse, s'exprime en "Volt" [V].

Intensité du courant électrique, s'exprime en "Ampère" [A].



## 6. Caractéristiques du carrefour du Stand

Le carrefour du Stand est composé de plusieurs routes et chemins reliés entre eux par un giratoire.

Il s'agit de :

- Route direction Matran pour la circulation mixte, des véhicules motorisés et cyclistes ;
- Route direction Chésalles pour la circulation mixte, des véhicules motorisés et cyclistes ;
- Route direction Marly pour la circulation mixte, des véhicules motorisés et cyclistes ;
- Route direction le quartier des Fontanettes pour la circulation mixte, des véhicules motorisés et cyclistes ;
- Passage pour la mobilité douce à la transversale de la route direction Marly.

La limite de vitesse de circulation sur ces routes est établie à 80 km/h, à l'exception des routes vers le quartier des Fontanettes, puis celle vers le pont de Vuissereins, où la vitesse est limitée à 50 km/h.

L'image ci-dessous montre le carrefour, avec le giratoire du Stand et les entrecroisements de routes et pistes cyclables :

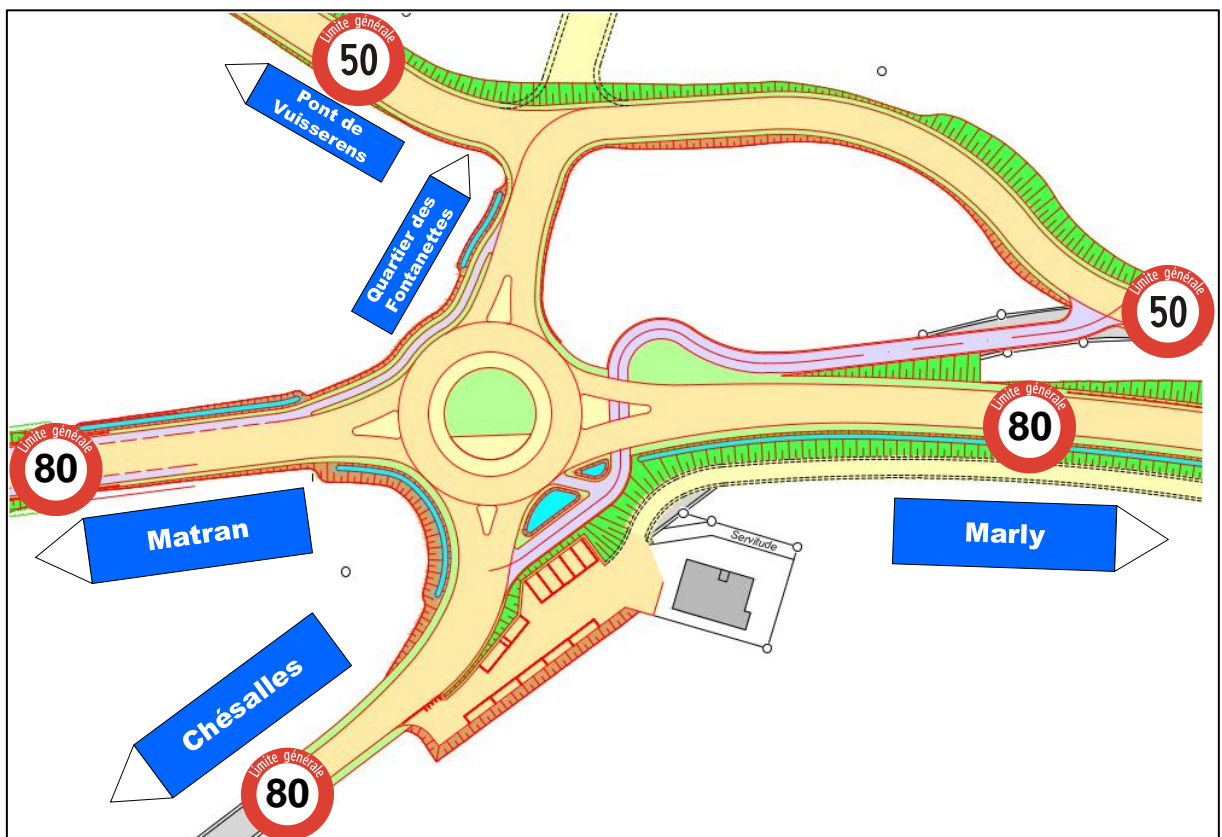


Figure 1 : Giratoire du Stand



## 7. Situations d'éclairage et classifications

Chaque route doit être classifiée au moyen de ses utilisateurs principaux et divers critères associés.

Pour les véhicules motorisés, partageant la route avec des véhicules non motorisés et circulant dans une zone de conflit, les exigences de la norme CEN/TR 13201-1 définissent une classe d'éclairage "C".

Pour les zones d'entrecroisement avec la mobilité douce, les exigences définissent une classe d'éclairage "P".

### 7.1 Classification des routes

Les paramètres suivants sont évalués pour le dimensionnement de l'éclairage en "classe C" dans le Tableau 3 de la Norme SNR 13201-1 :

- vitesses de circulation typiques des utilisateurs principaux ;
- volume de trafic journalier moyen (TJM) ;
- composition du trafic (motorisé uniquement ou mixte) ;
- présence de séparation entre les chaussées ;
- densité de carrefours sur 3km ;
- véhicules en stationnement ;
- luminosité ambiante (élevée, modérée, faible) ;
- tâche de navigation (difficile, normale).

Ces différents paramètres, choisis et additionnés, définissent une classe d'éclairage qui doit être appliquée.

Les charges trafic prévisionnelles prises en compte sont celles spécifiées dans le rapport d'étude de vérification du trafic de la nouvelle liaison routière Marly-Matran, "L21156\_R001\_Marly-Matran - Trafic – etude de verification\_v5", RGR Ingénieurs Conseils, du 19 juillet 2022.

Il est tenu compte que les cyclistes traverseront également quelquefois le giratoire selon leur provenance et leur destination (en particulier axe Marly-Matran). Un trafic mixte est ainsi considéré dans le giratoire.

Le dimensionnement est réalisé dans les tableaux présentés ci-après, en fonction de la vitesse des usagers. Un volume de trafic "Elevé" est toujours considéré pour le dimensionnement.

<b>Giratoire du Stand : Directions Matran – Chésalles - Marly</b>			
<b>Paramètre</b>	<b>Option</b>	<b>Description</b>	<b>Valeur <math>V_w</math></b>
Vitesse de circulation « v »	Très élevés	$v > 100 \text{ km/h}$	3
	<b>Elevée</b>	<b><math>70 &lt; v \leq 100 \text{ km/h}</math></b>	<b>2</b>
	Modérée	$40 < v \leq 70 \text{ km/h}$	1
	Faible	$v \leq 40 \text{ km/h}$	0
Volume de trafic Valeur planifiée du volume de trafic journalier moyen (TJM)	Trafic moyen journalier dans les deux sens. [Véhicules par jour]	$> 25'000$	1
		de 15'000 à 25'000	0.5
		<b>de 7'000 à 15'000</b>	<b>0</b>
		$< 7'000$	-0.5
Volume de trafic Valeur réelle du volume de trafic maximal à l'heure	<b>Elevé *</b>	<b><math>&gt; 45\%</math> du volume de trafic maximal</b>	<b>0</b>
	Modéré	De 15% à 45% du volume de trafic maximal	-1
	Faible	$< 15\%$ du volume de trafic maximal	-2
Composition du trafic	Mixte, avec un pourcentage élevé de trafic non motorisé		2
	<b>Mixte</b>		<b>1</b>
	Motorisé uniquement		0
Séparation des chaussées	<b>Non</b>		<b>0</b>
	Oui		-0.5
Densité de carrefours routiers [Nb/km]	Elevée	$> 3$	0.5
	<b>Modérée</b>	<b><math>\leq 3</math></b>	<b>0</b>
Véhicules en stationnement	Oui		0.5
	Non		0
Luminosité ambiante	Elevée	Rues commerciales, panneaux publicitaires, stades de sport, places de gare/d'arrêt, lieux de chargement	1
	Modérée		0
	<b>Faible</b>		<b>-1</b>
Tâche de navigation	Difficile		0.5
	<b>Normale</b>		<b>0</b>
<b>Somme des <math>V_{ws}</math> :</b>			<b>2</b>
<b>Classe C = 6 – somme des <math>V_{ws}</math> (arrondi au-dessus)</b>			<b>C 4</b>
<b>Légende :</b> v = vitesse * = pour le dimensionnement, le volume "Elevé" est considéré.			

*Tableau 1 : Giratoire Stand - Evaluation classe C selon Tableau 3 Norme SNR 13201-1*

Giratoire Stand : Direction Le quartier des Fontanettes			
Paramètre	Option	Description	Valeur $V_w$
Vitesse de circulation « v »	Très élevés	$v > 100$ km/h	3
	<b>Elevée</b>	$70 < v \leq 100$ km/h	2
	Modérée	<b><math>40 &lt; v \leq 70</math> km/h</b>	<b>1</b>
	Faible	$v \leq 40$ km/h	0
Volume de trafic Valeur planifiée du volume de trafic journalier moyen (TJM)	Trafic moyen journalier dans les deux sens. [Véhicules par jour]	$> 25'000$	1
		de 15'000 à 25'000	0.5
		<b>de 7'000 à 15'000</b>	<b>0</b>
		$< 7'000$	-0.5
Volume de trafic Valeur réelle du volume de trafic maximal à l'heure	<b>Elevé *</b>	<b><math>&gt; 45\%</math> du volume de trafic maximal</b>	<b>0</b>
	Modéré	De 15% à 45% du volume de trafic maximal	-1
	Faible	$< 15\%$ du volume de trafic maximal	-2
Composition du trafic	Mixte, avec un pourcentage élevé de trafic non motorisé		2
	<b>Mixte</b>		<b>1</b>
	Motorisé uniquement		0
Séparation des chaussées	<b>Non</b>		<b>0</b>
	Oui		-0.5
Densité de carrefours routiers [Nb/km]	Elevée	$> 3$	0.5
	<b>Modérée</b>	<b><math>\leq 3</math></b>	<b>0</b>
Véhicules en stationnement	Oui		0.5
	Non		0
Luminosité ambiante	Elevée	Rues commerciales, panneaux publicitaires, stades de sport, places de gare/d'arrêt, lieux de chargement	1
	Modérée		0
	<b>Faible</b>		<b>-1</b>
Tâche de navigation	Difficile		0.5
	<b>Normale</b>		<b>0</b>
Somme des $V_{ws}$ :			<b>1</b>
Classe C = 6 – somme des $V_{ws}$ (arrondi au-dessus)			<b>C 5</b>
<b>Légende :</b> v = vitesse * = pour le dimensionnement, le volume "Elevé" est considéré.			

Tableau 2 : Giratoire Stand - Evaluation classe C selon Tableau 3 Norme SNR 13201-1

Il n'est pas prévu d'éclairer les chemins réservés à la mobilité douce, motorisée ou non, hors des traversées de chaussées et carrefours communs avec les véhicules automobiles.

Les traversées à l'usage des deux-roues légers sont assimilées aux passages piétons et sont caractérisées par une "classe P" associée à une exigence de performance  $E_v$ , sur la base de la classe du tronçon de route traversé.

Ces exigences sont rappelées ci-après (Tab 2-1 de la SLG 202) :

Classe d'éclairage du tronçon de route à évaluer avec passage piétons			Classe $E_v$ correspondante nécessaire	Performance: $E_v$ min (valeur de maintenance minimale en lx)
Classe M	Classe C	Classe P	Classe $E_v$	
M3	C3	P1	EV5	5
M4	C4	P2	EV5	5
M5	C5	P3	EV5	5

Figure 2 : Classe à respecter pour les traversées des 2 roues (Tab 2-1 SLG 202)

Ainsi les classifications des routes obtenues pour le carrefour du Stand sont les suivantes :

Route concernée	Configuration	Classe d'éclairage selon SNR 13201-1
Route direction Chésalles	Route avec une vitesse de circulation de 80 km/h pour véhicules motorisés et non motorisés (trafic mixte). Pas de séparation de chaussée.	C4
Route direction Matran		
Route direction Marly		
Route direction le quartier des Fontanettes Route direction Pont de Vuisserens	Route avec une vitesse de circulation de 50 km/h pour véhicules motorisés et non motorisés (trafic mixte). Pas de séparation de chaussée.	C5
Mobilité douce	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traversée pour cyclistes</li> <li>Entrecroisement avec trafic motorisé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traversée à l'usage des piétons et des deux-roues légers</li> <li>Entrecroisement avec route du quartier des Fontanettes et celle direction Chésalles → Se référer au chapitre suivant</li> </ul>

## 7.2 Détermination des zones conflictuelles selon SLG 202

Les portions de routes accidentogènes où les éclairages doivent être accentués sont considérées comme des zones conflictuelles.

À ce titre, et selon la directive SLG 202 (§2.2 "Eclairage des zones de conflits"), les giratoires entrent dans cette catégorie, tout comme les intersections.

Il faudrait donc mettre en valeur :

- le giratoire ainsi que ses voies d'accès ;
- l'intersection avec la route en direction du Pont de Vuisserens ;
- les intersections avec les voies de mobilité douce sur les distances d'arrêt des véhicules (dénommée ci-après SD).

Les distance SD sont calculées à l'aide d'une formule tenant compte de la vitesse des véhicules (v), de la distance de réaction (RW) et du chemin de freinage (BW).

Avec des vitesses de circulation de 80 km/h et 50 km/h, les distances de freinages à prendre en compte sont respectivement de :

$$SD_{80} = \left(\frac{v}{10}\right)^2 + 3 * \frac{v}{10} = 88 \text{ m}$$

$$SD_{50} = \left(\frac{v}{10}\right)^2 + 3 * \frac{v}{10} = 40 \text{ m}$$

La figure suivante montre les zones de conflits liées au giratoire du Stand et aux intersections associées :

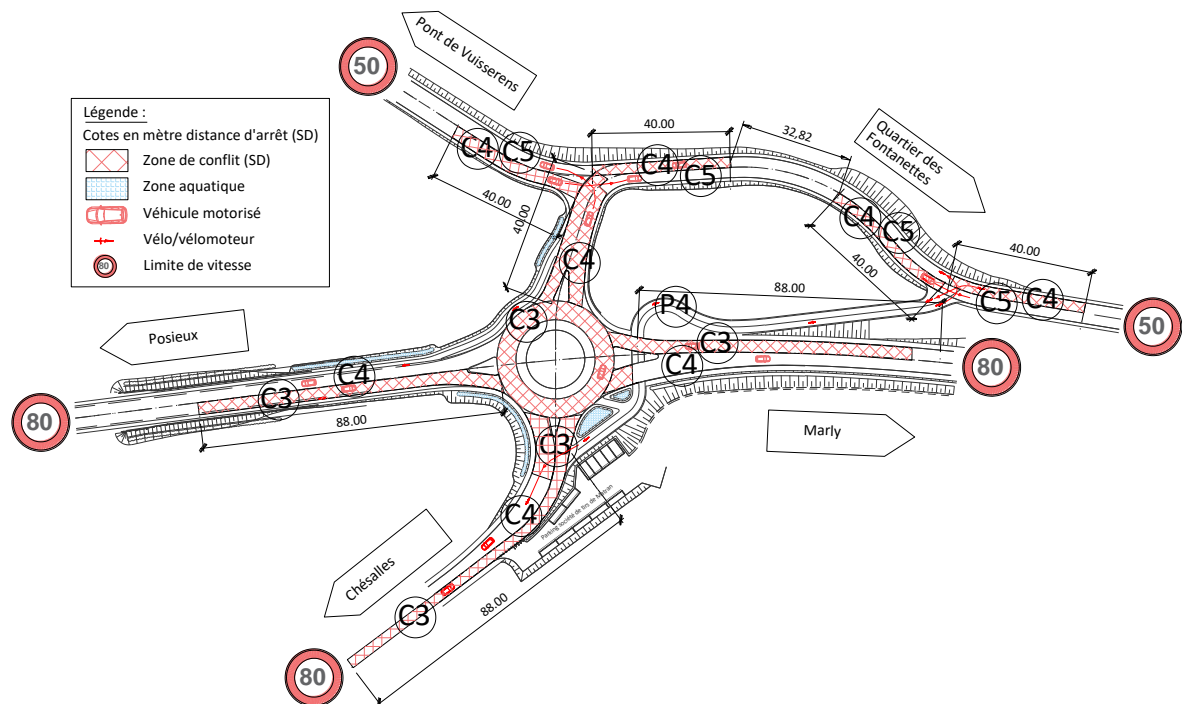


Figure 2 – Zones de conflits du carrefour du Stand

### 7.3 Rehaussement de la classe d'éclairage dans les zones de conflits

Selon la directive SLG 202, citée dans le paragraphe précédent, la classification des routes à appliquer pour les zones de conflit est la classe directement supérieure à la classe déterminée au chapitre 7.1 ci-avant.

Ainsi les classifications des routes exigées et prises en comptes pour les simulations sont résumées dans le tableau suivant.

Le giratoire, cœur de la zone de conflit, est classifié de manière identique.

Route concernée	Classe d'éclairage selon SNR 13201-1	Classe d'éclairage rehaussée à mettre en place
Route direction Chésalles et intersection avec les voies de mobilité douce	C4	C3
Route direction Matran		
Route direction Marly		
Route direction le quartier des Fontanettes et intersection avec les voies de mobilité douce. Route direction Pont de Vuisserens	C5	C4
Giratoire	-	C3
Mobilité douce	Selon classe d'éclairage rehaussée C3 de la route direction Marly	Selon Tab. 2-1 SLG 202 P1 & EV5

Les routes de classification C3 doivent atteindre :

- un **éclairage moyen  $E_{\text{moy}}$  de 15 lux** avec
- une **uniformité globale  $U_o$  de 0.4 au minimum**.

Les routes de classification C4 doivent atteindre :

- un **éclairage moyen  $E_{\text{moy}}$  de 10 lux** avec
- une **uniformité globale  $U_o$  de 0.4 au minimum**.

Les traversées à l'usage des deux-roues légers doivent respecter :

- un **éclairage moyen  $E_{\text{moy}}$  de 15 lux** selon classe P1 ;
- un **éclairage minimum  $E_{\text{min}}$  de 3 lux** selon classe P1 ;
- une **uniformité globale  $U_o$  de 0.4 au minimum** (selon classe C3) ;
- Un **éclairage vertical (EV) conservé à 5 lux**, selon classe EV5.

#### 7.4 Positions et décisions du SPC

Dans le cadre de la limitation de la pollution lumineuse, le SPC a pris les décisions suivantes :

- Les giratoires sur routes cantonale hors localités, comme celui du Stand, seront éclairés au minimum, c'est-à-dire que seuls l'îlot central et les îlots directionnels seront éclairés ;
- Les pistes mixtes ou pistes cyclables ne seront pas éclairées. Seules les aides à la traversée, les passages inférieurs et les tunnels seront éclairés ;
- Sur la base de l'art. 84 al. 3 de la LMob, qui impose une extinction complète ou dynamique entre minuit et cinq heures du matin, le choix du SPC se porte sur un éclairage à la demande avec détection de véhicules sur les branches qui enclenche suffisamment tôt les luminaires pour voir les obstacles sur chaussée (îlots ou cyclistes).

Afin de respecter les souhaits du SPC :

- les zones de conflit sur les voies d'accès, définies au chapitre 7.2 ne sont donc pas éclairées lors de cette étude de projet ;
- des candélabres spécifiques sont mis en place pour la traversée à l'usage des deux-roues légers (cyclistes).

### 8. Considérations photométriques et environnementales

#### 8.1 Généralités

De manière générale, les normes imposent d'éclairer uniquement ce qui est nécessaire et avec l'intensité requise. Plusieurs études démontrent en effet qu'un surplus de lumière diminue la sécurité (p.ex. éblouissements des usagers, favorisation de vitesses non-adaptées, etc.).

Les immissions lumineuses qui se diffusent hors des zones à éclairer sont proscrites, car elles perturbent la faune.

#### 8.2 Choix du spectre lumineux / couleur de la lumière

Dans le respect de la recommandation de l'OFEV ainsi que de la station ornithologique suisse, nous avons écarté un choix de sources lumineuses de couleur blanche froide 5000°K ou blanche neutre 4000°K.

En effet, les couleurs blanches froides (températures de couleurs élevées) ont un grand dégagement d'ondes courtes UV et de lumière bleue.

Nous nous sommes donc intéressés à des sources lumineuses de couleur blanche chaude 2700°K un peu moins performantes, mais moins néfastes pour l'environnement.

#### 8.3 Choix des distributions photométriques

Pour limiter au maximum la pollution lumineuse hors des zones à éclairer, le choix minutieux des courbes de distributions photométriques des luminaires est primordial.

La distribution de la lumière émise par chaque point lumineux doit se focaliser sur la chaussée à éclairer, en limitant le plus possible les émissions à l'arrière et de l'autre côté de la route.



## 9. Choix et implantation des luminaires

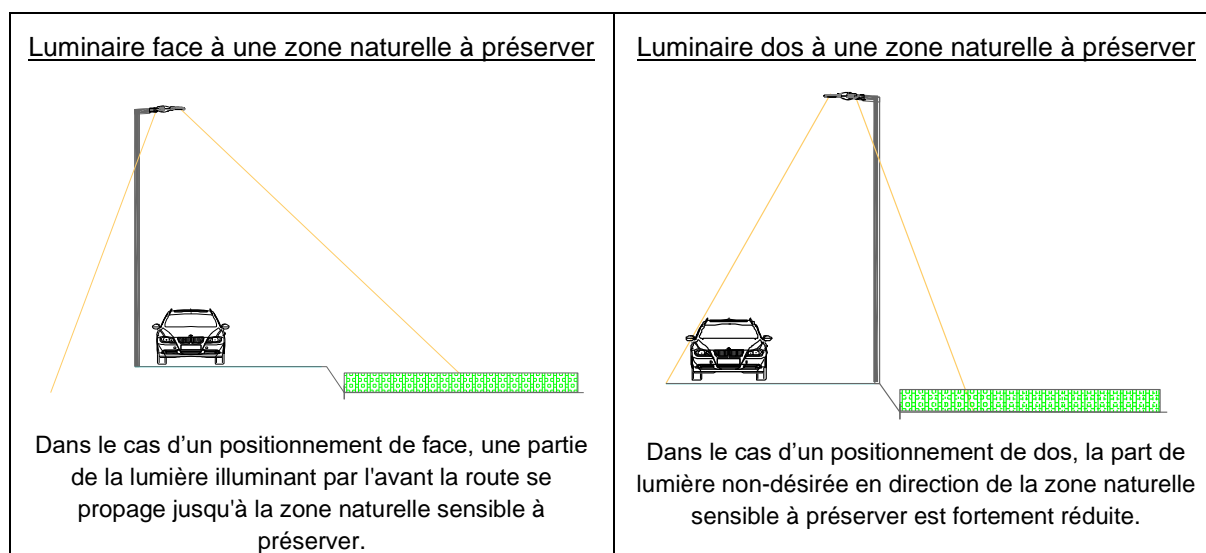
### 9.1 Choix du type de faisceaux lumineux

#### 9.1.1 Considérations générales

Afin de respecter les prescriptions normatives, les luminaires à implanter devront permettre de respecter les éclairagements et uniformités minimums sur la chaussée, mais également émettre le moins possible de lumière parasite en dehors de ces zones.

##### 9.1.1.1 Orientation des flux lumineux

Compte tenu de la diffusion de la lumière principalement à l'avant de chaque luminaire, on comprend aisément que l'orientation de ceux-ci doit être choisie judicieusement afin de réduire les émissions non-désirées dans les zones sensibles. A cet effet, la figure suivante illustre les positions « de face » et « de dos ».



Afin de préserver les zones sensibles, il est ainsi judicieux de pouvoir placer les candélabres dos à ces zones.

### 9.1.1.2 Variantes de sources lumineuses

Le processus de choix des luminaires les plus adaptés pour atteindre les objectifs implique la comparaison des variantes de sources lumineuses disponibles sur le marché :

- Cas 1 : Luminaire avec diffusion « classique » ;
- Cas 2 : Luminaire avec diffusion de lumière réduite à l'arrière : version de la source lumineuse avec coupe-flux intégré autour des lentilles, permettant de réduire fortement la diffusion de lumière parasite à l'arrière (luminaire appelé « Back Light ou BL ». Un exemple de platine LED avec grille coupe-flux est présenté sur la Figure ci-dessous.

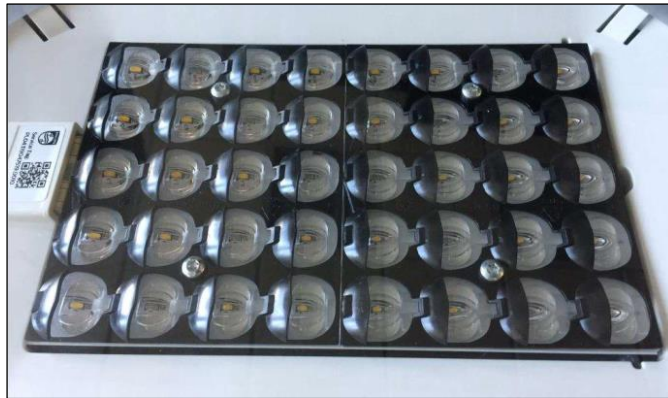


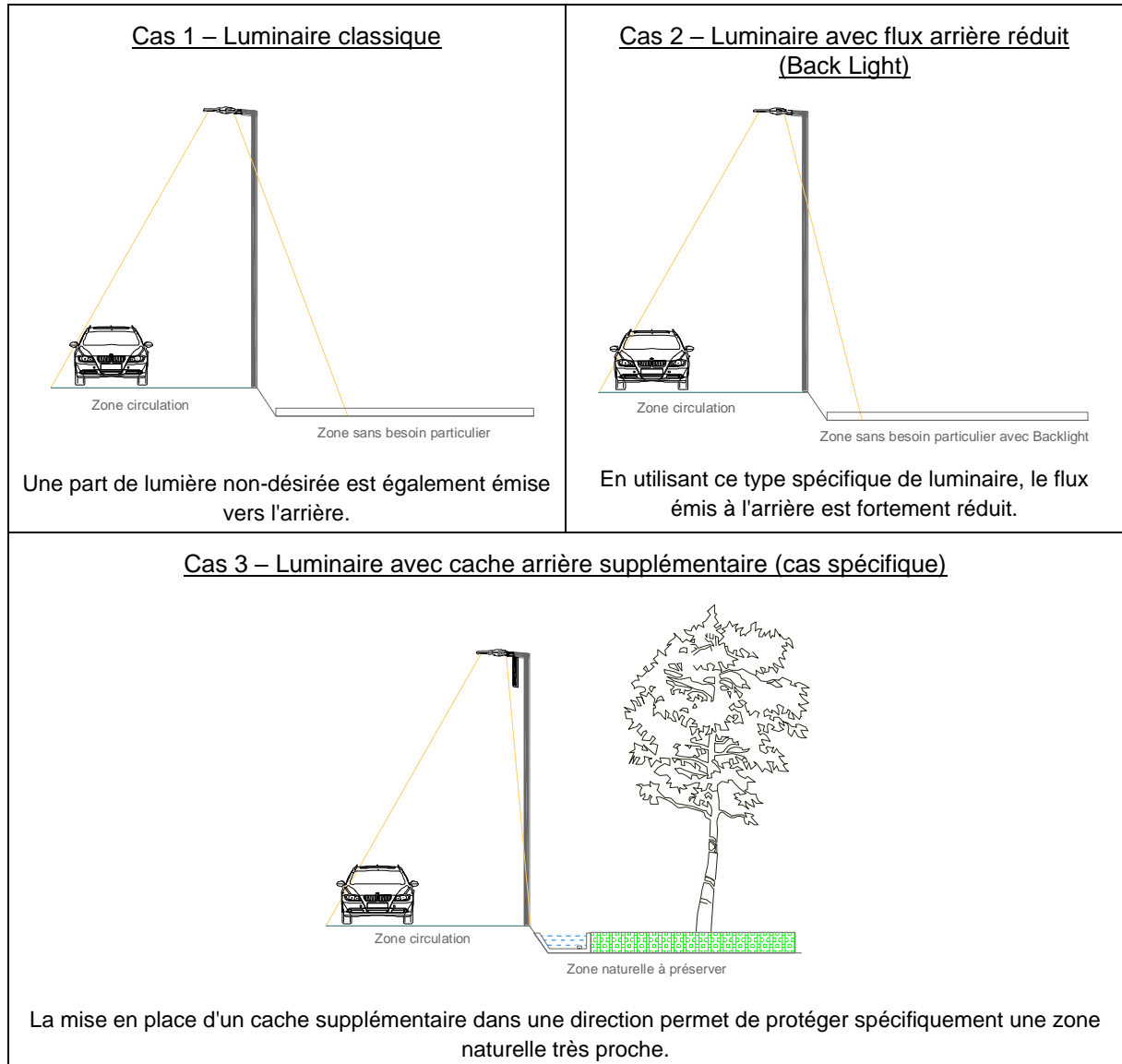
Figure 3 : Exemple de "grille" coupe-flux (noire) insérée autour des lentilles des LED  
(Source ELEKTRON, luminaire Signify)

- Cas 3 : Luminaire « Back Light » avec cache supplémentaire : une plaque métallique supplémentaire est fixée à la tête de candélabre, afin de supprimer encore un peu plus de flux lumineux dans une certaine direction (p.ex. à l'arrière). C'est un cas particulier qui est mis en œuvre uniquement lorsqu'un candélabre se trouve à proximité immédiate du milieu naturel à préserver (p.ex. zone humide ou arbre).



Figure 4 : Exemples de caches coupe-flux - image de gauche : avant et arrière - image de droite : avant  
(Source ELEKTRON, luminaires Signify)

Ces différents cas de figures sont représentés ci-dessous :



Ces études de cas démontrent que l'utilisation de luminaires dit « BackLight » est à considérer dans tous les cas. On n'y ajoutera en plus des caches spécifiques, mais uniquement pour les candélabres qui sont très proches des zones naturelles à préserver.

Les simulations de Figure 5 ont été réalisées afin de montrer l'influence sur l'éclairement au sol de ces différents cas. Il s'agit, de gauche à droite, des luminaires 5119, respectivement : 1) version classique, 2) version avec flux arrière réduit BackLight « BL » et 3) version BackLight « BL » avec cache additionnel.

Dans le cas 2, la distance de propagation des émissions indésirables au sol est significativement réduite pour l'éclairage arrière entre la version classique et la version « BackLight ».

Pour les cas spécifiques (cas 3), les éclairagements indésirables sous le seuil d'un lux peuvent encore être réduits par l'adjonction d'un cache supplémentaire à l'arrière de la source lumineuse (dans l'exemple un cache de 50x30 cm). Une réduction est alors surtout observée sur la portée de l'éclairage dont la valeur est dessous un lux.

Cela montre que les caches ne sont qu'à installer dans le but de l'affinage des zones sensibles.

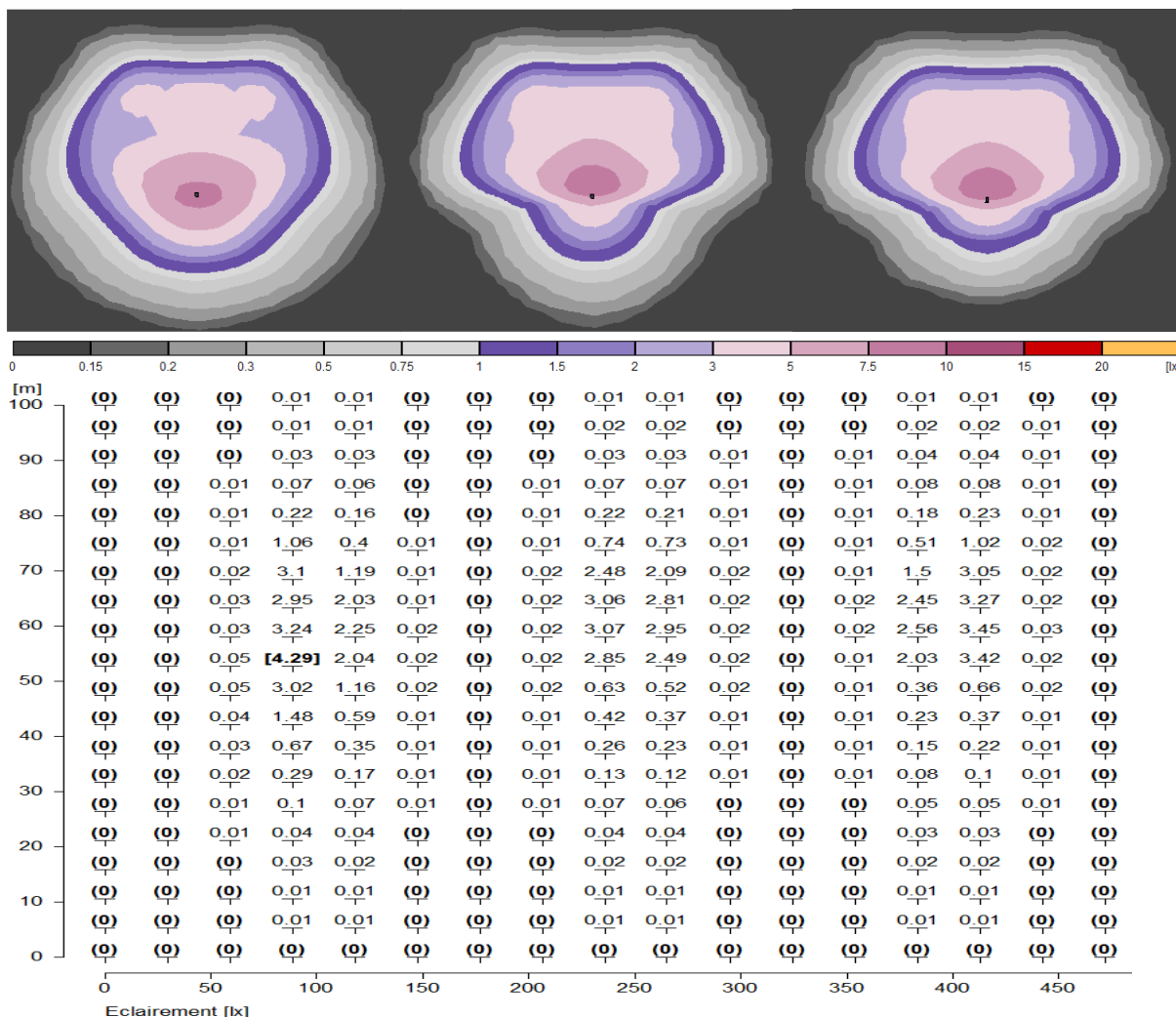


Figure 5 : Comparaison de l'éclairement pour 3 différents cas du luminaire 5119 :  
De gauche à droite : 1) Version Classique – 2) Luminaire « BL » – 3) Luminaire « BL » avec cache

Les luminaires étant implantés à la position 50m, le tableau de simulations indique que les éclairagements sont inférieurs à 0.15 lx ~15 à 20m derrière les candélabres.

Un second set de simulations est réalisé afin de montrer les effets sur l'éclairement vertical indésirable. Pour ce faire, les mêmes luminaires que pour la simulation précédente sont placés à une hauteur de 9.5m. Chacun est accompagné d'une surface verticale de mesures de 10x30m, placée 5m à l'arrière des luminaires. Ces plans de mesures sont semblables à des « murs » verticaux sur lesquels on observerait la lumière perpendiculaire incidente.

Les résultats correspondants sont présentés sur la Figure 6, à la page suivante.

Pour la première simulation, il est observable que la concentration maximale de l'éclairement vertical est situé à environ 4m de hauteur.

On peut remarquer, sur la seconde image, la nette diminution des émissions parasites réalisée avec le choix d'un luminaire « BackLight ».

Le cas de la dernière image simulée indique qu'un cache additionnel pourrait se justifier en cas de présence d'un objet sensible à protéger (p.ex. arbre) très proche du candélabre (~5m). Ce cas de figure devrait toutefois n'être qu'exceptionnel, puisqu'il vaudrait bien mieux ne pas disposer si proche des candélabres et des éléments sensibles.

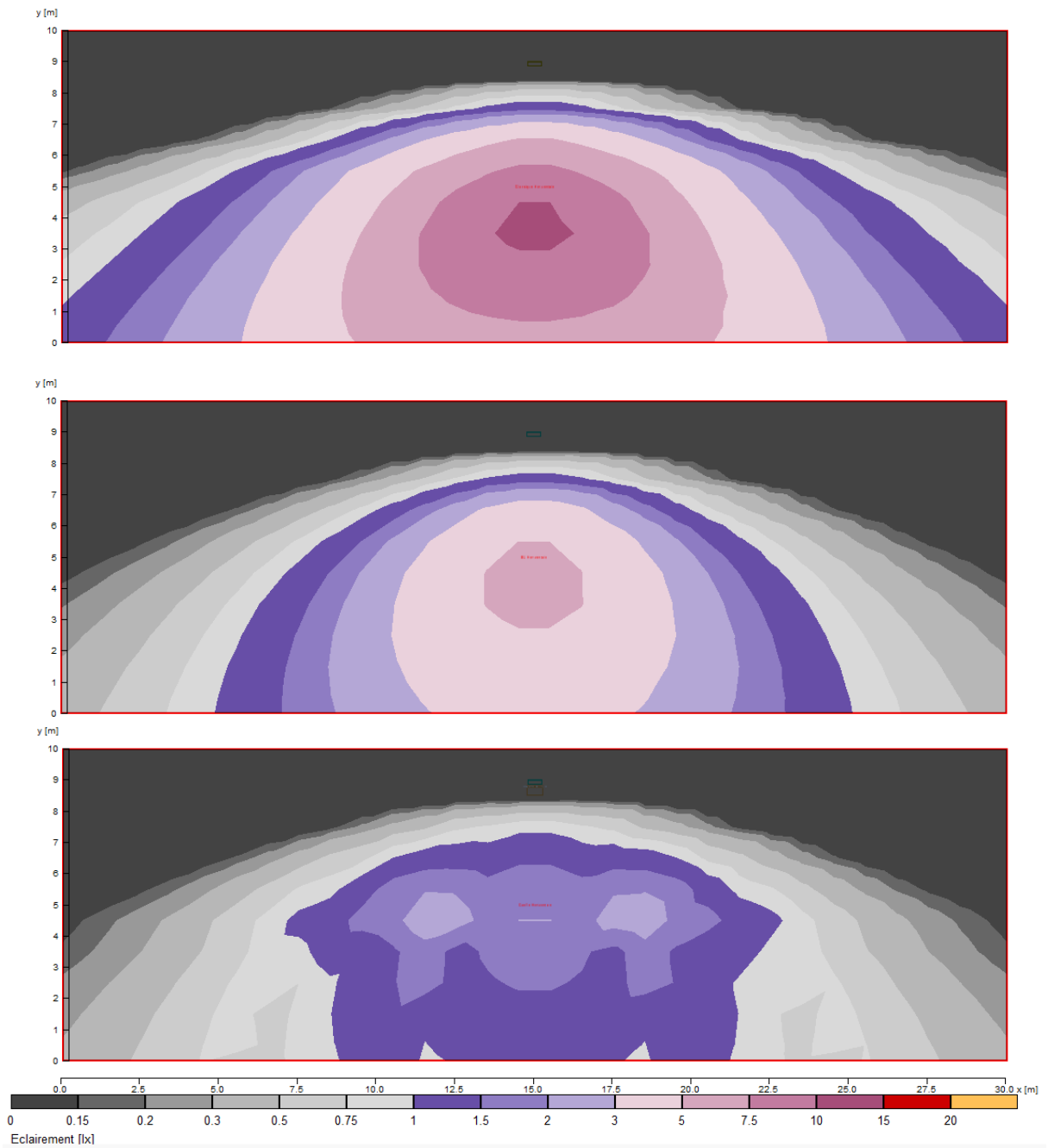


Figure 6 : Comparaison de l'éclairage vertical des différents cas du luminaire 5119 :  
De haut en bas : 1) Version Classique – 2) Luminaire « BL » – 3) Luminaire « BL » avec cache

En complément, il faut préciser qu'il sera encore possible de régler sur site finement l'inclinaison de chaque tête de candélabre pour orienter finement les flux lumineux.

### 9.1.1.3 Température à la surface des luminaires

Afin de respecter la recommandation de la station ornithologique suisse, la température de fonctionnement des luminaires utilisés ne dépasse pas les 60°C.

## 9.2 Luminaires utilisés pour les simulations

### 9.2.1 Modèles

Les considérations générales développées dans les chapitres précédents ont mené à un choix de luminaires aux faisceaux les plus focalisés sur les routes à éclairer et avec un flux résiduel parasite arrière aussi faible que possible (sans cache).

Les luminaires utilisés pour les simulations sont de la marque Schreder, type Ampera midi pour le giratoire et Ampera EVO 1 pour les traversées des deux-roues légers (piste cyclable).

Ce choix est basé sur l'avantage lié à cette marque, car elle dispose d'un large choix de luminaires avec différents réflecteurs.

Dans le respect de la recommandation de la station ornithologique suisse, la température de fonctionnement de ces luminaires ne dépasse pas les 60°C.

Il est bien entendu que tous les luminaires aux spécifications luminotechniques équivalentes pourront satisfaire à la réalisation du projet.

L'image ci-dessous montre un luminaire Schreder Ampera midi et Ampera EVO 1 :



Figure 7 : luminaire Ampera Midi



Figure 8 : luminaire Ampera EVO 1



### 9.2.2 Types de faisceaux

Le luminaire type 5112 Back Light (BL) possède un diagramme de rayonnement allongé (voir ci-dessous) convenant particulièrement bien à la chaussée intérieure du giratoire. La version "BL" limite le flux parasite à l'arrière du luminaire.

Pour les traversées des cyclistes, des candélabres spécifiques au flux asymétrique droite, type 5369 sont utilisés. Ils ne diffusent la lumière qu'en direction de la traversée.

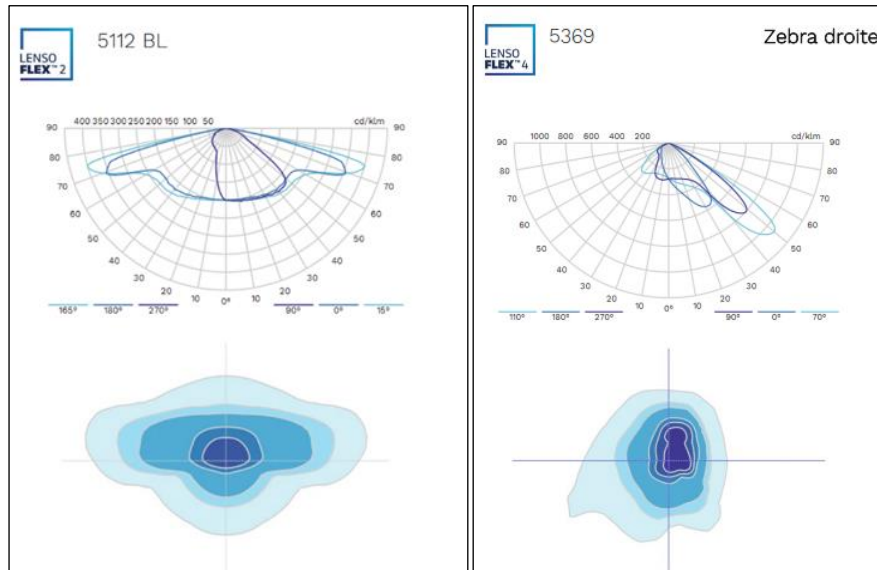


Figure 9 : Luminaires type 5112 Back Light et 5369 avec diffusion à droite pour les traversées

L'utilisation de ces types de luminaires, à flux optimisé, en différentes variantes de puissances, comme suit, a permis de satisfaire aux exigences :

- 4x AMPERA MIDI 5112 BL, 57W, à 7m de hauteur, en périphérie du giratoire du Stand ;
- 2x AMPERA EVO 1 5369, Zebra Right, 46W, à 12m de hauteur, pour la traversée cyclistes sur la route direction Chésalles ;
- 2x AMPERA EVO 1 5369, Zebra Right, 34.4W, à 10m de hauteur, pour la traversée cyclistes sur la route du quartier des Fontanettes ;
- 2x AMPERA EVO 1 5369, Zebra Right, 18.4W, à 7m de hauteur, pour la traversée cyclistes sur la route de Marly.

### 9.2.3 Flux lumineux émis au-dessus de l'horizon (ULOR)

Il faudra encore veiller à ce que le flux lumineux indésirable au-dessus de l'horizon soit nul. Ce flux est nommé ULOR (Upward Light Output Ratio).

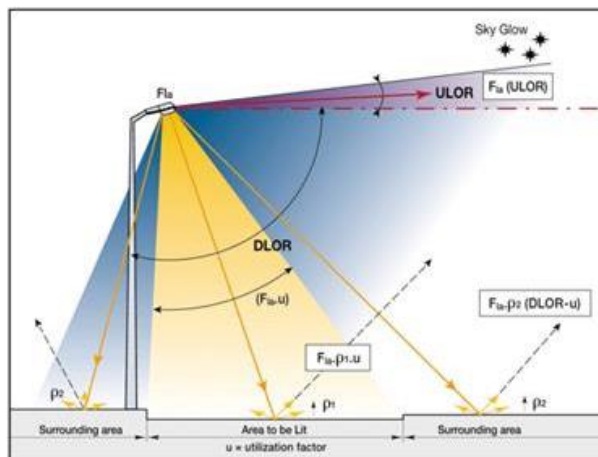
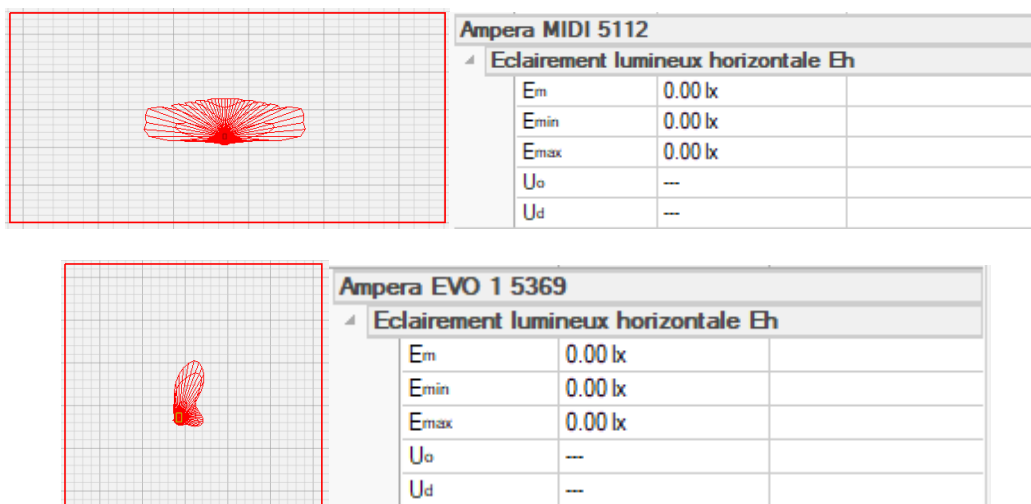


Figure 10 : Illustration ULOR (Upward Light Output Ratio) Flux lumineux au-dessus de l'horizon

Avant de vérifier les performances de ces luminaires pour l'éclairage du giratoire et des traversées cyclistes, l'ULOR a été vérifié en simulation distincte pour les différents luminaires cités dans le chapitre précédent. La vérification a été réalisée en ajoutant un plan de mesure au-dessus de chaque luminaire. Voici les résultats :



Les luminaires utilisés ont un flux ULOR de 0%. Il n'y a donc pas de d'éclairement indésirable au-dessus de l'horizon.

### 9.3 Résumé des implantations

Les luminaires ont été implantés sur les zones de conflits :

- dans le giratoire du Stand ;
- dans les trois zones d'entrecroisements avec la piste cyclable sur les routes en direction de Chésalles, de Marly et du quartier des Fontanettes.

Voici la disposition des 10 candélabres implantés :

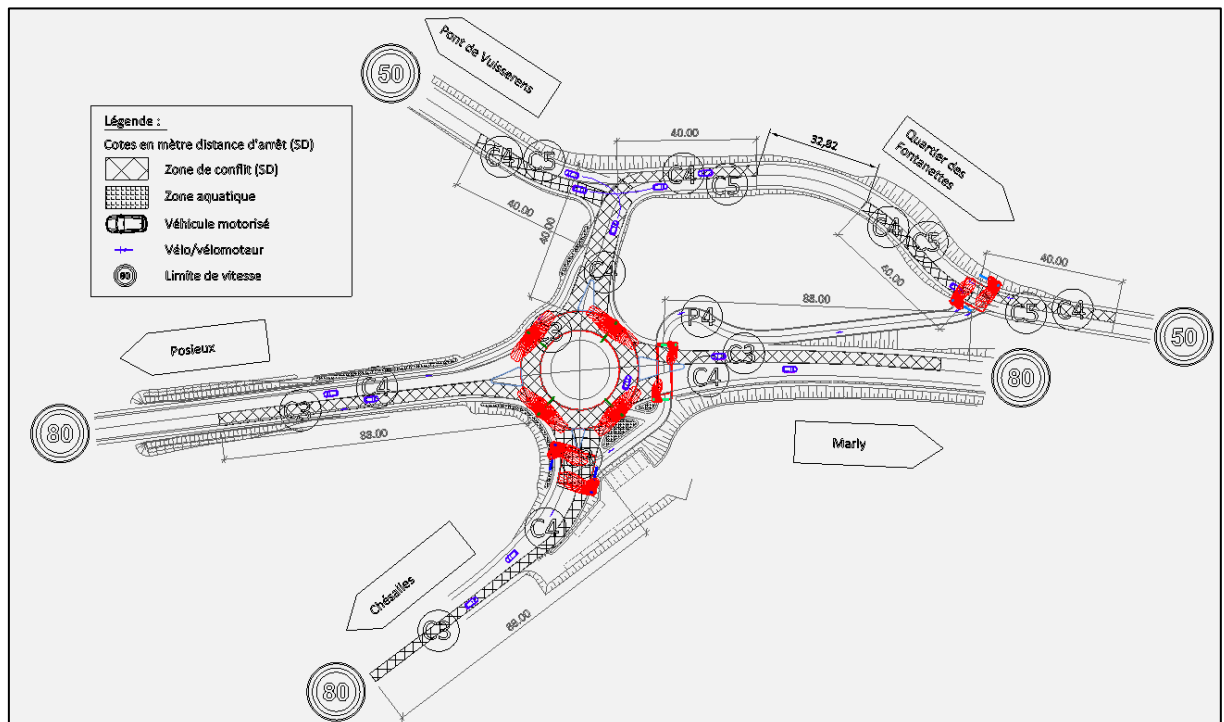


Figure 11 : Giratoire du Stand et carrefours voisins : Implantation des luminaires

## 10. Résultat de la simulation d'éclairage

### 10.1 Simulation réalisée

Le positionnement des points lumineux a été optimisé avec les objectifs suivants :

- satisfaire aux exigences luminotechniques normatives ;
- assurer une uniformité et un confort visuel élevé sur les zones éclairées ;
- permettre le passage des convois exceptionnels.

Les simulations suivantes ont été réalisées :

1. **Giratoire** : en utilisant 4 luminaires spécifiés plus haut avec optiques 5112 dans le giratoire ainsi que deux 5369 pour les traversées de mobilité douce;
2. **Entrecroisements avec la piste de mobilité douce** : ne présente que les luminaires des traversées cyclistes.

Les simulations résultant de ces optimisations sont jointes en Annexe 1 et 2 au présent rapport.

Les résultats sont présentés de la manière suivante :

- Des vues Isovaleurs 3D, avec échelle en lux, de la situation générale, de la traversée uniquement ainsi que les îlots directionnels ;
- Un tableau résumé de toutes les zones simulées au paragraphe suivant.

### 10.1.1 Vues Isovaleurs 3D

La Figure 12 illustre la situation du giratoire du Stand en Isovaleurs 3D.

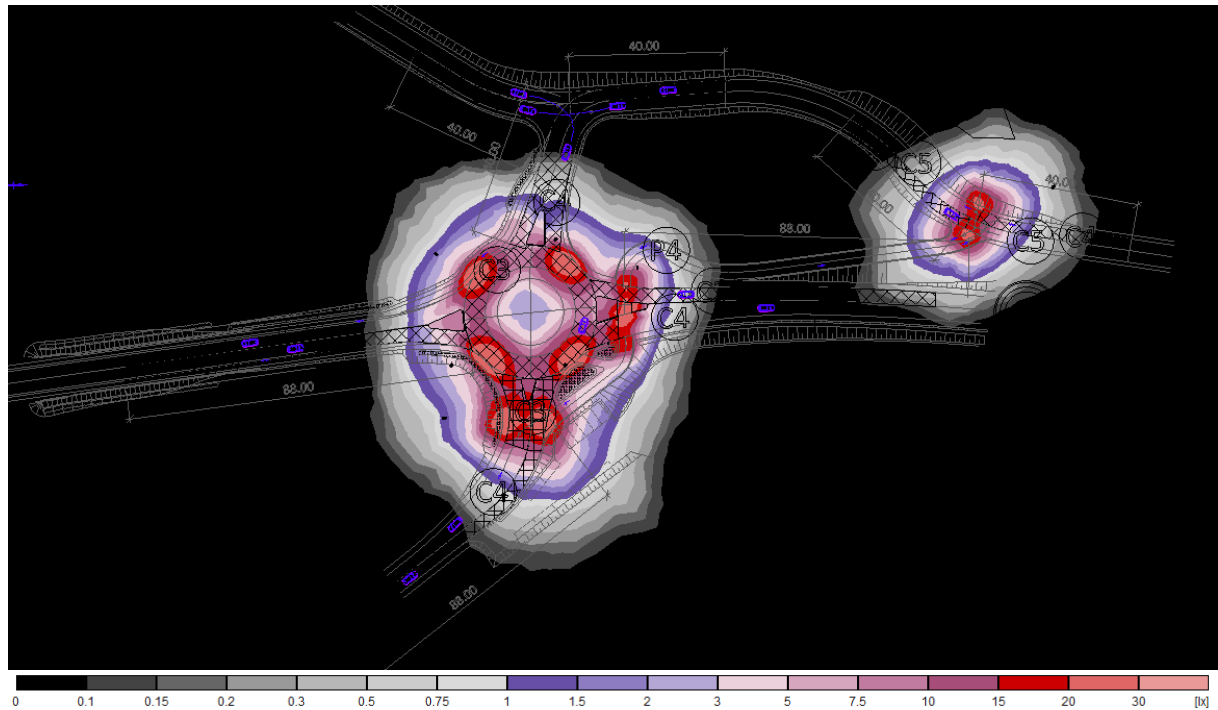


Figure 12 : Giratoire du Stand, traversées comprises - Isovaleurs 3D

La Figure 13 montre le cas lorsque les traversées uniquement sont éclairée pour les usagers du chemin à mobilité douce.

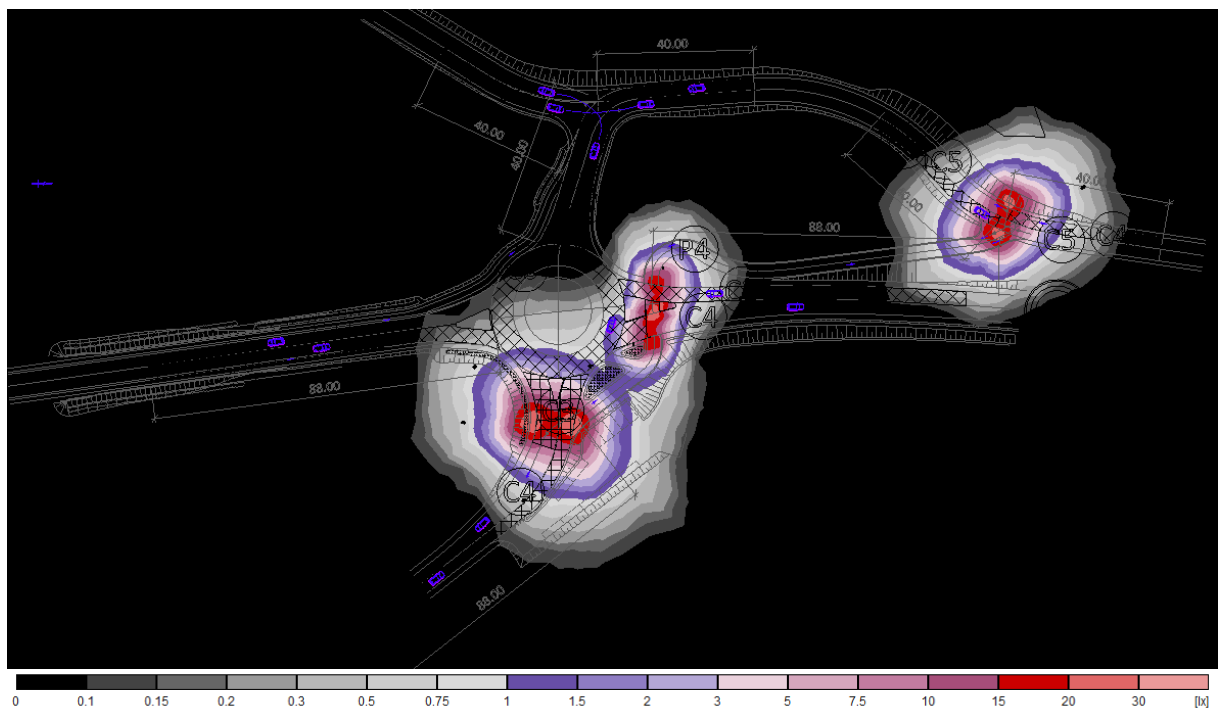
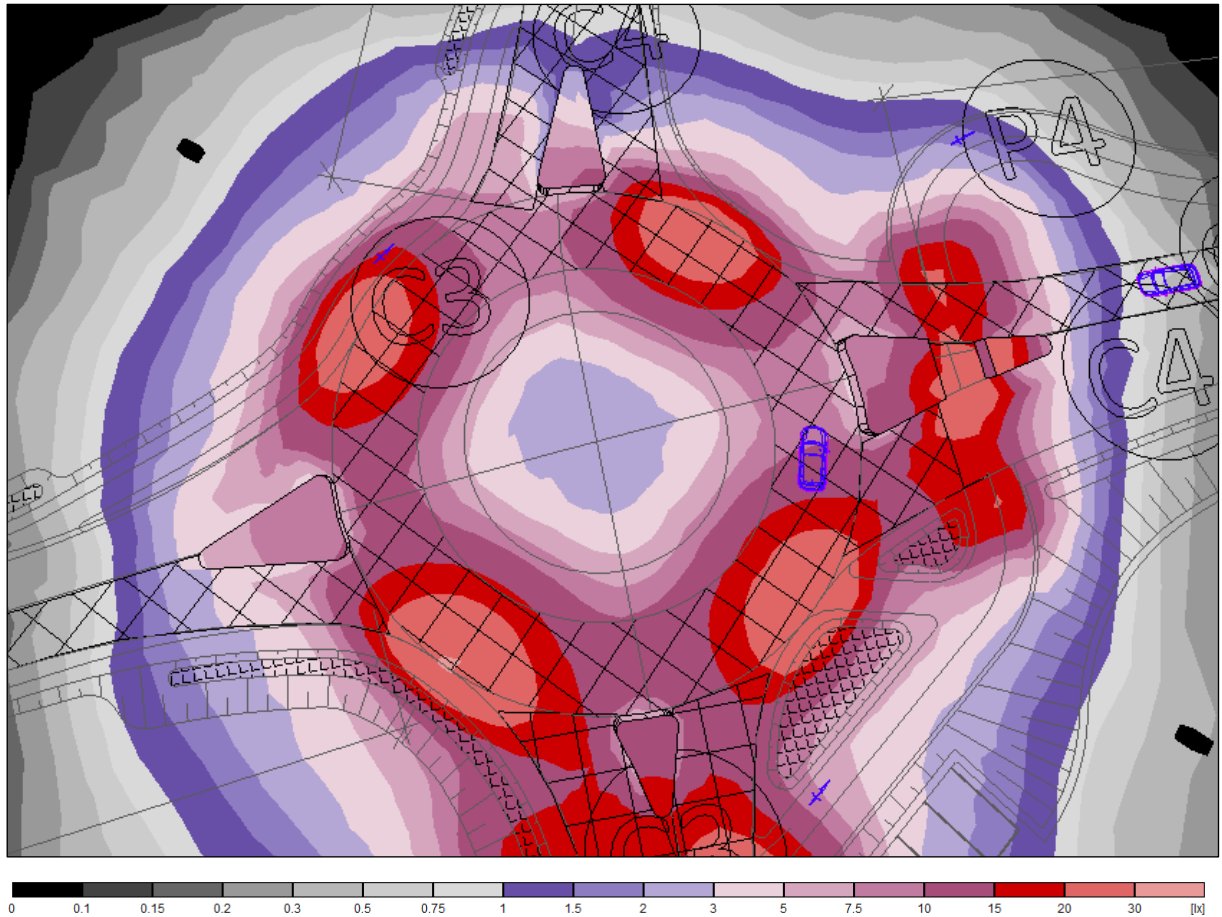


Figure 13 : Giratoire du Stand, traversées cyclistes uniquement - Isovaleurs 3D

Note : les résultats ne tiennent pas compte de la pente. Toutes les zones hors de la route sont simulées comme si elles étaient à la même altitude.

La Figure 14 zoom sur le centre du giratoire afin d'observer les îlots directionnels.



## 10.2 Tableaux résumés

Le tableau ci-dessous résume les résultats concernant l'éclairage des chaussées, y compris zones de conflits et croisement avec la piste cyclable, pour les luminaires présentés dans les paragraphes précédents.

Les résultats sont séparés pour :

- le centre du giratoire du Stand ;
- les îlots directionnel du giratoire ;
- les croisements avec les pistes cyclables.

Eclairage du giratoire du Stand	Classe	Eclairage horizontal exigé		Eclairage simulé	
		E moy [Lx]	Uo minimal [-]	E moy [Lx]	Uo minimal [-]
Giratoire	C3	15	0.4	16	0.49

Eclairage du giratoire du Stand Points de mesures des Ilots directionnels à 30 cm de haut	Eclairage simulé
	Eclairage [lx]
Ilot directionnel Est	8.7
Ilot directionnel Nord	1.8
Ilot directionnel Ouest	5.4
Ilot directionnel Sud	16.8

Eclairage du croisement avec la piste cyclable (simulation 2)	Classe	Eclairage horizontal		Exigence supplémentaire si une reconnaissance faciale est nécessaire
		E moy min. maintenu [Lx]	E min maintenu [Lx]	Ev min maintenu [Lx]
Exigences 13201 et SLG 202 §2.3.3	P1 & EV5	15	3	5
Croisement vélos / route direction Marly		17.4	6.7	← Gauche : 5.68 → Droite : 7.72
Croisement vélos / route direction Quartier des Fontanettes		18	12.7	← Gauche : 6.27 → Droite : 6.15
Croisement vélos / route direction Chésalles		16	11	← Gauche : 5.78 → Droite : 5.46

Tableau 2 : Résumé des résultats de la simulation



### 10.3 Commentaires sur les résultats

Tous les résultats de la simulation remplissent les exigences normatives demandées concernant les luminances de chaussée et les uniformités.

Les îlots directionnels sont éclairés avec plus de 1.8 lx, ce qui les rend suffisamment visibles s'ils sont équipés de dispositifs de balisage comme proposé par le SPC se basant sur la norme SN 40263 « Carrefours giratoire ».

Dans les zones d'entrecroisements avec la piste cyclable (traversée de 2 roues légers, "passage piétons"), l'éclairement vertical ( $E_v$ ), dans le sens de circulation de chaque chaussée est conservé à un niveau suffisant >5 lx, selon classe EV5 pour assurer la sécurité en discernant facilement les usagers (contraste).

Le rayonnement résiduel dans les zones voisines du giratoire et de ses routes d'accès passe, après un éloignement de quelques mètres de la chaussée, à des faibles valeurs, égales ou inférieures à 1.5 Lux.

## 11. Valeurs limites de puissance et d'énergie

La SLG 202, dans son chapitre 5, recommande une valeur limite d'énergie à ne pas dépasser.

Ces valeurs sont à calculer par plusieurs facteurs tels que :

- La largeur de la route ;
- La distance entre les candélabres ;
- La puissance des sources lumineuses.

Les calculs sont réalisés en tenant compte du périmètre du giratoire qui sera « déroulé » afin d'avoir l'interdistance correspondante des luminaires, soit :

$$\text{Périmètre } P = D \cdot \pi = 34 \cdot \pi = 106.8 \text{ m}$$

Avec 4 luminaires de 57 W qui bordent le giratoire, l'interdistance est donc entre luminaires est de 26.7 m.

Le  $P_l$  est de 2.13 W/m.

Il est admis pour le présent calcul que l'éclairage reste allumé toutes les nuits pendant une durée moyenne de 11h30, soit  $h_a = 4200$  heures par an. On considère alors la plage horaire 22h à 05h comme plage avec abaissement à 67%, les 4.5 heures restantes à 100% (voir chapitre suivant). Cela donnant un ratio de consommation  $C_{op}$  égal à 0.8.

La valeur limite d'énergie est ainsi déterminée par la formule suivante :

$$\text{Valeur limite d'énergie } E_a = \frac{P_l \cdot h_a \cdot C_{op}}{1000} = \frac{2.13 \text{ W/m} \cdot 4200 \frac{\text{h}}{\text{an}} \cdot 0.8}{1000} = 7.17 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}} \right] \text{ par an}$$

La valeur limite recommandée pour une route de 5.5 m (correspondant à la largeur de l'anneau du giratoire) de classe C3 est d'environ 8 kWh/m par an. Le présent projet respecte cette recommandation.

*Note : en réalité avec une gestion dynamique de l'allumage de l'éclairage (allumage sur détection entre minuit et 5h du matin) l'abaissement de la consommation sera supérieur aux 67% admis en hypothèse.*

## 12. Régulation et économie d'énergie

L'ensemble du projet est basé sur la protection et la tranquillité de la faune locale. C'est pourquoi la mise en place d'une régulation, afin de diminuer au minimum l'éclairage du carrefour lorsque la charge de trafic diminue est évaluée dans ce chapitre.

En effet, en prenant en compte la diminution de la charge de trafic aux heures creuses de nuit, il est possible de réévaluer la classe de la route au moyen du Tableau 1 de la norme SNR 13201-1.

Lorsque le trafic passera en-dessous des 45% du volume de trafic maximal, alors la classe d'éclairage pourra être réduite d'un point. Ce sera même une réduction de 2 points (si possible) lorsque le volume de trafic sera inférieur à 15% du trafic maximal.

Pour les zones de conflits en classe C3, on obtiendra alors une classe C4 en dessous de 45% du volume de trafic maximal et une classe C5 en dessous de 15%.

Les zones en classe C4 passeront, elles, en classes C5, puis P4 en maintenant l'uniformité à min. 0.4 [ - ] (recommandation SLG 202, §1.2.4).

L'intersection de la route menant au quartier des Fontanettes et de la piste cyclable ne pourra donc être réduites que d'un seul niveau (zones C4 à C5 et zones C5 à P4).

Les abaissements pour les traversées à l'usage des cyclistes sont conditionnés par le maintien de l'éclairement vertical selon EV5 (>5 lx) dans les 3 classes (Tab. 2-1 SLG 202). Les exigences sont plus difficiles à maintenir sans présence d'un îlot central, car les points de mesures sont alors disposés sur l'entier de la largeur de chaussée dans les 2 sens de circulation.

La situation correspondante pour les exigences d'éclairements du carrefour du Stand en fonction des classes est présentée dans le Tableau 3 ci-dessous.

Classe de départ / exigences [%]	100%	67%	50%
Route de classe C3	15 Lux (C3)	10 Lux (C4)	7,5 Lux (C5)
Traversée cyclistes de classe P1	15 Lux (P3)	10 Lux (P2)	7,5 Lux (P3)

Tableau 3 : Abaissement du giratoire du Stand et de entrecroisements avec la piste cyclable

### 12.1 Comptage et détection de véhicules

Le système de régulation dynamique fonctionne selon deux principes distincts :

- premièrement selon le volume trafic traversant le giratoire, dès la tombée de la nuit jusqu'à minuit et entre 5h et le lever du jour ;
- deuxièmement par détection de présence d'usagers, entre minuit et 5h.

Afin de pouvoir abaisser l'éclairage de façon dynamique en fonction de la charge de trafic, nous préconisons l'installation de radars de comptages. Quatre radars de comptage mesureront alors le volume trafic entrant sur chaque branche d'accès au giratoire. Ils seront fixés sur mâts de 6m de hauteur avec les détecteurs de présence, à 60m de chaque entrée du giratoire pour les 3 branches à 80km/h. Deux détecteurs d'usagers seront positionnés à l'intersection de la route menant au quartier des Fontanettes avec celle vers le pont de Vuisserens, afin d'assurer la distance de détection de 60m en amont du giratoire du Stand (50km/h),

Sur la base du seuil de trafic défini plus haut, qui sera paramétrable en fonction de la charge maximale de trafic actuelle, le niveau d'éclairage sera abaissé de 100% à 67%, puis à 50% (15 lx à 10 lx, puis 7.5 lx).

Pour assurer la détection des usagers entre minuit et 5h et réactiver l'éclairage, ce sont ainsi cinq détecteurs de présence qui seront également disposés sur les mêmes emplacements que les radars de comptage.

La longueur de la zone de détection d'usagers sera d'au moins 132 mètres pour les 3 routes à 80 km/h et 60m pour les routes à 50 km/h. Ceci correspond à la distance d'arrêt par temps humide (soit 1.5x la distance d'arrêt par temps sec).

Par limitation technique, les radars et les détecteurs de mouvement ne peuvent pas être un seul capteur selon les fournisseurs.

Les radars et détecteurs de mouvements transmettront alors leurs données à un coffret de commande qui sera accolé au coffret de distribution basse tension.

La Figure 15 ci-dessous représente le système de comptage et de détection. Les détecteurs et leurs petits coffrets associés seront fixés directement sur les candélabres.

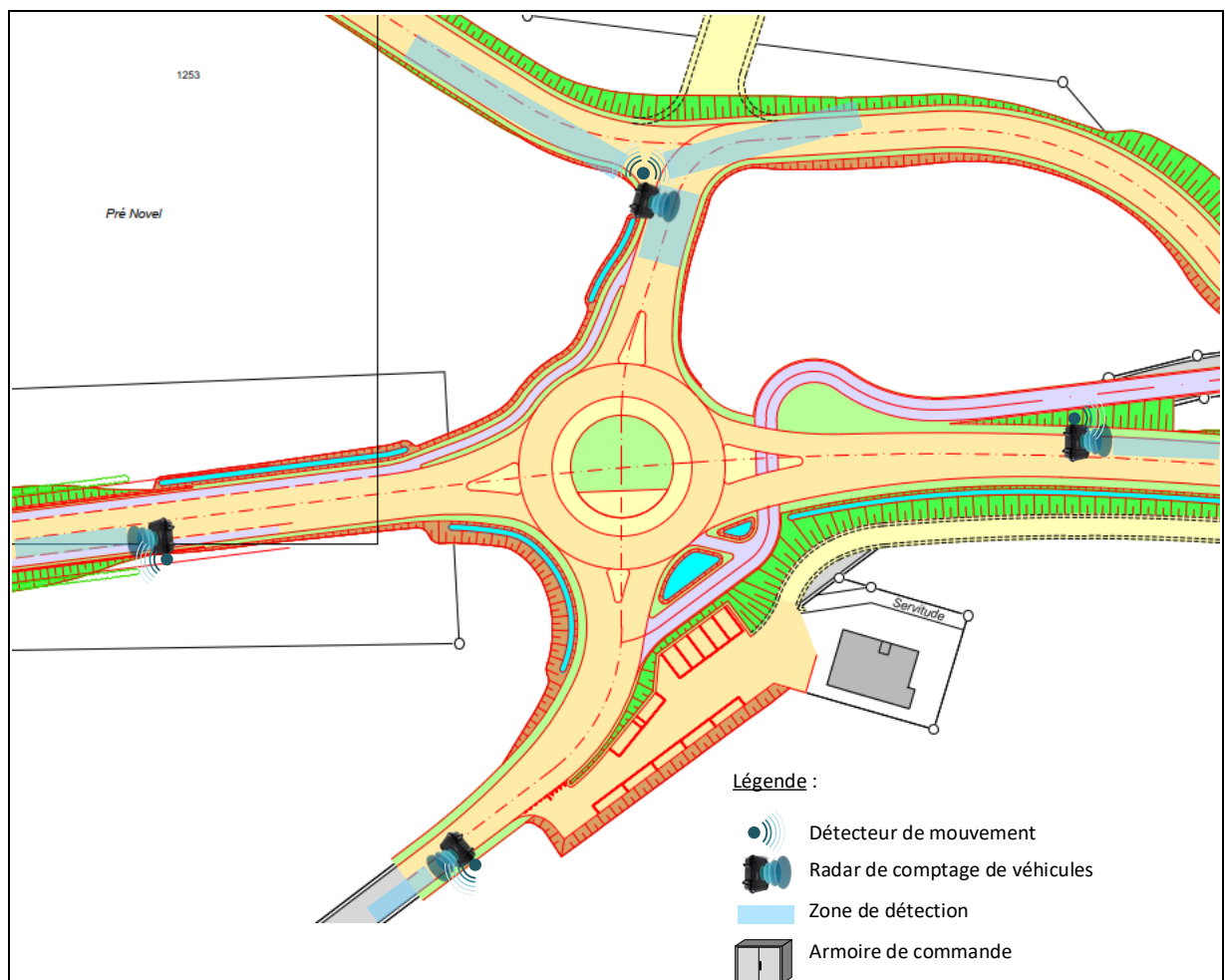


Figure 15 : Comptage radar et détection de véhicules aux entrées du giratoire

## 12.2 Détection de cyclistes

### 12.2.1 Zones concernées

En liaison avec le giratoire du Stand, trois traversées cyclistes sont présentes :

- Traversée 1 : sur la route direction Chésalles, au Sud du giratoire ;
- Traversée 2 : sur la route direction Marly, à l'Est du giratoire ;
- Traversée 3 : sur la route en direction du quartier des Fontanettes.

Elles sont représentées sur la figure ci-après :

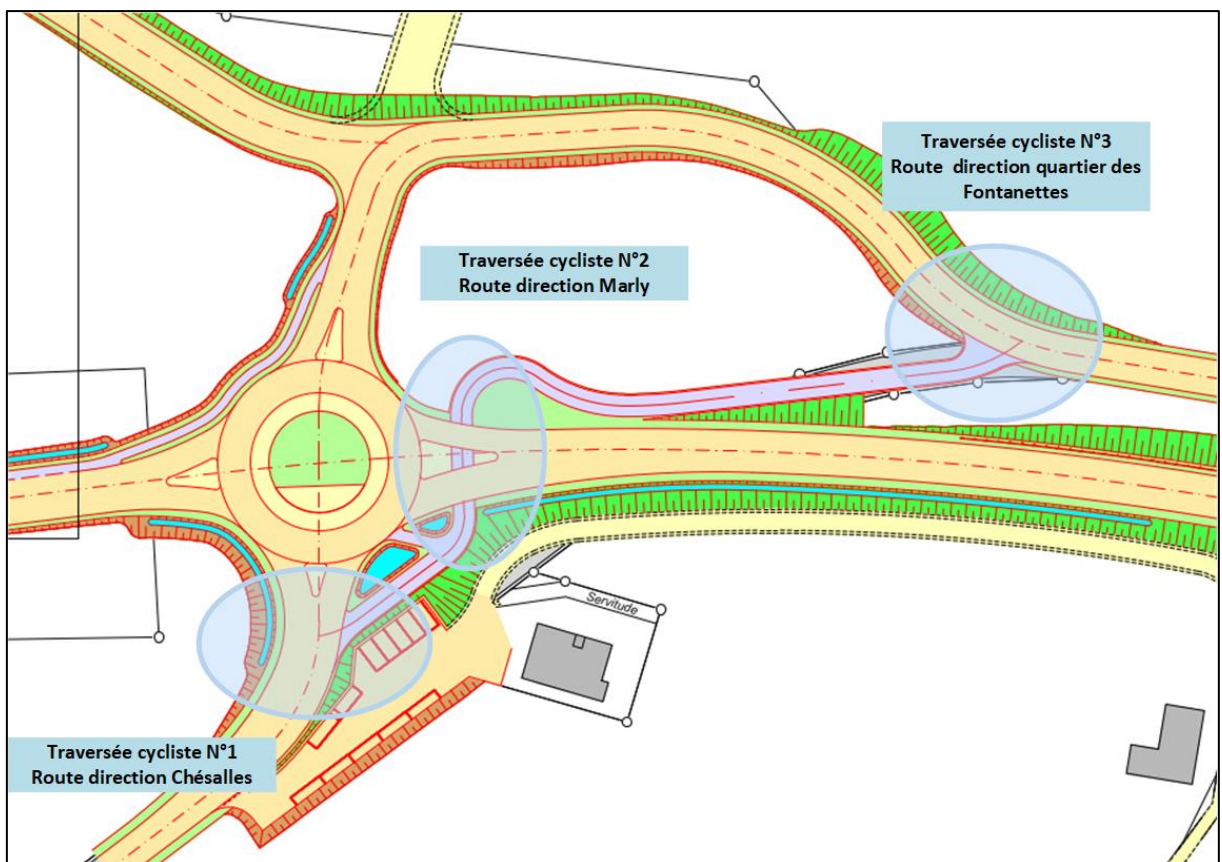


Figure 16 : Emplacement des traversées cycliste liées au giratoire du Stand

De manière similaire à la détection d'usagers pour l'éclairage du giratoire, des détecteurs spécifiques sont installés afin d'activer les luminaires pour le passage des cyclistes.

La distance de détection est calculée de la même manière que le chapitre 7.2 pour la distance d'arrêt en supposant que la vitesse maximale est de 30 km/h.

$$SD = \left(\frac{30}{10}\right)^2 + 3 \cdot \frac{30}{10} = 18 \text{ m}$$

Les détecteurs de cyclistes ont les caractéristiques suivantes :

- une portée de détection de 18 m (à une hauteur de ~5.5m) ;
- sont reliés à des équipements d'interface hébergé dans le même coffret de commande que les radars et détecteurs de véhicules du giratoire ;
- sont fixés sur mâts (candélabres ou mâts spécifiques).

### 12.2.2 Traversées des cyclistes sur la route en direction du quartier des Fontanettes

Le SPC souhaite pouvoir illuminer uniquement les traversées pour mobilité douce, lors de présence de cyclistes en approche de celles-ci, indépendamment de la circulation des automobiles.

Une solution technique pour réaliser la détection de cyclistes et la distinction entre cyclistes et autres véhicules motorisés sur la route est la mise en place d'un système de caméra thermique. En effet, l'analyse des images thermiques permet de détecter uniquement les cyclistes et d'activer un contact électrique donnant l'ordre au système d'éclairage de la traversée de s'activer.

La solution présentée ci-après est basée sur les informations reçues du fabricant Flir Teledyne.

Pour les traversées au niveau du giratoire, l'incertitude par rapport à la direction que souhaitent prendre les cyclistes ne rend pas la détection par caméra judicieuse (lire les paragraphes suivants pour les détails). Il reste donc la traversée au niveau de la route menant au quartier des Fontanettes.

Le système à mettre en place pour détecter les cyclistes sur la route menant au quartier des Fontanettes sera alors composé de :

- Une caméra thermique fixée sur un mât dédié, à une hauteur d'environ 5.5m ;
- Un boîtier d'interface installé dans le coffret de terrain avec le système de gestion de l'éclairage ;
- Une liaison 3 fils entre la caméra et le boîtier d'interface.

La figure ci-après représente les équipements précités ainsi qu'une image thermique avec visualisation de la détection d'un cycliste.

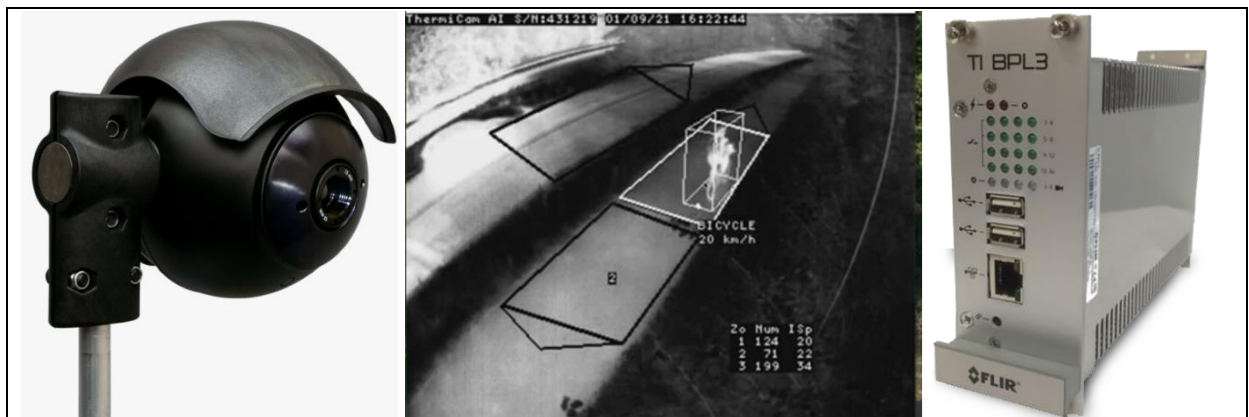


Figure 17 : Caméra thermique Trafisense AI / Image avec détection cycliste / Boîtier d'interface associé TI BLP3 (sources : FLIR)

Ce système concernera dans ce cas uniquement la détection de cyclistes. Le boîtier d'interface délivrera l'information de détection via un contact libre de potentiel. Le système de gestion de l'éclairage prendra en compte cette information afin d'enclencher l'éclairage.

L'architecture de ce système est représentée sur la Figure 18 ci-dessous.



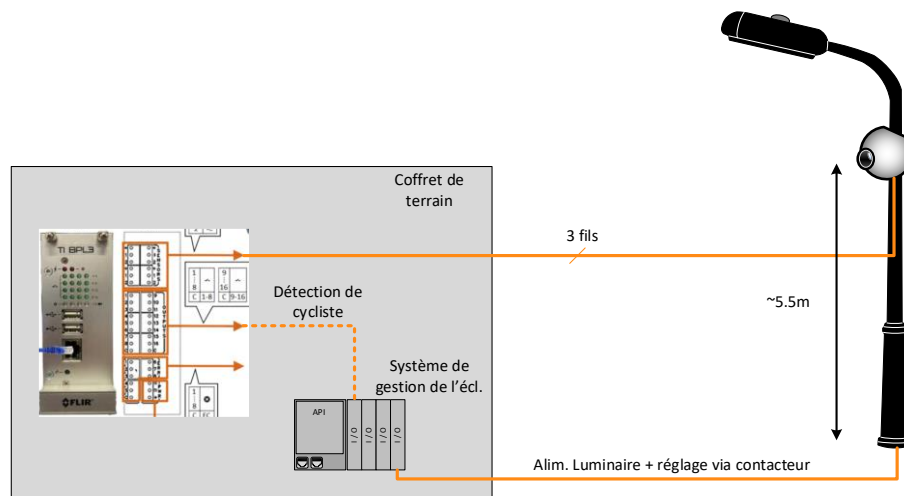


Figure 18 : Architecture du système de détection de cyclistes par caméra thermique

### 12.2.3 Fonctionnalités complémentaires des caméras thermiques

Ce chapitre présente les fonctionnalités complémentaires proposées par les caméras thermiques.

Les caméras thermiques analysent les images, qui sont insensibles aux conditions météorologiques, et permettent de réaliser les fonctionnalités suivantes :

- Détection d'utilisateurs différents par type (p.ex. camion, voiture, moto, cycliste, piéton) ;
- Comptage des différents types d'utilisateurs.

Notons que chaque caméra effectue les analyses d'images de façon embarquée (en interne à la caméra) de façon que les images n'ont pas besoin d'être transmises à un serveur de traitement.

Par conséquent, il serait tout à fait imaginable d'utiliser un tel équipement pour le giratoire également.

Sur une branche d'accès de giratoire, l'avantage serait de pouvoir remplacer le couple de détecteurs classiques de « présence + comptage » nécessaires par une seule caméra. Dans le cas du giratoire du Stand, il faudrait également s'assurer de la bonne couverture des traversées à l'attention des cyclistes.

Ensuite, c'est au niveau des interfaces que l'ajout de la fonctionnalité de comptage complique les choses. En effet, si les caméras savent compter de manière autonome différents types de véhicules, elles ne sauront pas faire en interne la moyenne horaire et mettre à disposition les informations de charge trafic au système de gestion éclairage (p.ex. sur des contacts de sortie du boîtier d'interface) permettant la régulation, telle que décrite dans le paragraphe suivant.

Deux cas de figures se présentent alors :

#### 1. Utilisation d'un serveur distant physique ou d'une machine virtuelle

Dans ce cas, les comptages d'utilisateurs sont transmis à un serveur distant (appelé « Cascade » chez Flir). Ce serveur peut prendre la forme d'un serveur physique (par exemple un serveur implanté au SPC), d'une machine virtuelle ou du service « cloud » de Flir.

Dans tous les cas, les données de comptage de chaque caméra sont transmises au serveur qui détermine alors les moyennes horaires et selon les seuils définis, retourne l'activation des contacts spécifiques sur le boîtier d'interface (TI BPL3). Ces contacts « libres de potentiels » sont alors reliés au système de gestion de l'éclairage, qui applique le scénario correspondant.

Pour la transmission des données, un modem 4G devra alors être mis en place dans le coffret de commande de l'éclairage.

Ce système générera un coût d'abonnement de téléphonie et des coûts de licences (licence fixe par caméra pour un serveur physique et abonnement pour le service « cloud »).

Le principe d'architecture correspondant est présenté ci-après.

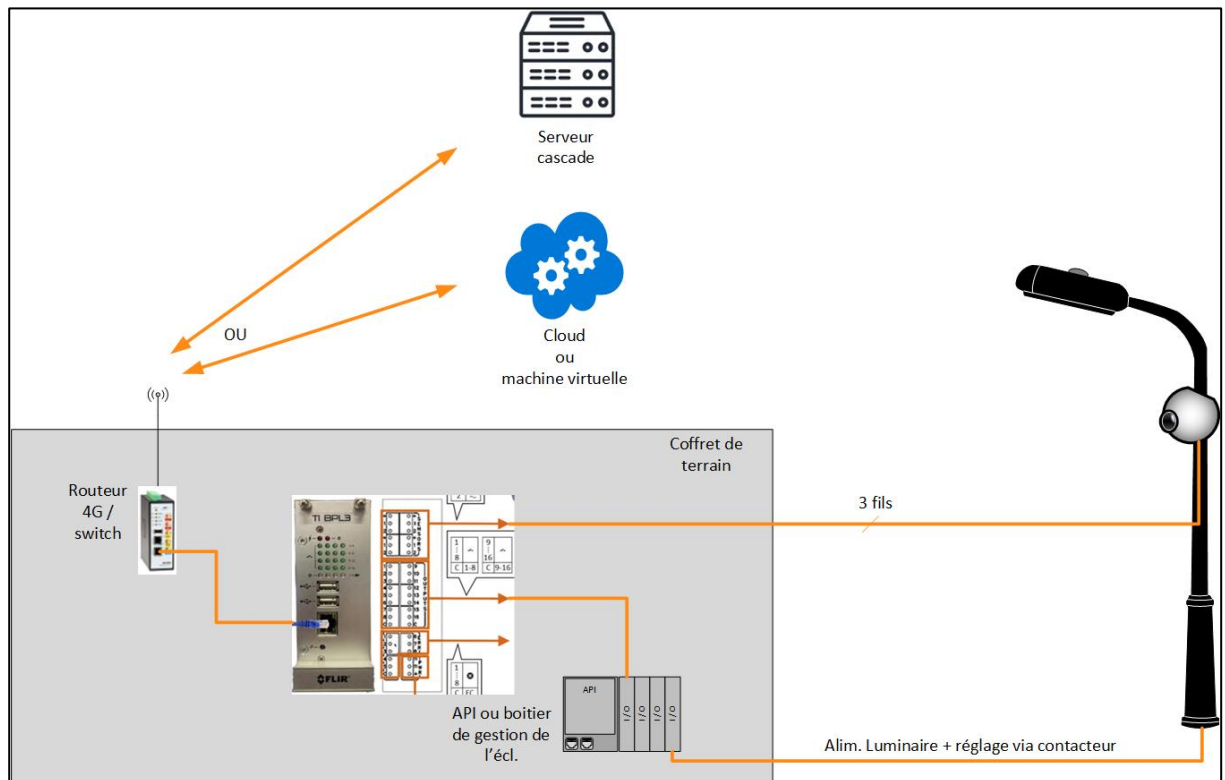


Figure 19 : Utilisation d'un serveur de calculs pour le traitement des comptages caméras

## 2. Accès direct aux données des caméras

Dans ce second cas, le système d'éclairage ou un automate complémentaire est connecté au boîtier d'interface TI BPL3. Le questionnement des valeurs actuelles de comptages de véhicules se fait en TCP/IP par un câble Ethernet reliant l'automate éclairage et le boîtier d'interface. L'interface de programmation d'application (API) mise à disposition par le fabricant des caméras est alors utilisée pour développer le logiciel permettant d'obtenir les informations désirées de chaque caméra.

Le système de gestion éclairage ou l'automate complémentaire doit alors être programmé afin de réaliser les calculs de moyennes de trafic horaires, permettant la commande dynamique de l'éclairage, présentée au paragraphe suivant.

Le système fonctionne alors de façon autonome, sans besoin de communication vers un serveur externe. Les coûts de licences correspondants sont dès lors supprimés, ainsi que l'abonnement pour la transmission de données. Reste un développement plus conséquent pour le système d'éclairage.



Cette solution autonome semble préférable, mais devrait être réévaluée par rapport au nombre de caméras impliquées et à l'utilité éventuelle pour le SPC d'avoir accès aux données de comptage trafic. Il se pourrait également qu'un serveur de type « Cascade » soit déjà en fonction pour le traitement de données de caméras semblables liées au carrefour du Canton.

Le principe d'architecture correspondant à cette variante est présenté ci-après.

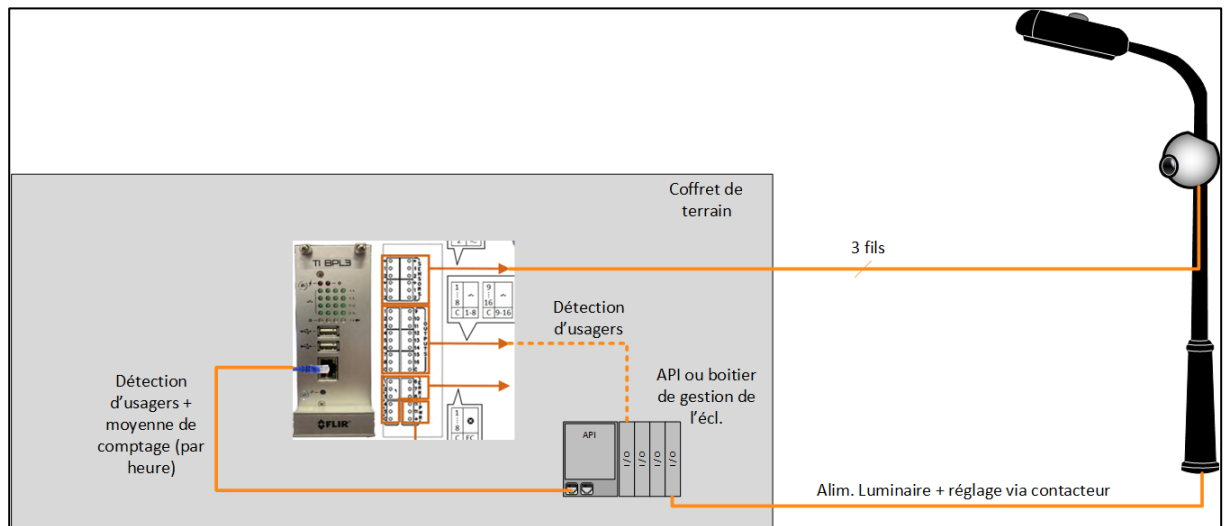


Figure 20 : Récupération et traitement des comptages caméras par le système de gestion éclairage ou un automate associé

Même si une caméra thermique remplacerait deux capteurs classiques, les coûts de cette technologie (capteurs) sont beaucoup plus importants. Dès lors, nous préconisons de ne pas utiliser cette technologie pour les giratoires, mais de la conserver uniquement pour les détections au niveau de la traversée de cyclistes pour sur la route en direction du quartier des Fontanettes. C'est ce qui est représenté sur le schéma d'implantation de l'Annexe 3 et sur la Figure 21.

Nous proposons de conserver tout de même cette alternative pour les giratoires dans les futures phases de projet (baisse des coûts de cette technologie, disponibilité future de produits concurrents alternatif, etc.).

#### 12.2.4 Système complet

Selon les explications des paragraphes ci-avant, la détection des cyclistes au niveau des traversées liées au giratoire (traversée 1 et traversée 2) sera réalisée au moyen de détecteurs classiques.

La Figure 21 ci-dessous représente ainsi tous les détecteurs pour les passages de deux-roues.

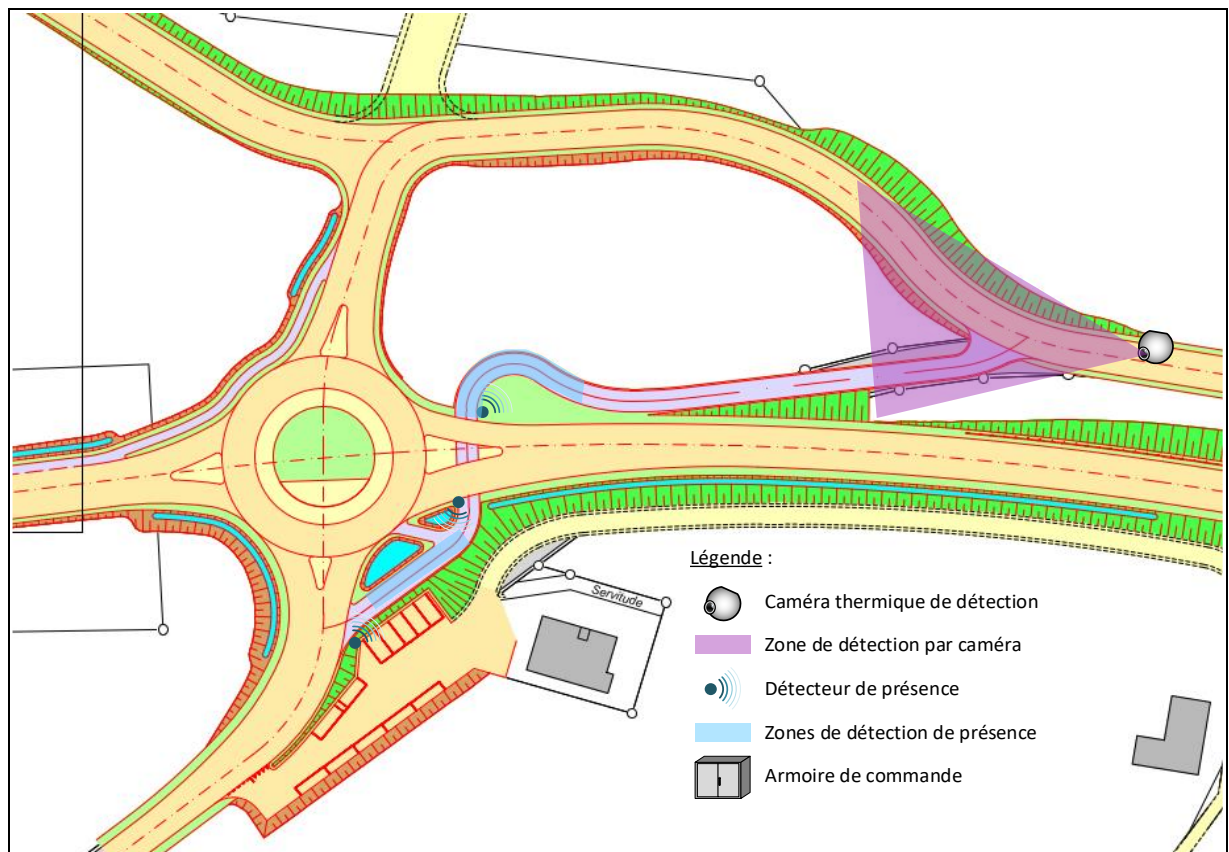


Figure 21 : Détection pour traversées des deux-roues légers

L'éclairage de la traversée cyclistes à l'entrecroisement avec route du quartier des Fontanettes sera géré par l'ajout d'une caméra thermique dédiée et sera allumé indépendamment du giratoire, uniquement sur détection de cyclistes.

Les traversées accolées au giratoire, sur la route direction Marly et la route direction Chésalles, seront éclairées avec le giratoire, lors de détection de véhicules en approche du giratoire, ou elles-seules, lors de détections de cyclistes sur la voie de mobilité douce.

### 12.2.5 Cas spécifiques de détection de cyclistes

Afin de déterminer un principe de régulation pour les éclairages liés au giratoire du Stand, lors de la détection d'usagers, différents cas de passages de cyclistes ont été étudiés. Ils sont présentés ci-dessous.

#### Cas 1 : Départ depuis Chésalles :

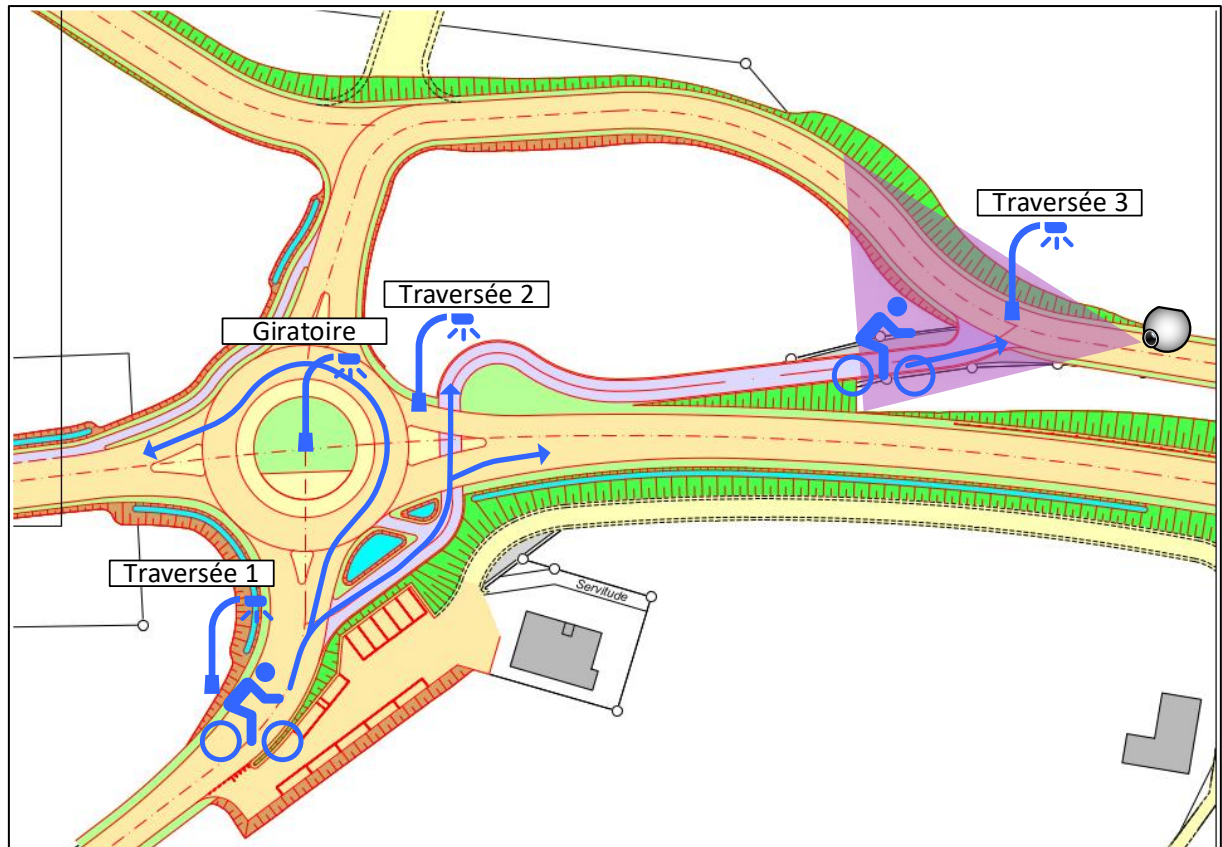


Figure 22 : Cycliste venant depuis la route direction Chésalles

Lorsque le cycliste arrive à la Traversée 1, le choix de sa direction de circulation n'est pas déterminable. On active donc d'office la Traversée 1 ainsi que le giratoire s'il se décide de partir pour Matran (gauche). S'il décide d'emprunter le chemin de mobilité douce, la Traversée 2 s'active, qu'il parte pour les Fontanettes ou Marly. Finalement, s'il va en direction des Fontanettes, la Traversée 3 s'active. Ce qui n'est pas le cas s'il pédale en direction de Marly.

**Cas 2 : Départ du quartier des Fontanettes :**

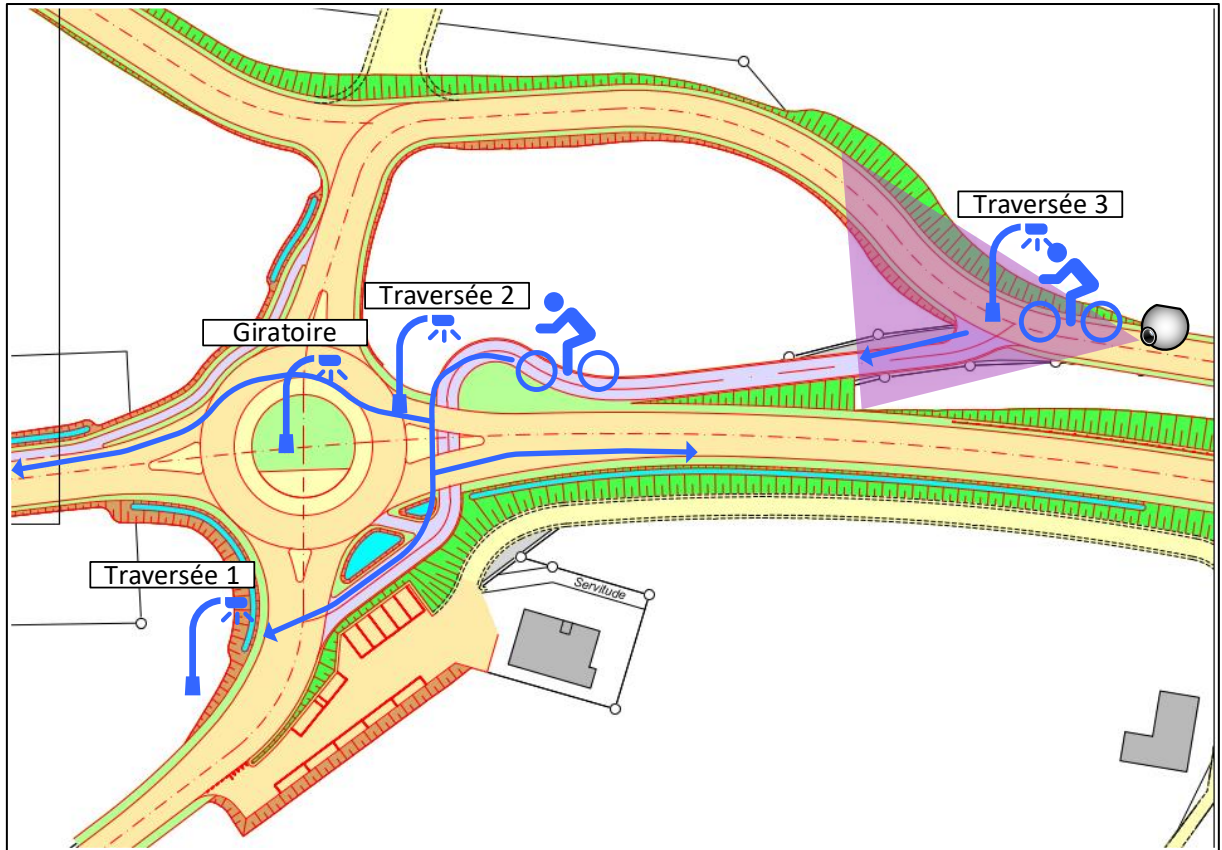


Figure 23 : Cycliste venant depuis le quartier des Fontanettes

La Traversée 3 s'active d'office lorsqu'il passe devant la caméra.

La Traversée 2 s'active lorsqu'il s'en rapproche, le giratoire s'illumine aussi d'office car il n'est pas déterminé s'il va en direction de Matran ou non.

S'il décide de partir en direction de Marly, il n'y a plus d'autre luminaire à activer.

Et finalement, s'il décide de pédaler en direction de Chésalles, la Traversée 1 s'active.

Ainsi, en résumé :

- La traversée 3 Fontanettes ne s'allume que sur détection de cyclistes via sa caméra, sur n'importe quelle branche d'accès ;
- Pour le giratoire et les traversées 1 et 2 associées, dissocier l'allumage des traversées cyclistes et du giratoire implique pas mal de cas de figures différents, qui sont résumés dans le Tableau 4 ci-dessous.

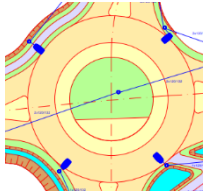
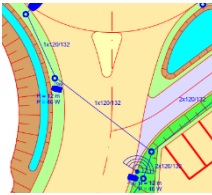
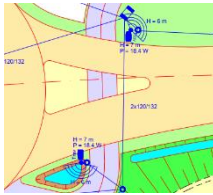
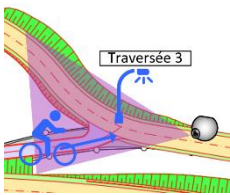
Allumages du giratoire et des traversées sur détection de cyclistes				
	Giratoire	Traversée 1	Traversée 2	Traversée 3
Cycliste en provenance de :	Allumage Giratoire 	Allumage traversé Chésalles 	Allumage traversée Marly 	Allumage Fontanettes 
Chésalles	X (détecteur véhicules giratoire Rte Chésalles)	X (détecteur véhicules giratoire Sud)	X (détecteur cycliste Sud traversée 2 Marly)	X Uniquement par caméra de détection sur n'importe quelle branche d'accès.
Fontanettes	X (détecteur cyclistes Nord traversée 2 Marly)	X (détecteur cyclistes traversée 1 Chésalles)	X (détecteur cycliste Nord traversée 2 Marly)	
Marly	X (détecteur véhicules giratoire Rte Marly)	X (détecteur cyclistes traversée 1 Chésalles)	X (détecteur véhicules giratoire Rte Marly)	
Matran	X (détecteur véhicules giratoire Rte Matran)	-	X (détecteur cycliste Sud traversée 2 Marly)	

Tableau 4 : Allumages en fonction des détections de cyclistes



### 12.3 Principe de régulation

Tous les candélabres seront équipés d'un module de communication et commande sans fil.

En prenant en compte un enclenchement de l'éclairage par une sonde crépusculaire (passage Jour/Nuit), le diagramme de fonctionnement sera basé sur les réactions suivantes :

- **A la tombée de la nuit (seuil paramétrable) :**
  - Enclenchement de l'éclairage du giratoire et des traversées cyclistes routes de Marly et Chésalles, comme suit :
    - à 100% lorsque le trafic est au-dessus ou égal à 45% du trafic horaire maximal ;
    - à 67% dès que le trafic mesuré sera égal ou au-dessous de 45% du trafic horaire maximal ;
    - à 50% dès que le trafic mesuré sera égal ou au-dessous de 15% du trafic horaire maximal ;
  - Enclenchement de la traversée des Quartiers des Fontanettes pour deux-roues en cas de détection de cyclistes uniquement en approche de la traversée à 18 m, selon la même puissance, liée à la charge de trafic motorisé.
- **Extinction à minuit et passage en mode de détection d'usagers.**
  - Allumage de l'éclairage du giratoire en cas de détection de véhicules sur les 4 branches d'accès ;
  - Allumage de la traversée de Chésalles pour deux-roues en cas d'allumage du giratoire ;
  - Allumage de la traversée de Marly pour deux-roues en cas d'allumage du giratoire ;
  - Allumage de la traversée de Marly et de celle de Chésalles pour deux-roues en cas de détection de cyclistes uniquement en approche de la traversée à 18 m (absence de véhicules) ;
  - Allumage de la traversée des Quartiers des Fontanettes pour deux-roues en cas de détection de cyclistes en approche de la traversée à 18 m ;

Allumage avec abaissement à 50% durant cette période de faible trafic.
- **Dès 5h du matin :**
  - Enclenchement de l'éclairage du giratoire et des traversées cyclistes routes de Marly et Chésalles, comme suit :
    - à 50% dès 5h, tant que le trafic horaire est inférieur à 15% du trafic horaire maximal ;
    - à 67% dès que le trafic horaire dépasse 15% du trafic horaire maximal ;
    - à 100% dès que le trafic horaire dépasse 45% du trafic horaire maximal ;
  - Enclenchement de la traversée des Quartiers des Fontanettes pour deux-roues en cas de détection de cyclistes uniquement en approche de la traversée à 18 m, selon la même puissance, liée à la charge de trafic motorisé.
- **Extinction de tous les éclairages dès le lever du jour.**

Le diagramme temporel suivant résume cette philosophie de commande :

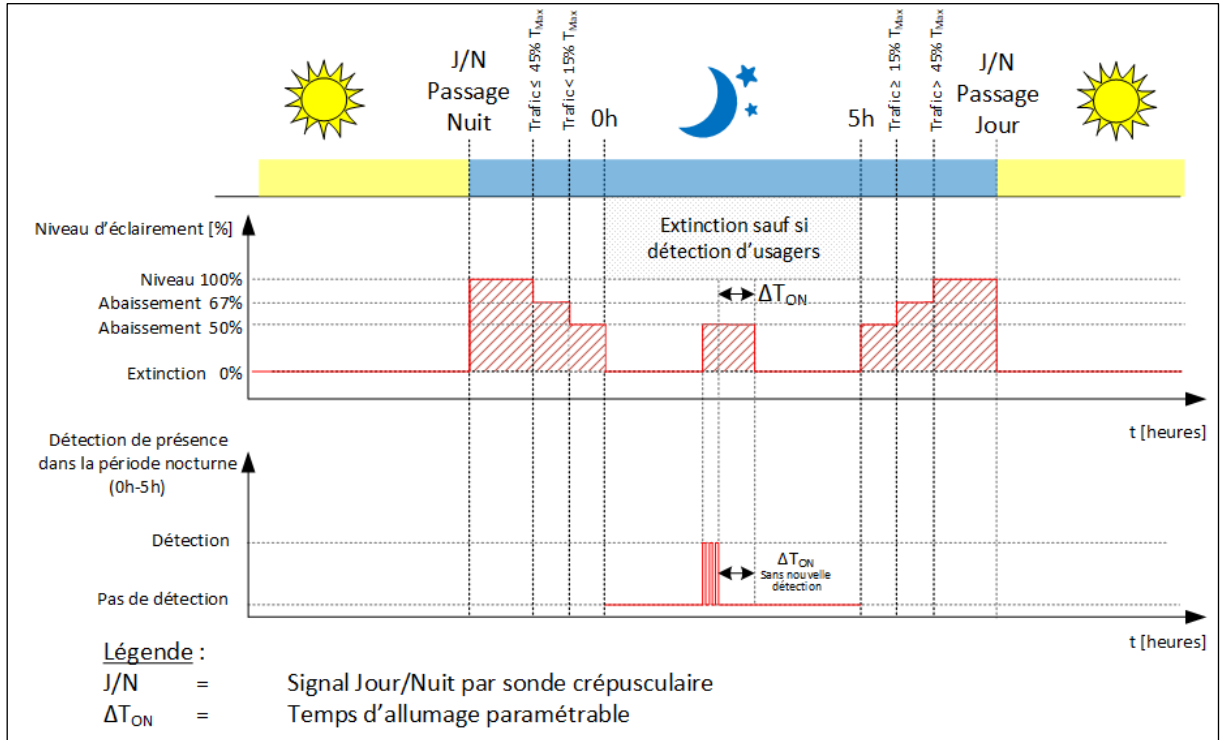


Figure 24 : Commande de l'éclairage en fonction du signal J/N du comptage trafic et de la détection d'usagers

### 13. Alimentation électrique

L'alimentation électrique a été coordonnée avec le distributeur Groupe E.

Le plan correspondant est joint en annexe 3 au présent rapport. Un extrait est présenté sur la Figure 25 ci-dessous.

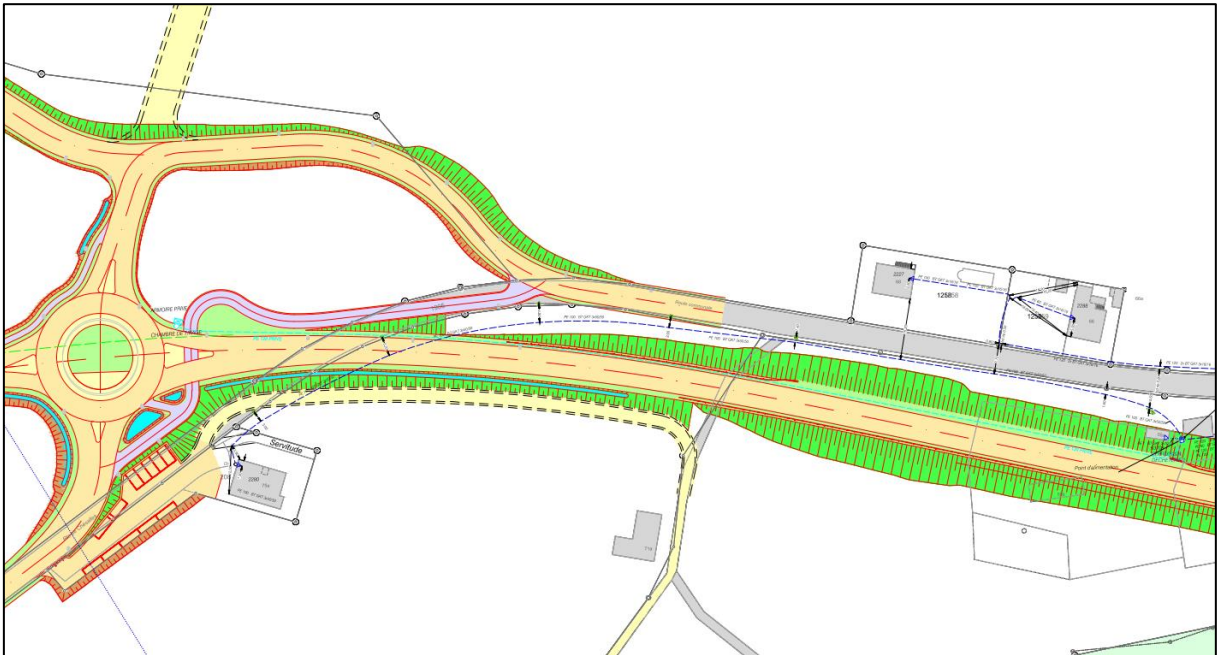


Figure 25 : Alimentation électrique du giratoire du Stand par Groupe E

L'alimentation électrique se fera depuis l'armoire de distribution " CDBT004324 DECHETERIE 1" située à ~300m au Nord-Est du giratoire du Stand.

Une PE diamètre intérieur 120mm sera à installer par le génie civil. Il sera exclusivement réservé au câble d'alimentation fourni et posé par le distributeur d'énergie, jusqu'au coffret de comptage.



Le bilan de puissance lié aux luminaires et aux équipements de commande associés est le suivant :

<b>Giratoire du Stand</b>					
<b>Consommateurs</b>	<b>P [W]</b>	<b>Quantité</b>	<b>Facteur utili.</b>	<b>Facteur simult.</b>	<b>P. Total [W]</b>
Luminaire LED modèle 57W (giratoire)	57	4	1	1	<b>228</b>
Luminaire LED modèle 18.4W (traversée Marly)	18.4	2	1	1	<b>37</b>
Luminaire LED modèle 46W (traversée Chésalles)	37.7	2	1	1	<b>75</b>
Luminaire LED modèle 34.4W (traversée des Quartiers des Fontanettes)	37.7	2	1	1	<b>75</b>
Système de gestion - éclairage (y compris détecteurs, passerelles, système de communication sans fil)	100	2	1	1	<b>200</b>
Alimentation + switch	100	1	1	1	<b>100</b>
Prise de service mono dans coffret	3000	1	1	1	<b>3 000</b>
				<b>Total [W]</b>	<b>3 716</b>

Tableau 5 : Giratoire du Stand : Bilan de puissances

## 14. Variante photovoltaïque

Aucune variante photovoltaïque n'a été calculée pour le giratoire du Stand.

En effet, sur la base de projets similaires, les résultats montrent que les luminaires solaires peuvent émettre un éclairage durant environ 8 heures par nuit, afin de conserver une charge suffisante de leur batterie pour une autonomie de 4,5 nuits en cas de mauvaises conditions météorologiques.

Compte tenu de l'abaissement possible selon la charge de trafic et de l'activation sur détection entre minuit et 5 heures du matin de l'éclairage, la variante photovoltaïque pourrait également satisfaire aux besoins, même si un « blackout » n'est pas exclu si les passages nocturnes sont trop fréquents lors de mauvaises conditions météo. Ce constat est également valable pour la traversée cyclistes au niveau de la route menant au quartier des Fontanettes.

En raison de l'incertitude sur la fréquence des passages nocturnes, cette variante n'est pas préconisée pour cette situation d'éclairage.

## 15. Résumé synthétique du rapport

La mise en lumière du giratoire du Stand et de ses carrefours associés a été faite en utilisant des luminaires aux optiques de diffusion larges, se focalisant au mieux sur les routes à éclairer et minimisant le flux parasite émis à l'arrière. Des optiques spécifiques ont aussi été utilisées pour les traversées cyclistes.

Les simulations démontrent que les exigences normatives sont atteintes pour toutes les zones de conflits.

Une régulation dynamique avec abaissement nocturne sera réalisée par la mise en place d'une mesure de la charge de trafic en temps réel. L'extinction sera faite entre minuit et 5h du matin, hors période de détection d'usagers qui réactivera temporairement l'éclairage. Ces mesures seront efficaces pour les économies d'énergie et la protection de la faune et de la flore.

L'éclairage de la traversée cyclistes à l'entrecroisement avec route du quartier des Fontanettes sera géré par l'ajout d'une caméra thermique dédiée et sera allumé indépendamment du giratoire, uniquement sur détection de cyclistes.

Les traversées accolées au giratoire, sur la route direction Marly et la route direction Chésalles, seront éclairées avec le giratoire, lors de détection de véhicules en approche du giratoire, ou elles-seules, lors de détections de cyclistes sur la voie de mobilité douce.

## 16. Recommandations du bureau d'ingénieurs

Il est préconisé pour les phases suivantes de projet de spécifier strictement les contraintes liées au choix des luminaires afin de mettre en place des points lumineux minimisant les émissions parasites.

Une régulation dynamique au moyen d'un comptage trafic est vivement recommandée, car elle permet de réduire dès que possible l'éclairage lorsque le volume de trafic diminue. Couplée à une période d'allumage sur détection d'usagers entre minuit et 5h du matin, elle permettra de préserver la faune et la flore et de respecter les valeurs limites d'énergie.

Un allumage piloté uniquement par la détection de cyclistes par caméra sur la traversée de la voie de mobilité douce avec la route menant au quartier des Fontanettes permettra de n'émettre aucune lumière à cet endroit sans présence de cyclistes.

La mise en place d'une solution d'éclairage 100% solaire n'est pas préconisée à cause de l'incertitude sur l'autonomie des batteries, ainsi que les coûts d'entretiens élevés.