

Partage d'une voirie à haut taux d'occupation : Travail de Fin d'Études



Source : <https://parisladefense.com/fr/actualites/article/amenagement-axe-de-la-defense-rd993-lab-les-candidats-retenus-pour-plus-dinnovation>

Anne-Gaëlle Le Guillou
Promotion 59
Rapport TFE
Du 17/02/20 au 21/08/20

Maitre de stage : Salma Benqassmi

Tuteur de stage : Olivier Bonnefoy

Fiche notice pour l'archivage

AUTEUR du mémoire	
NOM	LE GUILLOU
Prénom	Anne-Gaëlle
ORGANISME de stage	
NOM organisme	Technologies Nouvelles
NOM maître de stage	Salma BENQASSMI
NOM tuteur EIVP	Olivier BONNEFOY
ANALYSE	
TITRE du TFE	Partage d'une voirie à haut taux d'occupation
TITLE	Share of a high traffic road
RÉSUMÉ (15 à 20 lignes)	<p>Le boulevard Circulaire est une voie stratégique reliant Paris au centre d'affaire de La Défense. Ce boulevard à un haut taux d'occupation comporte de nombreux carrefours à feux pour gérer sa circulation automobile. Initialement, ma mission consistait à optimiser le trafic de ces véhicules à l'aide d'outils de trafic. La mission a évolué au cours du stage à la suite du confinement dû au coronavirus. Comme alternative au transport en commun, l'Ile-de-France a mis en place des pistes cyclables dans la région et notamment sur une partie du boulevard Circulaire. J'ai donc analysé et cherché comment le boulevard Circulaire pouvait être rendu accessible aux divers usagers (voitures, cyclistes, piétons).</p> <p>Cela passe par une réduction des vitesses des véhicules, une diminution de leurs voies sur l'espace public au profit des pistes cyclables. Pour permettre une accessibilité des piétons, des carrefours à feux avec des traversées piétonnes sont nécessaires. Pour garantir la sécurité des piétons et des cyclistes des aménagements urbains adaptés à chaque type d'usagers doivent être créés.</p>

ABSTRACT	<p>The « boulevard Circulaire » is a strategic road connecting Paris to the CBD of La Défense. This high rate occupation road has many traffic lights to manage its traffic. Originally, I had to optimize the road's traffic with traffic tools. Quarantine caused by coronavirus makes the main goal changed. As an alternative to public transportation, the Ile-de-France created cycle lanes in the region and especially on the boulevard Circulaire. I analysed and looked for an answer of how can the boulevard Circulaire become accessible for every users (cars, cyclists, pedestrians). The solution is to reduce the car's speed and to suppress one lane for the benefit of cycle lanes. To create accessibility for pedestrians, traffic lights are needed with pedestrian crossings. To make sur pedestrians and cyclists are safe, urban development for every kind of users must be created.</p>		
Mots-clés	Aménagement urbain – carrefour à feux – voirie – mode doux – optimisation – pistes cyclables		
Thésaurus	Urban planning - traffic lights – road – gentle movment – optimisation – cycle lanes		
Références			
	Nb de pages	Annexes (p. en chiffres romains)	Bibliogr. / webographie : nb réf.
	40	VI	6

Table des matières

Table des matières	4
Liste des figures, tableaux, illustrations	6
Glossaire, abréviations, sigles, acronymes	7
Remerciements	1
Introduction	2
I. L'organisme d'accueil	3
II. La mission du stagiaire	4
1. Mes missions	4
2. La mission choisie	6
3. Nouvelle mission	7
III. Analyse de la voirie existante	8
1. Présentation du boulevard Circulaire.	8
2. Analyse de l'infrastructure	10
a. Objectifs de l'analyse.....	10
b. Vérification des voies.....	11
c. Vérification des carrefours.....	11
3. Analyse de l'exploitation.....	12
IV. Critique de l'analyse	18
1. La sous-traitance	18
2. La quantité de mesure	18
3. L'influence du client	19
V. L'optimisation du trafic des véhicules.....	21
1. Définition de l'optimisation du trafic	21
2. L'optimisation du boulevard Circulaire	21
3. Micro-régulation.....	23
VI. Un boulevard pour les modes doux	28
1. Les pistes cyclables	28
2. Piétons : Jalonnement en sécurité.....	33
3. Question de partage de la voirie.....	38
VII. Bilan du stage	39
1. Problèmes rencontrés et solutions apportées	39
2. Perspectives	40

Conclusion	41
Bibliographie	42
Annexe.....	xliii
Annexe A : Projet ITS READY	xliii
Annexe B : Analyse du comportement piéton sur le passage piéton.....	xliv
Annexe C : Propositions du nouveau carrefour à feux	xlv
Annexe D : Carte du projet Velo RER	xlvi
Annexe E : Caractéristiques de la caméra thermique de détection.....	xlvii

Liste des figures, tableaux, illustrations

FIGURE 1 : PLANNING DU STAGE	5
FIGURE 2 : CALENDRIER INITIAL DU PROJET ITS READY	6
FIGURE 3 : CARTE DE LOCALISATION DU BOULEVARD CIRCULAIRE	8
FIGURE 4 : RÉSEAU ROUTIER DE LA DÉFENSE	9
FIGURE 5 : IMPLANTATION DES CARREFOURS À FEUX SUR LE BOULEVARD CIRCULAIRE	10
FIGURE 6 : PHOTO DE LA ROUTE DE LA DEMI-LUNE BARRÉE	11
FIGURE 7 : SCHÉMA DU CARREFOUR FOURNI	11
FIGURE 8 : CARTE DE COMPTAGES DIRECTIONNELS SUR LE CARREFOUR 26913	12
FIGURE 9 : SCHÉMA DU CARREFOUR 26914	13
FIGURE 10 : TABLEAU DE TRAFICS DIRECTIONNELS DU CARREFOUR 26914	13
FIGURE 11 : SCHÉMA DU CARREFOUR 26913	13
FIGURE 12 : SCHÉMA DES MOUVEMENTS DANS LA PHASE 1A DU CARREFOUR 26913	13
FIGURE 13 : TABLEAU DE TRAFIC D'ENTRÉE DU CARREFOUR 26913	14
FIGURE 14 : TABLEAU BILAN DES RÉSERVES DE CAPACITÉ DES CARREFOURS ACTUELS	15
FIGURE 15 : TABLEAU DES RÉSERVES DE CAPACITÉ DU CARREFOUR 26914	16
FIGURE 16 : TABLEAU DES LONGUEURS DE FILE D'ATTENTE DU CARREFOUR 26914	16
FIGURE 17 : TABLEAU DE DONNÉES DE COMPTAGE DU CARREFOUR 26911	18
FIGURE 18 : TABLEAU BILAN DES COMPTAGES DU CARREFOUR 26911	18
FIGURE 19 : SCHÉMA DE PHASAGE DU CARREFOUR 26914	21
FIGURE 20 : DIAGRAMME DES FEUX DU CARREFOUR 26914	22
FIGURE 21 : TABLEAU DES STRUCTURES DU CARREFOUR 26914	22
FIGURE 22 : SCHÉMA DU CARREFOUR 62916	23
FIGURE 23 : DIAGRAMME DU CARREFOUR 62916	23
FIGURE 24 : PROGRAMMATION À INSÉRER DANS LE CONTRÔLEUR DU CARREFOUR 62916	24
FIGURE 25 : SCHÉMA DU CARREFOUR 62912 AVEC LA CAP	24
FIGURE 26 : DIAGRAMME DU CARREFOUR 62912	25
FIGURE 27 : NOUVEAU SCHÉMA DU CARREFOUR 62913 AVEC L'AJOUT DES BOUCLES	25
FIGURE 28 : NOUVEAU DIAGRAMME DU CARREFOUR 62913 AVEC L'AJOUT DE GLISSEMENT	26
FIGURE 29 : TABLEAU DE CRÉATION DES GLISSEMENTS	26
FIGURE 30 : TABLEAU DES RÉSERVES DE CAPACITÉ DU CARREFOUR 26913 AVEC LES PISTES COVID	28
FIGURE 31 : SCHÉMA DU CARREFOUR 26914 SANS LES PISTES COVID	29
FIGURE 32 : SCHÉMA DU CARREFOUR 26914 AVEC LES PISTES COVID	30
FIGURE 33 : PHOTO DE L'ALLÉE DEVANT LE NOVOTEL	31
FIGURE 34 : PHOTO DE L'ENTRÉE D'UNE PISTE CYCLABLE	31
FIGURE 35 : PHOTO DE SIGNALISATION INCOHÉRENTE SUR LES PISTES CYCLABLES	32
FIGURE 36 : IMAGE GOOGLE MAPS DE LA VOIE DES BÂTISSEURS	33
FIGURE 37 : IMAGE GOOGLE MAPS DE LA N13	33
FIGURE 38 : SCHÉMA DU CARREFOUR 26913	34
FIGURE 39 : TABLEAU DE DURÉE DE FEUX DU CARREFOUR 26913	35
FIGURE 40 : NOUVEAU TABLEAU DE DURÉE DE FEUX DU CARREFOUR 26913	35
FIGURE 41 : NOUVELLE PROGRAMMATION DU CARREFOUR À FEUX 26913	35
FIGURE 42 : ANCIEN DIAGRAMME 26913	36
FIGURE 43 : NOUVEAU DIAGRAMME 26913	36

Glossaire, abréviations, sigles, acronymes

VRD : Voirie et Réseaux Divers

TFE : Travaux de Fin d'Études

BHNS : Bus à Haut Niveau de Service

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publics

Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CAP : Commande d'Appel Piéton

EPI 78-92 : Établissement Public Interdépartemental du 78 et du 92

VBA : Visual Basic for Applications (langage sous Excel)

EIVP : École des Ingénieurs de la Ville de Paris

Remerciements

Je souhaite remercier l'ensemble de l'équipe du service d'ingénierie des déplacements de Technologies Nouvelles pour son accueil chaleureux. Les conseils et l'aide des membres de l'équipe m'ont permis de progresser pendant ce stage. Plus particulièrement, je remercie ma maîtresse de stage Salma Benqassmi, ingénieure chargée d'étude de déplacements, pour sa disponibilité, sa pédagogie, ses conseils et sa rigueur. Elle m'a permis de découvrir le domaine de la mobilité en travaillant sur des projets différents tout en aiguisant mon esprit d'analyse.

Je remercie également mon tuteur de stage, Olivier Bonnefoy, pour sa disponibilité, son suivi et ses conseils avisés tout au long de mon stage.

Introduction

« À Paris, la moitié de l'espace public est réservée à l'automobile. La moitié des 2 800 hectares de voies publiques de la capitale est occupée soit par la circulation automobile soit par les parkings publics. Ainsi 50 % de l'espace est réservé aux 13 % des déplacements automobiles. Transport en commun et marche représentent 83 % des déplacements à Paris. » [1]

En effet, la voiture a longtemps été l'occupante privilégiée de l'espace disponible sur la voirie, tant en circulation qu'en stationnement, laissant peu de place pour les autres modes de transports. Dans ce contexte, l'objectif était d'optimiser le trafic routier. Pour cela de nombreux outils de régulation de trafic ont été créés.

Or le partage de la voirie doit assurer la cohérence entre les usages de la voirie et les fonctions urbaines des territoires traversés.

C'est dans les années 1990 que les acteurs locaux ont commencé à favoriser les déplacements des autres modes de transports tels que la marche et le vélo grâce à la mise en place d'aménagements. L'obligation d'élaborer des plans de déplacements urbains dans les grandes agglomérations françaises accompagne et renforce cette évolution des mentalités. Selon l'article L. 1214-2 du Code des transports, le troisième objectif des PDU consiste ainsi en : « l'amélioration de la sécurité de tous les déplacements en opérant, pour chacune des catégories d'usagers, un partage de la voirie équilibré entre les différents modes de transport », et le sixième objectif, en : « l'amélioration de l'usage du réseau principal de voirie dans l'agglomération, y compris les infrastructures routières nationales et départementales, par une répartition de son affectation entre les différents modes de transport ».

La crise du COVID 19 a accentué cette volonté de favoriser l'accessibilité des modes doux. Ce rapport présente mon travail de fin d'études autour du partage des voiries à haut taux d'occupation. Mon cas d'étude est le boulevard Circulaire qui relie Paris au secteur de La Défense.

I. L'organisme d'accueil

Depuis 1989, TECHNOLOGIES NOUVELLES conduit des études et des expertises en ingénierie des déplacements. C'est une filiale du groupe AXIMUM expert en signalétique de la route.

L'agence de Nanterre a un effectif de 15 personnes réparties en 3 services complémentaires : le service d'ingénierie des déplacements (SID), le service d'ingénierie des comptages (SIC) et le service d'ingénierie réseaux (SIR). Pour l'année 2018, son chiffre d'affaire était de 4 millions d'euros.

Le service d'ingénierie des déplacements dans lequel j'ai travaillé effectue des missions de conseils en aménagement urbains. Les études portent principalement sur 3 volets de conseils :

- Études techniques de carrefours à feux
- Enquêtes de circulation et analyses de déplacements. Les analyses portent sur toutes sortes de modes de circulation tels que les piétons, les voitures, BHNS, les tramways, les vélos, les scooters, etc.
- Analyse des dysfonctionnements des aménagements urbains et propositions de solutions.

Technologies Nouvelles conseille principalement les communes et les départements, via des réponses aux appels d'offres des marchés publics. Elle intervient dans toute la France et ponctuellement dans des grandes villes européennes lors de gros projets.

II. La mission du stagiaire

1. Mes missions

À la fin de notre formation à l'EIVP, nous devons réaliser un stage de fin d'études également appelé stage TFE. À ce stade dans notre formation, nous avons toutes les compétences théoriques pour réaliser un travail d'ingénieur durant notre stage. C'est une insertion professionnelle.

J'ai choisi de réaliser mon stage TFE chez Technologies Nouvelles pour plusieurs raisons : En semestre en Erasmus à l'University College of Dublin, j'ai suivi des cours de planification des transports qui m'ont donné l'envie de découvrir le travail dans le domaine de la mobilité. Aussi, après avoir réalisé mon stage études et recherches dans un bureau d'étude de VRD, je souhaitais acquérir un esprit critique sur les propositions d'aménagements urbains des bureaux VRD.

Technologies Nouvelles avait besoin de recruter un nouvel ingénieur pour répondre à la charge de travail. Elle m'a donc recrutée en tant que stagiaire pour me former pour une potentielle embauche par la suite.

Initialement ce stage devait durer 6 mois, du 17 février 2020 au 31 juillet 2020. Mais la crise du coronavirus a fortement impacté mon entreprise : l'entreprise a dû fermer faute de commandes et mon stage a été suspendu pendant 11 semaines pendant la période du 23 mars au 7 juin. Pour pallier cette suspension, le stage a été rallongé jusqu'au 21 août. Ainsi la durée totale de mon stage atteint les 4 mois, ce que l'EIVP a jugé être une durée suffisante pour valider le stage.

Les études chez Technologies Nouvelles s'effectuent sur des temps allant de quelques jours à plusieurs semaines.

Plusieurs projets différents m'ont été confiés pendant ces 4 mois. Voici une liste non exhaustive de ceux-ci :

- Enquête de comptage pour La Défense (Préparation d'une enquête Origines/Destinations sur tout le secteur de la Défense avec un encadrement d'intérimaires sur le terrain)
- Analyse de Floating, Car Data (FCD) pour les Autoroutes du Sud de la France (Analyses de l'impact des travaux sur l'écoulement du trafic)
- Projet ITS Ready sur le boulevard Circulaire de La Défense
- Analyse d'aménagements urbains à Versailles (Analyses des dysfonctionnements et proposition d'amélioration)
- Plan de circulation à Neuilly (Comparaison de 6 plans de circulation)

Le planning de mes missions permet de rendre compte dans le détail de mes tâches effectuées.

2. La mission choisie

Je ne peux malheureusement pas détailler toutes les missions qui m'ont été confiées à travers ce rapport, cela m'obligerait à être très brève dans chacun de mes propos et de ce fait le rapport serait peu pertinent. C'est pourquoi j'ai choisi de traiter uniquement le projet ITS Ready du boulevard Circulaire de la Défense.

Le travail sur le projet ITS Ready se place dans le contexte de l'appel à projets innovants « RD993 Lab » lancé par le Conseil départemental des Hauts-de-Seine en mars 2019 pour transformer le boulevard Circulaire de Paris La Défense en un laboratoire d'expérimentation.

C'est AXIMUM qui a remporté cet appel à projets en proposant la solution ITS Ready qui est « de fluidifier le trafic à travers le déploiement d'équipements communicants avec les automobilistes (véhicules connectés via une application smartphone ou via des panneaux d'information sur le trajet) ». Pour se faire AXIMUM a engagé Technologies Nouvelles comme sous-traitant pour la partie « Régulation du trafic ». AXIMUM se charge de poser le matériel électronique (contrôleur de feux, nouveaux feux)

L'objectif de la solution proposée est double :

-optimiser le trafic des véhicules empruntant le boulevard Circulaire grâce à une meilleure programmation des carrefours à feux existants voire la création de nouveaux carrefours à feux. C'est sur cette partie que j'ai travaillé.

-optimiser le trafic des véhicules empruntant le boulevard Circulaire grâce à une adaptation de la vitesse des véhicules en leur conseillant une vitesse à adopter via une communication par Smartphone. Cette partie est retardée et son étude ne commencera qu'en octobre.

Voici le calendrier prévisionnel initial de l'opération.

Mise en service	Mars 2020
Appropriation des usagers / Évolution du scénario	Pendant 8 mois
Fin de l'expérimentation comportementale	Mars 2021
Dépose ou 2ème phase d'expérimentation	+ 1 an

Figure 2 : Calendrier initial du projet ITS Ready, source : AXIMUM

Actuellement, en août 2020 le système n'est toujours pas en service. Les études ont pris du retard, elles n'ont toujours pas été rendues au conseil départemental des Hauts-de-Seine. Les dates de mise en service ainsi que les dates des étapes suivantes restent à être réévaluées.

Le projet ITS Ready est suivi par les acteurs suivants : Conseil Départemental des Hauts-de-Seine, Paris-La Défense, le service interdépartemental d'entretien et d'exploitation de la voirie de l'EPI 78-92, COLAS, le CEREMA et Ingérop Management.

3. Nouvelle mission

La crise du COVID 19 a influé sur les objectifs initiaux du projet ITS Ready fixés par le conseil départemental des Hauts-de-Seine. Ma mission a donc été également impactée. En effet, une prise de recul majeure sur l'aménagement du territoire s'est mise en marche.

À l'échelle du département des Hauts-de-Seine, cela s'est traduit par une mise en exergue du partage de l'espace public entre les divers usagers.

La problématique de ce rapport évolue donc de « Comment optimiser le trafic routier sur le boulevard Circulaire ? » à « Comment rendre accessible le boulevard Circulaire de la Défense aux divers usagers ? »

Pour apporter une réponse à cette problématique, une analyse de la voirie existante est nécessaire ainsi qu'une critique du diagnostic réalisé. À partir de cette analyse, il faut chercher des méthodes pour optimiser le trafic des véhicules et également améliorer l'accessibilité des modes doux dans le boulevard.

III. Analyse de la voirie existante

1. Présentation du boulevard Circulaire.

Le boulevard Circulaire de Paris-La Défense est la voie périphérique du quartier d'affaires de Paris-La Défense. Réalisé dans les années 1970, il a à l'origine pour vocation de relier Paris à l'Ouest parisien et surtout de desservir le quartier d'affaire de La Défense, en pleine expansion. Les automobilistes parcourent également ce boulevard pour entrer sur l'A14 ou la RN13.



Figure 3 : Carte de localisation du boulevard Circulaire, source personnelle

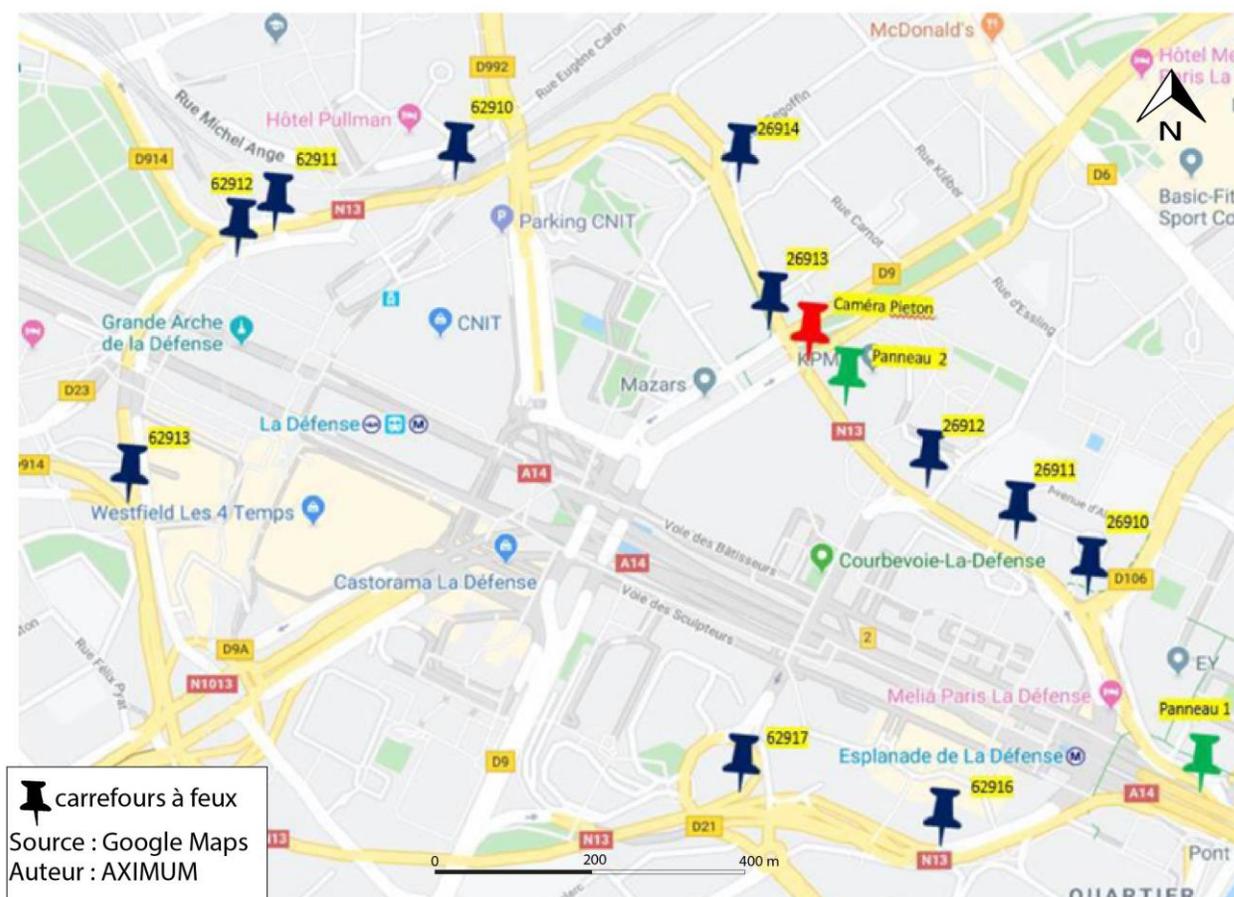


Figure 5 : Implantation des carrefours à feux sur le boulevard Circulaire, source : AXIMUM

On note que la partie est du boulevard est plus urbanisée que dans la partie ouest, notamment grâce à ces carrefours à feux.

En effet, de nombreuses tours d'affaires sont présentes dans la partie est et les piétons provenant de la station de métro La Défense doivent pouvoir y accéder à pied.

2. Analyse de l'infrastructure

a. Objectifs de l'analyse

Une analyse de l'infrastructure des carrefours du boulevard Circulaire est obligatoire avant de pouvoir réaliser une analyse d'exploitation. Une erreur dans le recueil des données d'infrastructures fausserait toute l'étude d'exploitation. C'est une tâche nécessaire que j'ai menée avec beaucoup d'attention et de rigueur, car le secteur de la Défense est régulièrement en travaux, ce qui impacte également l'infrastructure du Boulevard circulaire.

Pour ce faire, à partir des plans fournis par le client Paris La Défense et AXIMUM, j'ai dénombré le nombre de voies sur chaque tronçon et noté les intersections existantes. Une deuxième

vérification des données passe par un repérage sur le terrain. Technologies Nouvelles étant implantée à Nanterre, il était facile pour moi d'aller sur le boulevard Circulaire effectuer les repérages au moindre besoin.

Cette analyse de l'infrastructure n'a pas été évidente, car les données transmises par les acteurs n'étaient pas toujours à jour. Il a donc fallu que je les contacte et la réponse peut prendre plusieurs jours à arriver. Ce qui est problématique, car je travaillais sur ce projet uniquement et je ne pouvais donc pas avancer dans quoi que ce soit. Cette attente d'information a donc été chronophage dans mon travail.

b. Vérification des voies

La vérification détaillée des infrastructures s'est avérée utile, car plusieurs voies sur le boulevard Circulaire ont été modifiées (supprimées ou ajoutées).

Dans l'étude du carrefour ci-dessous (Carrefour 26913) la route de la Demi-Lune d'après le plan fourni (figure 6) existait. Or, sur le terrain j'ai constaté qu'elle était fermée à la circulation (figure 5).



Figure 6 : Photo de la route de la Demi-Lune barrée, source : personnelle

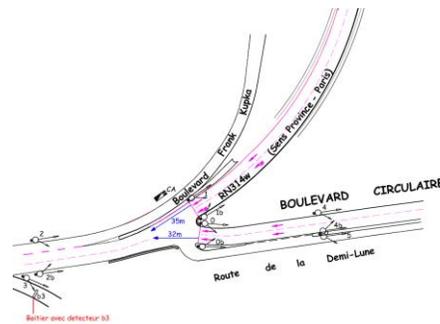


Figure 7 : Schéma du carrefour fourni, source : AXIMUM

c. Vérification des carrefours

La sécurité est l'élément primordial auquel il faut être attentif dans l'étude des carrefours à feux. Cette sécurité est assurée par le calcul des matrices de sécurité du carrefour. Celles-ci contiennent les distances entre les différents feux du carrefour et permet de déterminer le temps que les véhicules ou les piétons mettent pour s'éloigner de l'obstacle. Dans la pratique, je mesurais sur des plans les distances entre les différents feux d'un carrefour et les longueurs des passages piétons. Les distances de sécurité et le phasage des feux sur les carrefours du boulevard Circulaire n'ont révélé aucune erreur de sécurité, ce qui est logique et rassurant, car l'analyse porte sur des carrefours déjà existants.

3. Analyse de l'exploitation

a. Caractérisation du trafic

L'analyse de l'exploitation actuelle des 11 carrefours à feux du boulevard Circulaire m'a permis de déceler les éléments à modifier, supprimer ou ajouter dans les futures programmations des carrefours à feux. La programmation de chaque carrefour à feux comporte plusieurs diagrammes de feux qui varient selon les heures de la journée et en fonction de données transmises par des capteurs. Au total, il y a donc beaucoup plus que 11 programmations de feux à étudier.

L'analyse de l'exploitation se base sur l'analyse des infrastructures qui vient d'être présentée et sur les données de comptage, c'est-à-dire le nombre de véhicules circulant sur chaque voie pendant en temps donné.

Les comptages directionnels ont été réalisés par enregistrements vidéo : Des caméras sont posées au bord de la voie étudiée et vont enregistrer sur une période de temps donnée la circulation sur la voie. Les enregistrements vidéo sont ensuite visionnés et un bilan du trafic est réalisé. La méthode par laquelle les comptages sont effectués sera détaillée dans le chapitre suivant.

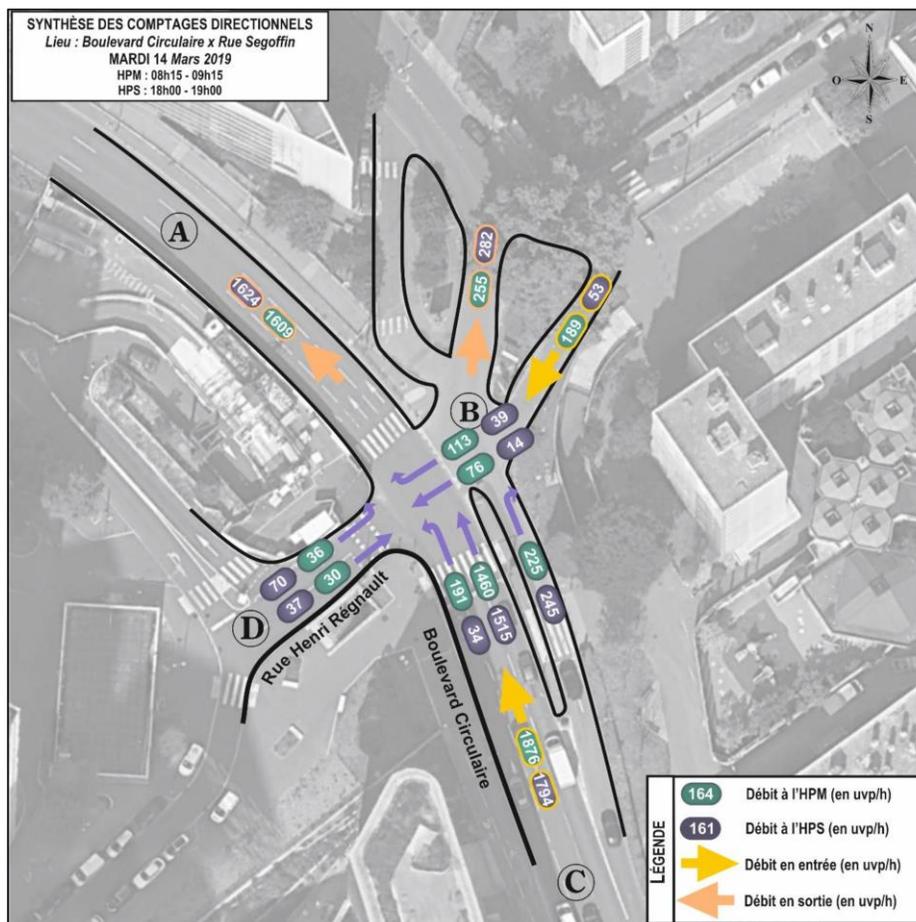


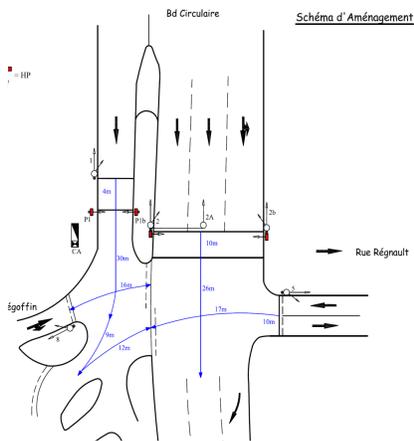
Figure 6 : Carte de comptages directionnels sur le carrefour 26913, source personnelle

Il est nécessaire d'obtenir un trafic d'entrée qui se rapproche au maximum des conditions de circulation dans la réalité. Ainsi plusieurs transformations sont appliquées aux comptages directionnels :

Ces derniers sont exprimés en unité de véhicules particuliers (uvp) pour tenir compte de la prise d'espace sur la voirie des diverses catégories de véhicules. Un véhicule léger est la référence avec un véhicule léger équivalent à 1 uvp. Un poids lourd sera égal à 2 uvp et un deux-roues à 0,3 uvp. Les comptages sont transformés en débit pour la suite de l'étude (uvp/h).

Le trafic sur une route à plusieurs voies est à répartir entre ces dernières. Par exemple si une route comporte 3 voies permettant un mouvement direct alors le trafic total de la route est à diviser par 3 pour obtenir le trafic par voie.

Quand une voie est partagée par 2 mouvements directionnels, la théorie voudrait que l'on mette un nombre de voie de 0,5 pour chaque mouvement. Dans un souci de véracité, une visite sur le terrain permet d'analyser comment la voie est réellement utilisée. Dans le carrefour 26914 la voie du boulevard Circulaire comportant le feu F2 comporte 2 voies pour les mouvements directs et une voie partagée pour les mouvements directs et les mouvements de tourne-à-gauche (voie en haut de la figure 8). Une visite sur le terrain m'a permis de mettre en évidence que la voie partagée entre le tourne-à-gauche et le mouvement direct est quasiment uniquement utilisée pour les mouvements de tourne-à-gauche. Ainsi dans le calcul des coefficients cette voie sera entièrement dédiée à ce dernier mouvement (voir dans la figure 9 la case nombre de voies pour le feu F2 pour le mouvement TAG =1)



Ville : Courbevoie
Carrefour : 26914

Calcul de capacité

N°Ligne	Appellation	Désignation des Voies	Phase	Mouvements	Coef f	Nbre voies	Trafics directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uvpd / h)		Trafic Entrée (uvpd / cycle)	
							HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS
0	F1	Voie séparée Bd Circulaire	1	TAD x	1,0							
				Direct	1,0	1,00	225	245	225	245	4	5
				TAG x	1,0							
4	F2-2A-2b	Boulevard Circulaire	1	TAD x	1,0							
				Direct	1,0	2	1460	1515	1689	1556	33	30
				TAG séparé	1,2	1	191	34				
6	F8	Rue Ségoffin	2	TAD simple	1,1	0,5	113	39				
				Direct	1,0	0,5	76	14	200	57	4	1
				TAG x	1,0							
9	F5	Rue Régnauld	3	TAD x	1,0							
				Direct	1,0	0,5	30	37	70	114	1	2
				TAG x	1,1	0,5	36	70				

Figure 7 : Schéma du carrefour 26914

Figure 8 : Tableau de trafics directionnels du carrefour 26914, source personnelle

Aussi, lorsque le mouvement des véhicules n'est pas direct (mouvement de tourne-à-gauche ou de tourne à droite), les véhicules vont être gênés et vont occasionner un ralentissement sur la voie. J'ai pris en compte cette gêne dans le calcul de la capacité grâce à un coefficient appliqué aux mouvements qui se répercuter dans le trafic d'entrée. Des valeurs de coefficients à appliquer sont recommandées par le CERTU. [3]

Dans le carrefour 26913, présent sur le boulevard Circulaire, le feu F0 pour les véhicules s'ouvre en même temps que le feu piéton P4 (voir figure 11). Les véhicules au feu F0 tournant à droite vont

donc devoir attendre que les piétons du F4 aient traversé avant de pouvoir passer. Pour tenir compte de cette gêne, j'ai appliqué en coefficient de 1,3 (voir figure 12).

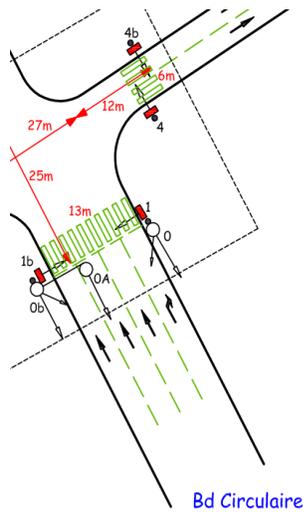


Figure 10 : Schéma du carrefour, source : AXIMUM

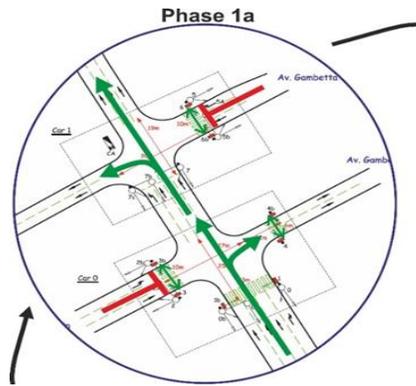


Figure 9 : Schéma des mouvements dans la phase 1a du carrefour 26913, source personnelle

Ville : Gourbevoie
Carrefour : 26913 - CFO

N°Ligne	Appellation	Phase	Mouvements	Coef f	Nbre voies	Trafics directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uvpd / h)	
						HPM	HPS	HPM	HPS
0	F00A-0b	1	TAD piétons	1,3	1,00	258	310	1958	1817
			Direct	1,0	3,00	1623	1414		
			TAG x	1,0					
2	F22A-2b	2	TAD x	1,0				746	931
			Direct	1,0	2	376	468		
			TAG x	1,1	1	336	421		

Figure 11 : Tableau de trafic d'entrée du carrefour 26913, source personnelle

Ainsi en appliquant les coefficients adaptés au trafic directionnel, j'obtiens un trafic d'entrée au feu F0 égal à 1958 uvpd/h ($1,3 \times 1 \times 258 + 1 \times 3 \times 1623 = 1958$).

Caractérisation de l'écoulement dynamique sur les carrefours à feux

Pour évaluer l'écoulement dynamique du trafic sur le boulevard Circulaire, les réserves de capacité et les longueurs de remontées de file sont deux données quantifiables pertinentes à utiliser.

- La réserve de capacité

La réserve de capacité est une donnée permettant de caractériser la circulation dans un carrefour. La réserve de capacité du carrefour est la différence entre l'offre de capacité Q_t du carrefour et la demande D de trafic sur le carrefour, rapportée à l'offre de capacité. La réserve de capacité est exprimée en pourcentage.

$$Rc = \frac{Q_t - D}{Q_t}$$

L'offre de capacité Q_t est une valeur théorique à calculer. Elle correspond au nombre de véhicules par voie qui peut s'écouler en 1 heure par ligne de feu pour un phasage donné. La demande Q_t est exprimée en uvp/h.

$$Q_t = Q_s \frac{T_v}{T_c}$$

Q_s représente le débit de saturation : c'est le débit maximal de véhicules admis par voie de circulation (Q_s en veh/h). Il caractérise l'écoulement des véhicules. La valeur théorique usuelle est de 1800 veh/h soit 1 véhicule toutes les 2s.

T_c : temps du cycle

T_v : temps de vert attribué à la voie

Avec toutes les données il est désormais possible de calculer la réserve de capacité des carrefours du boulevard Circulaire et de les interpréter :

- Si $R_c < 0$ alors $Q_t < D$. Cela signifie qu'à la fin du cycle tous les véhicules n'ont pas pu être dégagés de la voie.
- Si $R_c = 0$ alors $Q_t = D$. Cela signifie qu'à la fin du cycle les véhicules présents ont pu être dégagés de la voie, mais il ne reste pas de réserve.
- Si $R_c > 0$ alors $Q_t > D$. Cela signifie qu'à la fin du cycle les véhicules présents ont pu dégager de la voie et il reste de la réserve pour d'autres véhicules.

Sur le boulevard Circulaire, l'écoulement est jugé correct par le conseil départemental des Hauts-de-Seine à partir d'une réserve de capacité supérieure ou égale à 15%.

numéro du carrefour	réserve de capacité de la voie du boulevard Circulaire	
	HPM	HPS
26910	-5%	74%
26911	93%	100%
26912	-45%	-11%
26913	100%	100%
26914	93%	100%
62910	67%	64%
62911	75%	67%
62912	67%	54%
62913	39%	58%
62916	64%	49%
62917	20%	20%

Figure 12 : Tableau bilan des réserves de capacité des carrefours actuels, source personnelle

Le calcul des réserves de capacité des 11 carrefours existants ont permis de déceler les carrefours dont les réserves de capacité sur les voies du boulevard Circulaire ne sont pas acceptables, avec donc une réserve inférieure à 15% (carrefour 26910, carrefour 26912). Dans ces carrefours le travail d'optimisation portera sur une amélioration prioritaire de la circulation sur les voies du boulevard Circulaire.

Dans les carrefours avec de très bonnes réserves de capacité sur le boulevard Circulaire, il s'agira par la suite, de prioriser les autres voies des carrefours si elles comportent de faibles réserves de capacité. C'est notamment le cas pour le carrefour 26914 avec la rue Ségoffin qui a une réserve de capacité de 0% en heure de pointe du matin (voir dans la figure 14, la colonne des réserves de capacité).

Ville : Courbevoie
Carrefour : 26914

Calcul de capacité																						
N°Ligne	Appellation	Désignation des Voies	Phase	Mouvements	Coef f	Nbre voies	Trafics directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uvpd / h)		Trafic Entrée (uvpd / cycle)		Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée (uvpd / h)		Réserve de capacité (%)			
							HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	Jaune	R. Déga.	vert nécessaire HPM	vert donné HPM	vert nécessaire HPS	vert donné HPS	HPM	HPS	HPM	HPS
0	F1	Voie séparée Bd Circulaire	1	TAD x	1,0																	
				Direct	1,0	1,00	225	245	225	245	4	5	3 sec	4 sec	8 sec	38 sec	9 sec	38 sec	1086	1086	>100%	>100%
				TAG x	1,0																	
4	F2-2A-2b	Boulevard Circulaire	1	TAD x	1,0																	
				Direct	1,0	2	1460	1515	1689	1556	33	30	3 sec	4 sec	26 sec	38 sec	24 sec	38 sec	3257	3257	93%	>100%
				TAG séparé	1,2	1	191	34														
6	F8	Rue Ségoffin	2	TAD simple	1,1	0,5	113	39														
				Direct	1,0	0,5	76	14	200	57	4	1	3 sec	3 sec	7 sec	7 sec	7 sec	7 sec	200	200	0%	>100%
				TAG x	1,0																	
9	F5	Rue Régnault	3	TAD x	1,0																	
				Direct	1,0	0,5	30	37	70	114	1	2	3 sec	3 sec	2 sec	7 sec	4 sec	7 sec	200	200	>100%	75%
				TAG x	1,1	0,5	36	70														

Figure 13 : Tableau des réserves de capacité du carrefour 26914, source personnelle

- La longueur de remontée de file

La longueur de remontée de file L sur un cycle est un indicateur concret de l'état de l'écoulement. Pour la calculer on fait l'hypothèse qu'un véhicule a une longueur de 5 mètres et que les véhicules sont collés les uns aux autres. On en déduit la longueur de la file d'attente sur une voie sur un cycle en multipliant par 5 le trafic d'entrée par voie par seconde par le temps de rouge de la voie pendant lequel les véhicules arrivants vont prolonger la longueur de la file d'attente.

$$L = \text{Longueur d'un véhicule} \times \text{Temps de rouge} \times \frac{\text{Trafic d'entrée}}{\text{Nbre de voies} \times 3600}$$

Dans ce carrefour on obtient en heure de pointe du matin pour la voie du boulevard Circulaire avec le feu F2 une longueur de file d'attente de 22 mètres.

$$L = 5 \times (70 - 38 - 3) \times \frac{1689}{3 \times 3600}$$

$$L = 22 \text{ mètres}$$

Ville : Courbevoie
Carrefour : 26914

Calcul de capacité										Cycles		Temps (secondes)										Longueur file d'attente (m)	
N°Ligne	Appellation	Désignation des Voies	Phase	Mouvements	Coeff	Nbre voies	Trafics directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uvpd / h)		Trafic Entrée (uvpd / cycle)		Jaune	R. Dégag.	vert nécessaire HPM	vert donné HPM	vert nécessaire HPS	vert donné HPS	moyenne HPM	moyenne HPS			
							HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS											
0	F1	Voie séparée Bd Circulaire	1	TAD x	1,0																		
				Direct	1,0	1,00	225	245	225	245	4	5	3 sec	4 sec	8 sec	38 sec	9 sec	38 sec	9	10			
				TAG x	1,0																		
4	F2-2A-2b	Boulevard Circulaire	1	TAD x	1,0																		
				Direct	1,0	2	1460	1515	1689	1556	33	30	3 sec	4 sec	26 sec	38 sec	24 sec	38 sec	22	21			
				TAG séparé	1,2	1	191	34															
6	F8	Rue Ségoffin	2	TAD simple	1,1	0,5	113	39															
				Direct	1,0	0,5	76	14	200	57	4	1	3 sec	3 sec	7 sec	7 sec	7 sec	7 sec	16	4			
				TAG x	1,0																		
9	F5	Rue Régnault	3	TAD x	1,0																		
				Direct	1,0	0,5	30	37	70	114	1	2	3 sec	3 sec	2 sec	7 sec	4 sec	7 sec	6	9			
				TAG x	1,1	0,5	36	70															

Figure 14 : Tableau des longueurs de file d'attente du carrefour 26914, source personnelle

Cette longueur de trafic est à considérer en la comparant à l'architecture spatiale de chaque voie. Elle permet de savoir si le trafic remonte même sur une autre voie ou empêche le passage d'autres véhicules sur des voies qui se croisent.

IV. Critique de l'analyse

1. La sous-traitance

L'analyse de l'exploitation repose sur les données de trafic recueillies. Ainsi des données peu fiables impliquent une analyse discutable. C'est pourquoi un point d'attention tout particulier est à porter à la qualité des mesures de trafic.

Certes au sein de l'agence un service de comptages de trafic existe. Mais le processus de comptage n'est pas réalisé uniquement en interne. C'est-à-dire que Technologies Nouvelles fait appel à des sous-traitants pour poser les caméras de comptages et ne récupère que les enregistrements vidéo des mesures.

Au cours de certaines études, les résultats avec lesquels les chargés d'études et moi-même devions travailler semblaient aberrants. En effet, la qualité des mesures effectuées par le sous-traitant n'est pas garantie. Des erreurs de mesures peuvent provenir du matériel utilisé, d'enregistrement sur un mauvais créneau horaire ou à une mauvaise localisation. Cela pose des problèmes, car des mesures peuvent être inutilisables ou même peuvent avoir été trafiquées par le sous-traitant sans que nous ayons moyen de le vérifier.

Aussi, en cas de surcharge de travail au sein de l'agence, le traitement des enregistrements vidéo est sous-traité par une entreprise via une plateforme en ligne. Ici aussi, la méthode de dépouillements des vidéos est floue, est-ce un être-humain qui traite les vidéos ou alors un algorithme ?

Ce manque d'indépendance dans le recueil des données de trafic est pénalisant pour l'entreprise, surtout pour une entreprise spécialisée dans les analyses de trafic. Un investissement en septembre dans l'achat de nombreuses caméras va permettre à Technologies Nouvelles de réaliser plus de mesure par elle-même et ainsi améliorer la fiabilité de ces données avec lesquelles elle travaille.

2. La quantité de mesure

Faire réaliser des comptages représente un coût pour les communes. C'est pourquoi nos clients commandent la durée minimum de comptage dans un souci d'économie. Ainsi, pour l'étude d'un quartier, les comptages sont souvent réalisés sur une seule journée, à l'heure de pointe du matin et à l'heure de pointe du soir. Toutes les analyses se baseront par la suite sur ces données de trafic.

Une seule plage de mesure a pour inconvénient l'impossibilité de détecter une donnée aberrante.

En effet, plusieurs causes peuvent amener à obtenir des résultats anormaux :

- Problèmes matériels des instruments de mesures
- Déviation due à un accident en amont de la zone d'étude
- Événement exceptionnel (ex : match de football qui va augmenter considérablement la circulation pendant 1 heure)

Les données de trafic mesurées ne correspondent alors pas du tout au trafic observé les autres jours de la semaine aux mêmes heures.

La solution pour éliminer ce problème de quantité serait évidemment de réaliser plus de mesures, mais le coût de cela est dissuasif. L'option possible est alors de comparer les données mesurées avec des données des années précédentes si l'on en possède. Si une seule mesure est aberrante, il est possible de la redresser avec celles des autres années. Cependant si toutes les mesures sont absurdes il faudra songer à refaire toutes les mesures sur le terrain.

Pour redresser les mesures, j'ai calculé le pourcentage affecté à une voie en fonction du trafic total.

Données (nbre)	Voie F1	Voie F2	Voie F3	TOTAL
2017	608	112	690	1410
2018	680	150	680	1510
2019	612	200	676	1488

Figure 15 : Tableau de données de comptage du carrefour 26911, source personnelle

Données (pourcentage)	Voie F1	Voie F2	Voie F3
2017	43	8	49
2018	45	10	45
2019	41	13	46
Moyenne	43	10.3	46.6

Figure 16 : Tableau bilan des comptages du carrefour 26911, source personnelle

Ainsi pour les données de 2020 sur chaque voie, il faut vérifier si elles correspondent au pourcentage moyen calculé. Si ce n'est pas le cas, il faut les redresser en appliquant le pourcentage dessus.

La quantité de mesures étant limitée, le choix des créneaux horaires est donc primordial. Les créneaux horaires pertinents sont ceux où le trafic est critique. Dans l'étude des carrefours à feux, la programmation est réalisée à partir du flux maximal mesuré dans la journée. Le trafic maximal est donc le facteur limitant.

Le boulevard Circulaire fait la liaison entre Paris et le quartier des affaires de La Défense. Le trafic correspond donc au type « domicile-bureau » dans un sens le matin et dans l'autre le soir. La fréquentation du boulevard Circulaire sera maximale en semaine à l'heure du début du travail le matin entre 7h30 et 9h30 et à l'heure de fin de travail le soir entre 17h30 et 19h30. Ces horaires sont appelés les heures de pointe.

Sur chaque zone d'étude, il faut analyser le type de tissu urbain présent pour déterminer les heures de pointe de trafic. Par exemple, une voie menant à un centre commercial aura des heures de pointe très différentes du Boulevard Circulaire. En effet, le trafic maximum sera probablement relevé le samedi après-midi.

3. L'influence du client

Dans le projet ITS Ready du boulevard Circulaire, le client avec lequel j'ai échangé est un responsable de l'Unité Siter de Gestion du trafic de l'Etablissement Public Interdépartemental 78/92. Il donne des indications sur le travail à effectuer et répond aux questions en cas de besoin d'informations supplémentaires.

L'analyse de l'infrastructure et de l'exploitation est à rendre à l'élu. Une fois le rapport terminé, je l'ai envoyé à l'élu qui l'a lu et fait un retour. J'ai dû prendre en considération ces avis et remarques pour modifier le rapport. Il s'agissait de détailler certaines parties ou encore de mieux expliquer certains points.

Il lui arrive également de remettre en question certaines hypothèses et certains choix techniques choisis. Ce fut notamment le cas dans mon travail concernant l'hypothèse du débit de saturation sur le boulevard Circulaire et les coefficients des mouvements directionnels.

Concernant le débit de saturation, je l'avais initialement estimé à 1800 véhicules/heure (un véhicule toutes les 2 secondes environ), car ce chiffre est présent dans les guides de carrefours officiels. [3]. L'élu a souhaité que je l'augmente à 2000 véhicules/heure, car à La Défense « les conducteurs sont plus réactifs ». Même si une étude prouverait que le débit de saturation à la Défense peut parfois atteindre 2000 véhicules/heure, c'est un choix justifié de prendre dans les calculs le chiffre le plus astreignant pour mieux programmer les feux. Il en va de même pour les études d'infrastructures : pour la construction d'un pont, l'ingénieur dans son dimensionnement va utiliser la charge maximale que le pont sera amené à soutenir.

J'ai également revu à la baisse les coefficients de gêne des mouvements directionnels appliqués.

- De 1,3 à 1,1 pour les mouvements de tourne à droite avec passage piéton
- De 1,2 à 1 pour les mouvements de tourne-à-gauche complexe

Ainsi le trafic de véhicule est moins important pour la suite des calculs de réserve de capacité.

Certes, ces deux remaniements ne vont pas modifier du tout au tout l'étude, cependant les résultats des réserves de capacité seront meilleurs que prévu. L'objectif sous-jacent de l'élu est probablement de rendre un rapport avec des résultats montrant que la circulation sur le boulevard Circulaire est correctement gérée avec l'infrastructure et l'exploitation déjà en place.

V.L'optimisation du trafic des véhicules

1. Définition de l'optimisation du trafic

L'optimisation du trafic des véhicules a pour objectif d'écouler un maximum de flux de véhicules en un temps donné. Une comparaison parlante est l'hydrologie : Faire écouler un débit maximal d'eau à travers les canalisations. Le débit d'eau est ici le trafic de véhicules et les canalisations représentent les voies de circulation. Enfin, les valves qu'on ouvre et qu'on ferme tiennent la place respectivement d'un feu vert et d'un feu rouge.

La réponse apportée par Technologies nouvelles pour optimiser le trafic des véhicules est restreinte à la programmation des carrefours à feux. Un élargissement de la voirie ou des nouveaux plans de circulation ne rentrent pas dans le cadre du projet ITS Ready.

De nombreux outils de programmation des carrefours à feux ont été inventés depuis les années 50 dans un contexte d'essor de la promotion des voitures. J'ai en utilisé quelques-uns pour ce projet que je vais présenter.

Cependant l'implantation d'un carrefour à feux ou son étude ne permet pas toujours d'obtenir une solution miracle « une optimisation totale » qui supprimerait toutes les congestions existantes, et cela sur toutes les voies. Le trafic de certaines voies sera amélioré au dépend d'autres voies. En effet, un carrefour à feux est présent généralement dans des situations complexes avec un trafic important. A fortiori lorsqu'une étude de régulation du trafic est requise.

En tant que chargée d'étude, j'ai été amenée à privilégier les usagers du boulevard Circulaire plutôt que les autres voies des carrefours dans les études. Ce choix a été formulé par l'élue selon la stratégie territoriale du département.

2. L'optimisation du boulevard Circulaire

L'optimisation des carrefours sur le boulevard Circulaire est de divers types :

-Sur certains carrefours, il s'agit uniquement de mieux répartir les temps de vert entre les diverses voies, voire de modifier la durée du cycle du carrefour.

-Sur d'autres carrefours, il s'agit de mettre en place des nouveaux outils avec des capteurs ainsi qu'une nouvelle programmation adaptée.

-Sur un carrefour, une nouvelle voie va être implantée, ce qui nécessite de réaliser le phasage du cycle et d'imaginer entièrement la meilleure optimisation.

Toutes les programmations de feux sont réalisées en suivant l'instruction interministérielle sur la signalisation routière qui établit les réglementations. On se réfère tout particulièrement à la 6^{ème} partie du guide « Feux de circulation permanents » et à la 3^{ème} partie « Intersections et régimes de priorité ».

Le résultat final de chaque étude de régulation aboutit à une programmation des feux qui est transmise de deux manières différentes :

- Sous forme de schéma de phases

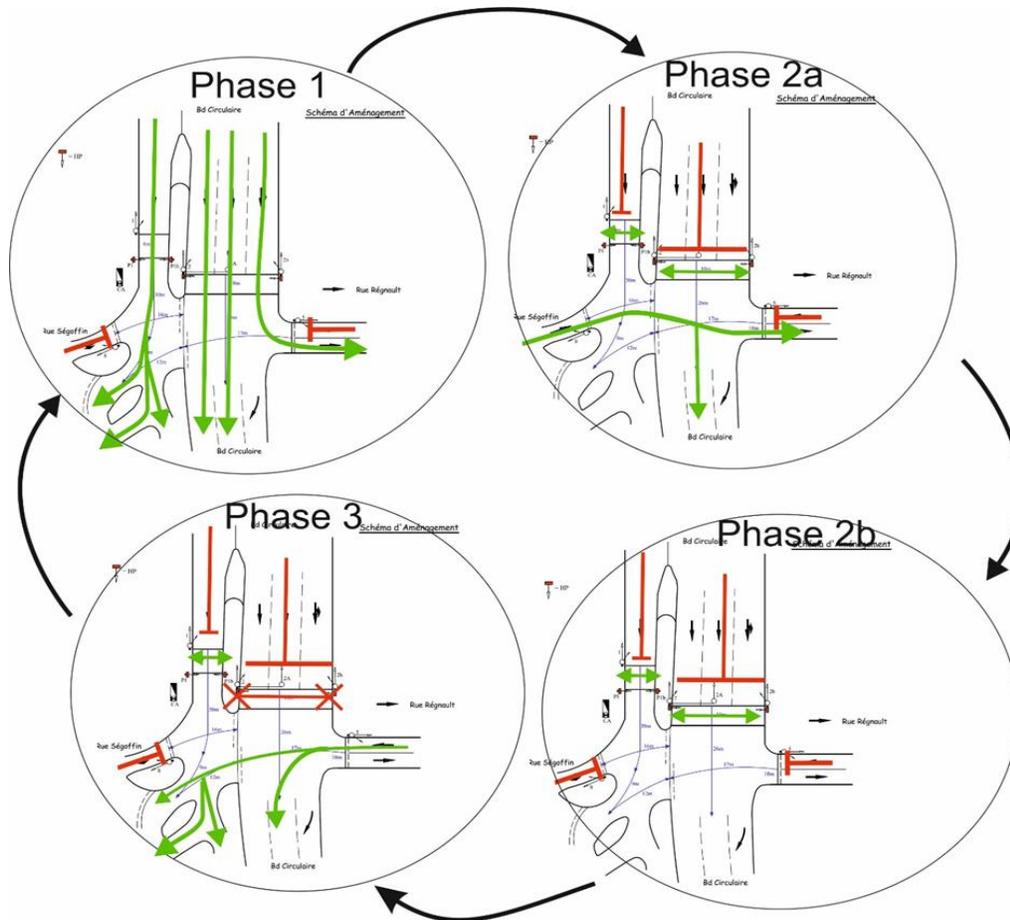


Figure 17 : Schéma de phasage du carrefour 26914, source personnelle

Dans cette représentation spatiale, le cycle du carrefour à feux est séparé en plusieurs phases de circulation qui se font suite. Cette représentation permet une bonne compréhension des mouvements du carrefour et permet de repérer facilement les mouvements antagonistes. Une flèche verte signifie que le feu sur la voie est au vert et que les véhicules vont pouvoir se déplacer. Une flèche rouge symbolise l'interdiction des mouvements.

- Avec un diagramme

Cette représentation permet d'obtenir le détail de la programmation des feux. En effet, grâce au diagramme l'état de chaque ligne de feux à chaque seconde du cycle est connu. Les éventuelles micro-régulation appliquées sont aussi ajoutées dans le diagramme.



Figure 18 : Diagramme des feux du carrefour 26914, source personnelle

Ces 2 représentations sont complémentaires pour une bonne compréhension de la programmation.

3. Micro-régulation

- Les structures

La micro-régulation est une première technique pour optimiser le trafic notamment lorsque le niveau de la circulation n'est pas toujours le même. Il varie entre les heures de la journée, les jours de la semaine et des événements particuliers générant un trafic exceptionnel (concert, match de football). Il varie même selon le comportement des carrefours voisins.

Sur le boulevard circulaire, j'ai créé plusieurs structures (= programmation des carrefours à feux) en fonction des heures de la journée et du flux de trafic moyen observé aux différentes heures. La programmation informatique sous forme d'algorithme des différentes structures est ensuite installée dans le boîtier du contrôleur à feu du carrefour. Ici une première structure est programmée le matin et une deuxième structure pour le reste de la journée.

Commutations	00h00 - 12h00	12h00 - 24h00
Lundi	Str1	Str2
Mardi	Str1	Str2
Mercredi	Str1	Str2
Jeudi	Str1	Str2
Vendredi	Str1	Str2
Samedi	Str1	Str2
Dimanche	Str1	Str2

Figure 19 : Tableau des structures du carrefour 26914, source personnelle

- Les capteurs

Pour effectuer une régulation de manière locale, les capteurs vont détecter la présence d'un piéton ou d'un véhicule et envoyer un message au contrôleur à feu. L'objectif est de donner le feu au vert à un des utilisateurs

Pour les piétons, les capteurs utilisés sont des centres d'appel piétons (CAP) disposés sur les mâts des feux en amont du passage piéton. Le piéton appuie dessus pour demander le passage du feu au piéton du rouge au vert. Pour les véhicules, les capteurs le plus couramment utilisés sont les boucles magnétiques en surface de la chaussée, qui vont détecter leur passage.

- Technique du point de repos

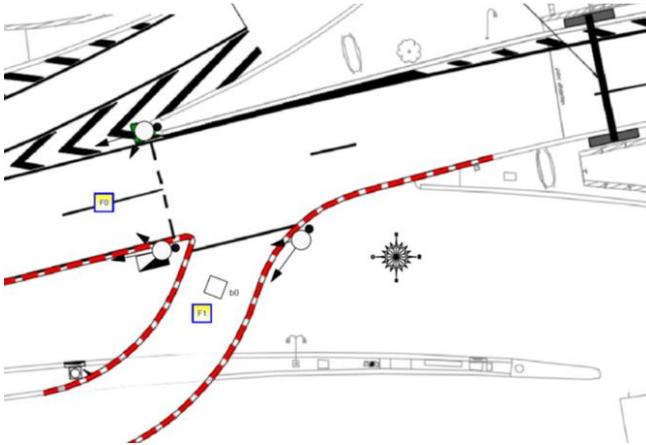


Figure 20 : Schéma du carrefour 62916, source personnelle

Le carrefour 62916 du boulevard Circulaire comporte 2 voies :

- Le boulevard circulaire avec le feu F0
- La sortie de parking avec le feu F1

Le boulevard Circulaire, comportant un flux de véhicules beaucoup plus important que la sortie de parking, sera donc privilégié. Pour gérer ce carrefour, des feux sont requis car sinon il serait très difficile pour les véhicules sortant du parking de s'insérer sur le boulevard Circulaire.

Une programmation cyclique permettrait aux véhicules sortant du Parking de s'insérer, mais il aurait pour inconvénient majeur d'arrêter le trafic du boulevard Circulaire à tous les cycles alors qu'une sortie d'un véhicule du parking est ponctuelle.

La solution adéquate est donc de faire passer le feu de la sortie de Parking au vert de manière ponctuelle lorsqu'une voiture sort du parking. Une boucle magnétique (nommée bo sur le schéma) est donc placée sur la voie de sortie de parking.

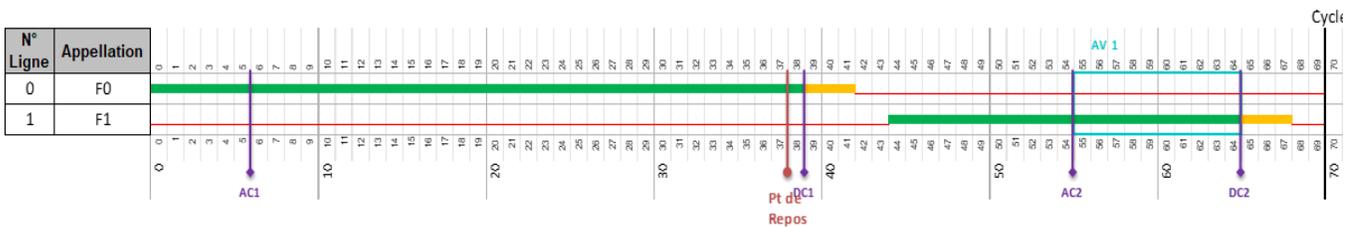


Figure 21 : Diagramme du carrefour 62916, source personnelle

Ainsi on va placer un point de repos sur la fin du temps de vert du feu de boulevard Circulaire à la seconde 37. Les feux F0 et F1 vont donc rester bloqués sur l'état de la seconde 37. Ainsi le feu F0 va rester vert et le feu F1 va rester rouge.

Lorsqu'un véhicule va passer sur la boucle, cette dernière va transmettre un signal au contrôleur à feux lui indiquant de quitter le point de repos et de continuer le cycle. Ainsi le feu de F0 va passer au rouge et à la seconde 43 (soit seulement 6 secondes après que le véhicule ait franchie la boucle) le feu F1 sera vert et les véhicules pourront sortir du parking. Le cycle va recommencer et va de nouveau se bloquer à la seconde 37 jusqu'à la prochaine transmission de signal.

Action	Plage	Condition
Point Repos	37	Quitter le point de repos si présence d'un véhicule sur la sortie parking : Mem_b0

Figure 22 : Programmation à insérer dans le contrôleur du carrefour 62916, source personnelle

Pour le centre d'appel piéton, c'est exactement le même principe qui est utilisé. Le choix de l'implantation du point de repos ne résulte pas du hasard. L'objectif est d'avoir le temps le plus court possible entre l'instant où le capteur détecte une présence et le changement de couleur du feu. En particulier pour les piétons, si l'attente entre l'appel avec le bouton poussoir et le changement d'état du feu est trop long, le piéton risque de perdre patience et de ne pas croire dans le fonctionnement du bouton. Il va donc traverser la route même si le feu est vert pour les voitures.

- Escamotage

L'escamotage permet de supprimer une ou plusieurs lignes de feux pendant un intervalle donné.

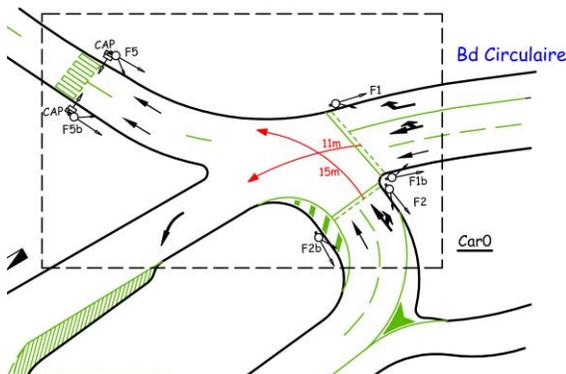


Figure 23 : Schéma du carrefour 62912 avec la CAP, source : AXIMUM

Un seul passage piéton est présent sur le carrefour 62912, le P5. Ce passage piéton est équipé d'un feu CAP. Si le piéton appuie sur le CAP le cycle se déroule normalement. À l'inverse si aucun appel n'est déclenché, alors le temps de vert du feu P5 entre la seconde 52 et la seconde 59 est dit, dans le jargon technique, escamoté en 5 (ESC5), c'est-à-dire supprimé (voir figure 25). L'escamotage d'une seule ligne de feux permet de ne pas perturber la durée du cycle, ce qui est nécessaire quand les carrefours d'un même axe sont coordonnés (voir la partie suivante).



Figure 24 : Diagramme du carrefour 62912, source personnelle

- Technique du glissement

Le glissement permet de distribuer le vert d'un feu à un autre feu lorsqu'une cela est possible, notamment lorsqu'aucun véhicule n'est présent sur une des voies. J'ai ajouté cette technique de glissement dans le carrefour 62913 pour privilégier le trafic du boulevard circulaire sur les voies comportant les feux F4 et F2 (voir figure 26).

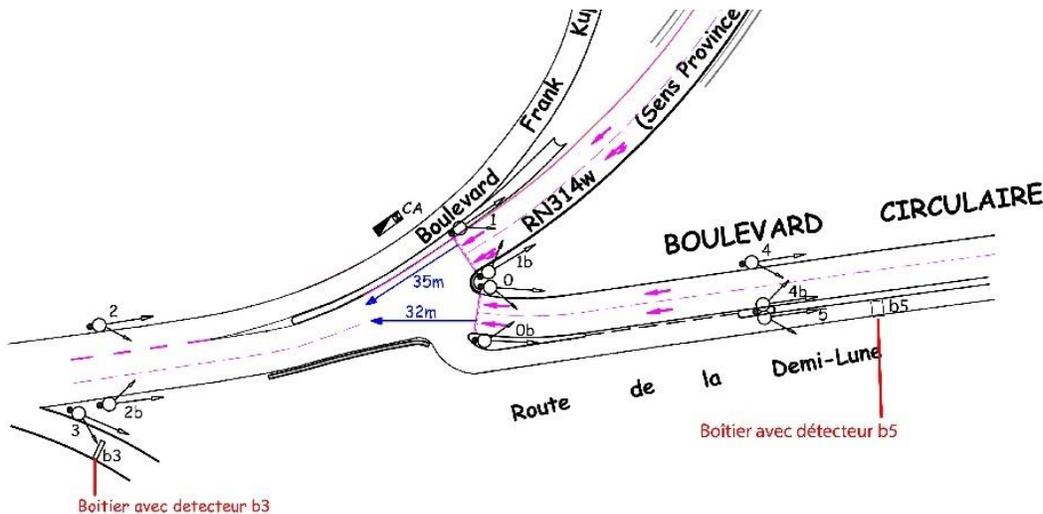


Figure 25 : Nouveau schéma du carrefour 62913 avec l'ajout des boucles, source personnelle

Tout d'abord il a fallu prévoir l'installation de boucles sur les voies antagonistes du boulevard Circulaire de F2 et F4, respectivement la voie avec le feu F3 et la voie avec le feu F5.

Sachant que F4 et F5 sont antagonistes alors l'objectif est de donner une portion du temps de vert de F5 à F4. Ainsi si la boucle b5 ne détecte aucun véhicule alors un signal est envoyé au contrôleur du feu qui va supprimer le temps de vert de F5 pour le transmettre à F4. Sur le diagramme le glissement est symbolisé par 2 flèches (une pour le début et une pour la fin). Le temps de vert supplémentaire accordé à F4 est représenté par un crochet bleu sur le diagramme. Pour le feu F4 le temps supplémentaire de vert est compris entre la 31^{ème} seconde et la 45^{ème} seconde, soit 15 secondes supplémentaires.

De même F3 et F2 sont antagonistes et l'objectif est d'ajouter un temps de vert supplémentaire à F2. Si la boucle F3 ne détecte pas de véhicule alors le temps de vert de F3 est transmis à F2.

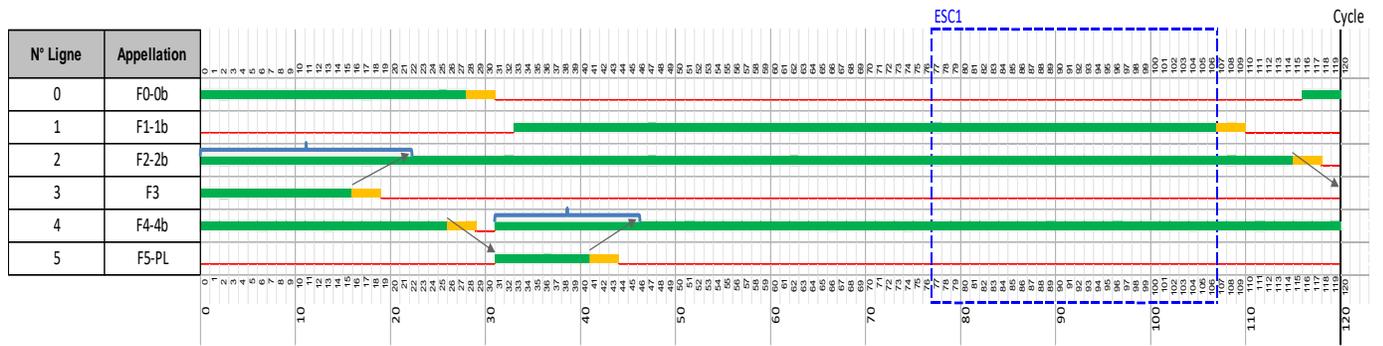


Figure 26 : Nouveau diagramme du carrefour 62913 avec l'ajout de glissement, source personnelle

Glissement horizontal	Flèche			
	de Ligne	instant	Vers ligne	instant
1	4	16	3	22
2	3	115	4	120
3	6	41	5	46
4	5	26	6	31

Figure 27 : Tableau de création des glissements, source personnelle

VI. Un boulevard pour les modes doux

1. Les pistes cyclables

a. COVID 19 : Une redéfinition des objectifs

Pour faire face à la pandémie du COVID 19, les français ont été confinés du 17 mars au 11 mai 2020. Dans ce contexte crise sanitaire à la fin du confinement, afin de désengorger les transports en commun notamment le RER A et la ligne 1 du métro menant à La Défense des pistes cyclables provisoires ont été implantées sur une portion du boulevard Circulaire depuis le 11 mai.

Le vélo permet en effet de favoriser le respect des mesures de distanciation sociale, ce qui est quasiment impossible dans des transports en commun bondés et est une alternative à un report massif vers la voiture individuelle.

De plus, cette crise est l'occasion d'accélérer les transformations inéluctables de la ville et de tester des innovations sur ce boulevard, notamment l'insertion des 2 roues.

Cette piste cyclable bidirectionnelle est implantée sur la voie de gauche du boulevard Circulaire entre le carrefour « Louis Blanc » et le carrefour « Ségofin ». Elle est délimitée par des blocs GBA en béton afin d'assurer une séparation entre les cyclistes et les automobilistes.

b. Impact sur le Projet ITS Ready

Cette piste cyclable a eu un impact significatif sur le projet ITS Ready et tout particulièrement sur l'analyse de l'écoulement du trafic avec les résultats des réserves de capacité et des longueurs de files d'attente.

La suppression d'une voie pour les automobilistes en faveur des cyclistes a entraîné une chute des réserves de capacité sur les voies affectées.

Sans les pistes COVID :

Avec les pistes COVID :

Ville : Courbevoie
Carrefour : 26910

N°Ligne	Appellation	Phase	Mouvements	Coeff	Nbre voies	Trafic directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uwpd / cycle)		Temps (secondes)		Capacité théorique par entrée (uwpd / h)		Réserve de capacité (%)		Longueur file d'attente (m)						
						HPM	HPS	HPM	HPS	R. Dégaige	vert nécessaire HPM	vert donné HPM	vert nécessaire HPS	vert donné HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	maximum HPM	maximum HPS	maximum HPM	maximum HPS
						HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM
2	F2-2A-2b	Bd Circulaire	TAD simple Direct	1.1 1.0	1.00 2.00	200 2039	153 1066	44 24	1234	4.96c 3.96c	25.9c 14.9c	25.9c 14.9c	2143 2143	2143	-5%	74%	44	69	24	42		
4	F3-3b	Rue Louis Blanc	TAD simple TAG x	1.1 1.0	2 1.0	685 448		15 10	493	4.96c 3.96c	13.9c 9.9c	14.9c 9.9c	800	800	6%	62%	25	44	16	32		
6	F6-6b	Voie basse	TAD x TAG x	1.0 1.0	1.0 1.0	538 10	538 10	10 0	611	2.96c 2.96c	9.9c 0.9c	11.9c 16.9c	686	457	27%	12%	19	35	21	39		
7	F7_Chan tier	Sortie chantier	TAD x TAG x	1.0 1.0	1.0 1.0	10 10	10 10	0 0	10	2.96c 2.96c	0.9c 16.9c	0.9c 16.9c	457	457	>100%	>100%	1	4	1	4		

Figure 30 : Tableau des réserves de capacité du carrefour 26913 sans les pistes COVID, source personnelle

Ville : Courbevoie
Carrefour : 26910

N°Ligne	Appellation	Phase	Mouvements	Coeff	Nbre voies	Trafic directionnels (véhicules / h)		Trafic Entrée (uwpd / cycle)		Temps (secondes)		Capacité théorique par entrée (uwpd / h)		Réserve de capacité (%)		Longueur file d'attente (m)						
						HPM	HPS	HPM	HPS	R. Dégaige	vert nécessaire HPM	vert donné HPM	vert nécessaire HPS	vert donné HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	maximum HPM	maximum HPS	maximum HPM	maximum HPS
						HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM	HPS	HPM
2	F2-2A-2b	Bd Circulaire	TAD simple Direct	1.1 1.0	1.00 2.00	200 2039	153 1066	44 24	1234	4.96c 3.96c	25.9c 14.9c	25.9c 14.9c	1429	1429	-37%	16%	65	96	36	58		
4	F3-3b	Rue Louis Blanc	TAD simple TAG x	1.1 1.0	2 1.0	685 448		15 10	493	4.96c 3.96c	13.9c 9.9c	14.9c 9.9c	800	800	6%	62%	25	44	16	32		
6	F6-6b	Voie basse	TAD x TAG x	1.0 1.0	1.0 1.0	538 10	538 10	10 0	611	2.96c 2.96c	9.9c 0.9c	11.9c 16.9c	686	457	27%	12%	19	35	21	39		
7	F7_Chan tier	Sortie chantier	TAD x TAG x	1.0 1.0	1.0 1.0	10 10	10 10	0 0	10	2.96c 2.96c	0.9c 16.9c	0.9c 16.9c	457	457	>100%	>100%	1	4	1	4		

Figure 28 : Tableau des réserves de capacité du carrefour 26913 avec les pistes COVID, source personnelle

Dans le carrefour 269120, sans les pistes cyclables COVID la réserve de capacité sur le Boulevard Circulaire est de 5% en heure de pointe du matin et de 74 % en heure de pointe du soir.

Avec les pistes cyclables COVID, une seule voie permettant le mouvement direct est disponible, ainsi la réserve de capacité sur le Boulevard Circulaire passe à -37 % en heure de pointe du matin et à 16 % en heure de pointe du soir.

Pour tenir compte de la différence de vitesse entre les véhicules et les vélos, des feux vélos (R13c) ont été également ajoutés dans les carrefours existants et ont été inséré avec la programmation de feux déjà existante. Pour information, on considère qu'un véhicule roule à une vitesse moyenne de 10 m/s et un vélo à 5 m/s.

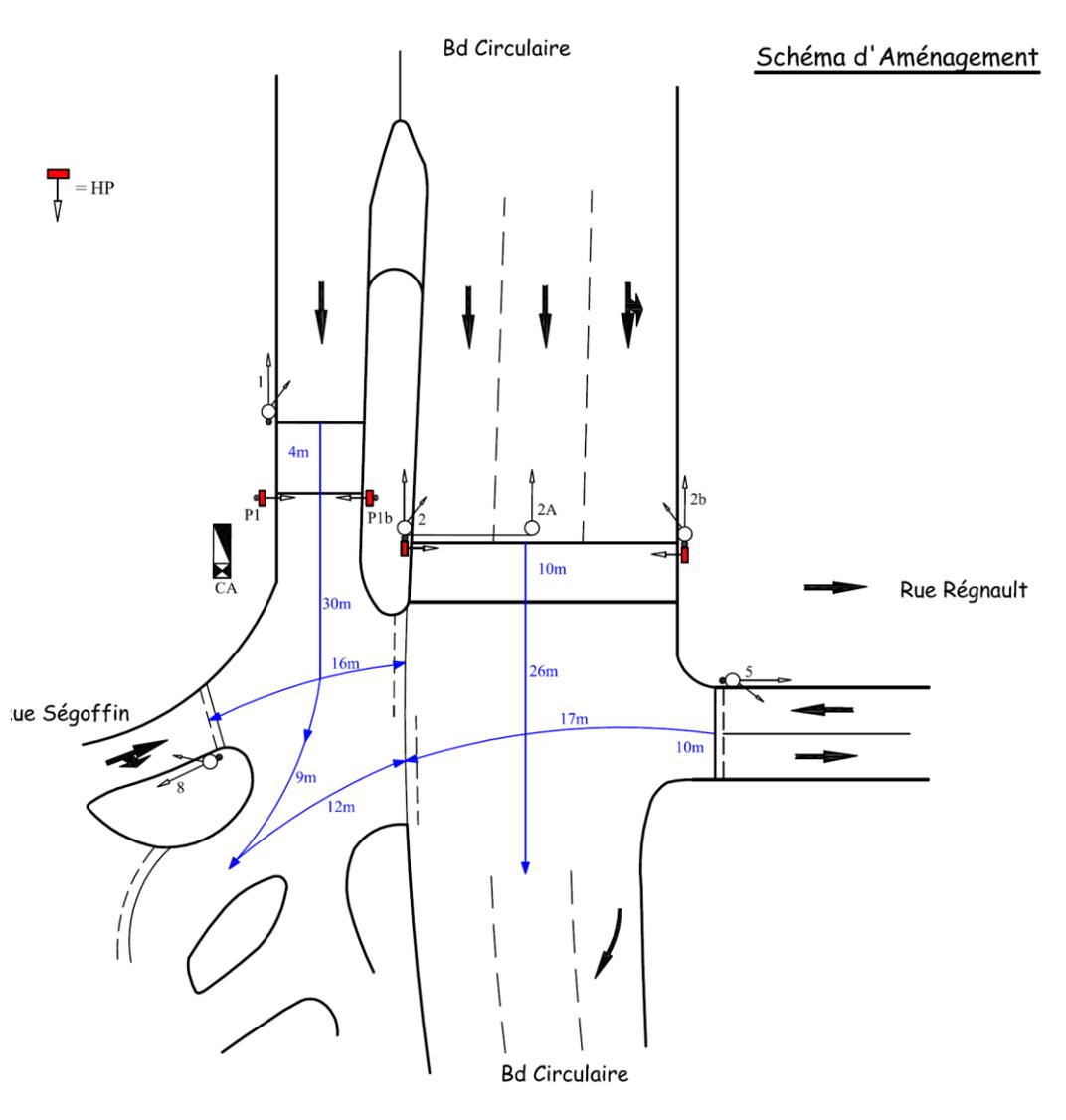
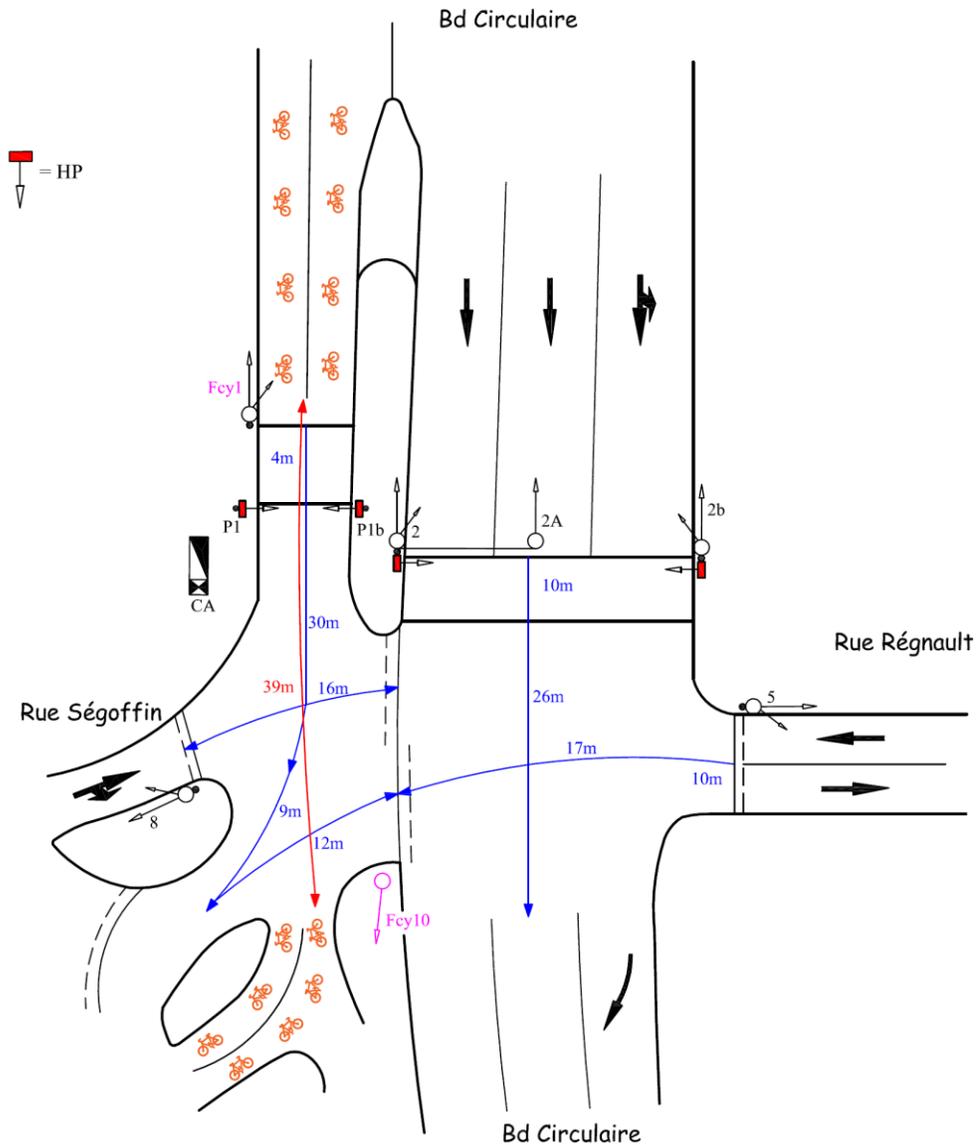


Figure 29 : Schéma du carrefour 26914 sans les pistes COVID, source : AXIMUM



HP = Haut parleur piéton mal voyant et télécommande + bouton

Figure 30 : Schéma du carrefour 26914 avec les pistes COVID, source : AXIMUM

c. Analyse de la piste cyclable (continuité, jalonnement, pratique)

Les cyclistes emprunteront la piste cyclable seulement si elle répond à des critères qualitatifs. À terme la piste cyclable temporaire pourra alors être pérennisée si un usage régulier des pistes est observé.

Ces pistes cyclables temporaires sont apparues promptement sur le boulevard Circulaire. Les installations ont été réalisées avec un délai de réflexion très court concernant l'implantation

optimale, ainsi quelques dysfonctionnements ont été notifiés. Comme expliqué au-dessus, l'implantation des pistes cyclables est à considérer comme une expérimentation avec par nature des points d'amélioration à apporter par la suite.

L'évaluation d'une piste cyclable peut être réalisée dans un premier temps avec des éléments quantitatifs comme la largeur des voies, la signalisation verticale et horizontale, le type de délimitation entre la chaussée et la piste.

Cependant cette analyse quantitative ne suffit pas pour évaluer la qualité de la piste cyclable : c'est le ressenti, le confort de l'utilisateur, qui permet de juger de la qualité de la piste cyclable.

Il est nécessaire de prendre en compte le contexte. Ici, le vélo est proposé comme alternative au métro ou au RER. De ce fait, les potentiels usagers de cette piste cyclable sont des novices qui habituellement utilisent les transports en commun. Ils doivent être convaincus de la qualité de la piste en étant assurés d'être en sécurité et de rouler confortablement. Sinon ils ne franchiront pas le pas et ils continueront uniquement à se déplacer en transport en commun.

Pour mesurer le confort, rien de tel que de se mettre à la place de l'utilisateur étudié, ici le cycliste. J'ai donc arpenté la nouvelle piste cyclable depuis le pont de Neuilly jusqu'à la Défense. Le confort sur un itinéraire donné est amené par une lisibilité claire du trajet, un sentiment de sécurité et la continuité de la piste cyclable. Cette liste n'est pas exhaustive, d'autres critères peuvent rentrer en compte de l'évaluation du confort. C'est donc par l'aménagement urbain que le confort de la piste est créé.

Sur le boulevard Circulaire, la sécurité des cyclistes vis-à-vis des véhicules est assurée par une séparation à l'aide de blocs GBA tout le long du boulevard entre la chaussée et la piste cyclable. Cependant, au niveau du Novotel, les vélos et les voitures utilisent la même voie. Les voitures doivent en effet utiliser cette voie pour accéder à l'hôtel. Cette séparation n'est d'ailleurs pas obligatoire. Dans le cadre de l'implantation des pistes cyclables temporaires, le CEREMA a animé plusieurs visioconférences à destination des communes afin de les guider dans les implantations et notamment sur la question de la séparation des pistes cyclables et de la chaussée. [4]

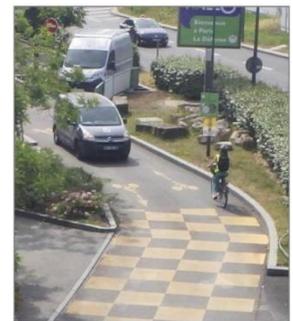


Figure 31 : photo de l'allée devant le Novotel, source personnelle

La continuité de la piste cyclable, c'est-à-dire la capacité pour le cycliste d'aller d'un point A à un point B tout en restant sur la piste cyclable, est parfois gênée. L'entrée de la piste cyclable est parfois obstruée (figure 35). Dans cet exemple, il suffirait d'enlever un bloc GBA. De plus, localement, des voitures sont garées sur la piste cyclable, ce qui oblige à lever le vélo au-dessus des blocs GBA pour avancer de quelques mètres sur la chaussée puis retourner sur la piste cyclable. Ici, la cause n'est pas l'aménagement urbain, mais des automobilistes qui ne respectent pas les règles.



Figure 32 : photo de l'entrée d'une piste cyclable, source personnelle

Concernant la lisibilité, un marquage au sol jaune avec un vélo à doubles chevrons et des panneaux « voie réservée aux vélos » indiquent le cheminement que doivent suivre les cyclistes. Quelques flèches blanches au sol utilisées avant l'implantation des pistes cyclables n'ont pas été effacées et peuvent générer de la confusion (voir figure 35)



Figure 33 : Photo de signalisation incohérente sur les pistes cyclables, source personnelle

Ainsi une analyse quantitative et une évaluation du confort permettent de dire que l'aménagement de cette piste cyclable est correct avec cependant quelques points d'améliorations à effectuer localement. Des données sur les chiffres de fréquentation de cette piste cyclable seraient un indicateur pertinent pour évaluer la qualité de la piste cyclable.

2. Piétons : Jalonnement en sécurité

a. Création de nouveaux carrefours à feux

Dans le cadre de la création d'un boulevard Circulaire plus urbain dans sa partie est, l'ajout d'un carrefour à feux supplémentaire est proposé par Paris La Défense entre le pont de Neuilly et le premier carrefour du boulevard Circulaire, le carrefour Louis Blanc.

L'implantation d'un nouveau carrefour est jugée nécessaire pour faciliter les traversées des piétons et des cyclistes. Deux propositions ont déjà été envisagées par un bureau d'étude et Technologies Nouvelles doit les comparer afin de déterminer laquelle garantit une circulation optimale du flux des véhicules sur le boulevard Circulaire et également assure la pleine sécurité de tous les usagers. Les deux propositions diffèrent seulement au niveau de la localisation exacte des feux. [annexe D] Il s'agit d'une étude classique où à l'aide de données de trafic, un cycle de feu a été proposé et où les réserves de capacité et les longueurs de files d'attente ont été calculées.

Ce qui pose problème dans cette réponse où uniquement une programmation de carrefour à feux et son analyse sont demandées est la question du jalonnement des piétons. En effet, aucun aménagement urbain n'est prévu en supplément de l'installation des carrefours à feux. Or aucun trottoir ou îlot d'attente n'est actuellement présent.

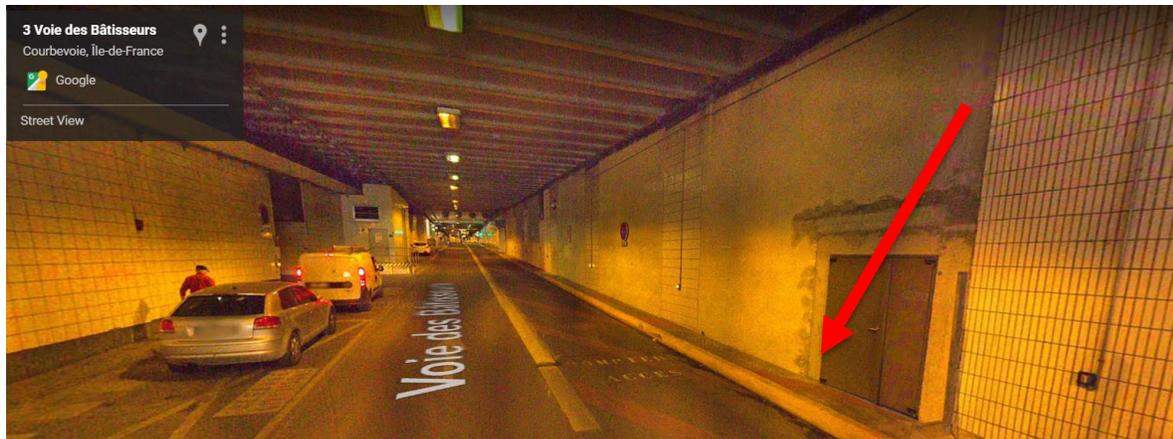


Figure 34 : Image de la voie des Bâtisseurs, source : Google Maps

Les piétons sont censés emprunter le trottoir de la voie souterraine appelée voie des Bâtisseurs, qui est très étroit.

La deuxième possibilité est d'emprunter le trottoir de la figure XX, mais seulement après une dizaine de mètres les piétons se retrouveront bloqués par des barrières.



Figure 35 : Image de la N13, Source : Google Maps

Le rapport final rendu apporte une programmation des carrefours à feux pour les deux propositions, mais ne peut estimer laquelle est la meilleure pour les piétons...

La création d'un carrefour à feux pour les piétons est inutile si l'aménagement urbain autour ne permet pas un jalonnement des piétons en toute sécurité.

Ainsi un élargissement des trottoirs et la pose d'îlots sont fortement conseillés. L'espace public n'étant pas extensible, cela ne pourra se faire qu'en réduisant l'espace disponible pour la chaussée.

L'étude du comportement piéton sur ce passage piéton P1 grâce au visionnage des enregistrements vidéo sur une semaine a permis de mettre en évidence qu'en heure de pointe du matin et en heure de pointe du soir, les piétons courent sur le passage lorsque le feu piéton vient de passer au rouge.

La caméra thermique, appelée CAPTEUR URBAIN INTELLIGENTTrafiOne, sera installée de telle sorte à détecter les piétons présents devant le passage piéton. Elle détecte les piétons présents sur 8 zones devant le passage piéton. À partir d'un minimum de 4 zones occupées par les piétons, la caméra va envoyer un signal au contrôleur du carrefour à feu qui va alors prolonger le temps de vert du flux piéton. Ce système permettra donc de limiter les temps d'attentes aux feux des piétons et de sécuriser et améliorer leurs déplacements. L'objectif est que notamment les piétons ne traversent plus au feu rouge. Les caractéristiques techniques de la caméra sont disponibles en annexe.

L'installation de la caméra thermique est prévue en septembre 2020. Un retour d'expérience après quelques mois de fonctionnement permettra de juger de l'efficacité du nouveau dispositif en termes de sécurité et de confort pour les piétons.

L'actuel digramme de feu du carrefour a un cycle 70 secondes avec un temps de vert sur le passage piéton P1 de 12 secondes. Lorsqu'un pourcentage supérieur ou égal à 50% des zones d'occupations sera détecté à la 55ème seconde, soit 2 secondes avant la fin du vert P1, le nouveau diagramme de feu du carrefour aura un cycle de 78 secondes grâce à l'ajout de la phase adaptative verticale de 8 secondes entre la seconde 57 et la seconde 65 (cf l'encadré bleu clair sur la figure 43). Ces 8 secondes correspondent à un ajout de temps de vert sur le feu piéton P1. Ces 8 secondes permettent aux piétons arrivant à la fin du temps de vert piéton de traverser en toute sécurité.

N° Ligne	Appellation	Désignation des Voies	vert mini	début 1	durée 1	fin 1
0	F0-0A-0b	Boulevard Circulaire	10	0	40	40
1	P1-1b	PP Boulevard Circulaire	13	45	12	57
2	F2-2A-2b	Avenue Prothin	11	46	17	63
3	P3-3b	PP Avenue Prothin	10	68	38	36
4	P4-4b	PP Avenue Gambetta	6	0	40	40

Figure 37 : Tableau de durée de feux du carrefour 26913, source personnelle

N° Ligne	Appellation	Désignation des Voies	vert mini	début 1	durée 1	fin 1	Rouge
0	F0-0A-0b	Boulevard Circulaire	10	0	40	40	38
1	P1-1b	PP Boulevard Circulaire	13	45	20	65	58
2	F2-2A-2b	Avenue Prothin	11	46	17	63	61
3	P3-3b	PP Avenue Prothin	10	68	38	28	40
4	P4-4b	PP Avenue Gambetta	6	0	40	40	38

Figure 38 : Nouveau tableau de durée de feux du carrefour 26913, source personnelle

Adaptatif vertical	de	à	durée	
1	57	65	8	57

Figure 39 : Nouvelle programmation du carrefour à feux 26913, source personnelle

Si le pourcentage des zones d'occupation est insuffisant, le diagramme de feux reste identique au diagramme actuel.

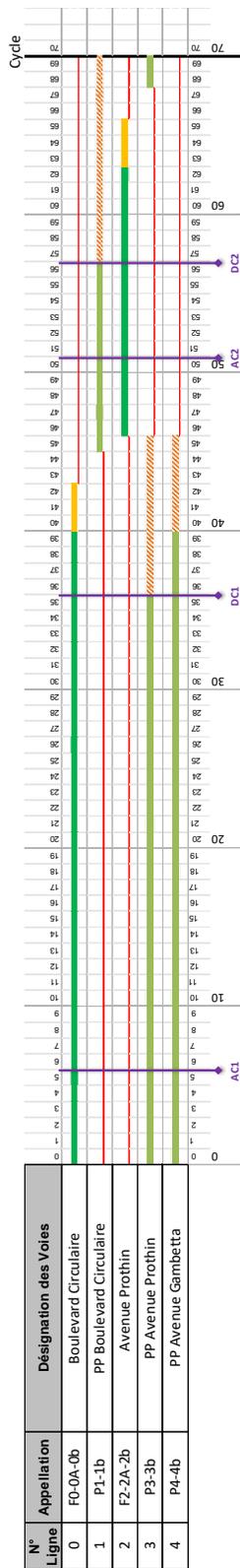


Figure 43 : Ancien diagramme 26913, source personnelle

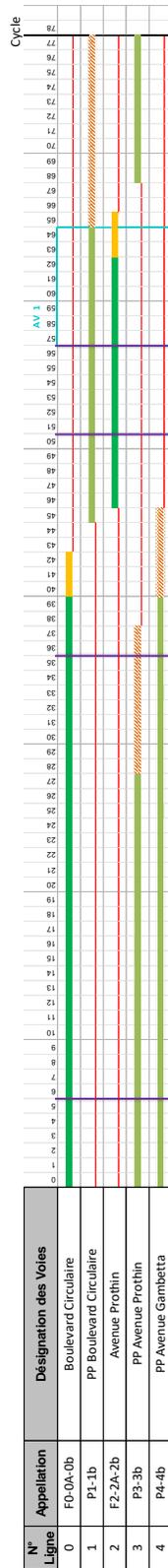


Figure 40 : Nouveau diagramme 26913, source personnelle

3. Question de partage de la voirie

Une volonté de rendre accessible le Boulevard Circulaire aux modes doux est bien présente et les efforts pour rendre cela concrets sont amorcés depuis quelques années et la crise sanitaire agit comme un accélérateur de cette démarche.

Cependant l'étude de l'accessibilité des modes doux sur le Boulevard Circulaire a montré que :

- La création des pistes cyclables temporaire conduit à la réduction de l'espace dédié à la chaussée.
- La création de nouveaux carrefours à feux afin d'installer des passages piétons perturbe le flux des véhicules.

Ces deux installations ont pour conséquence indubitable la dégradation de l'écoulement du trafic. Les modes doux peuvent donc cohabiter avec les véhicules, mais cela se fait au détriment du trafic routier.

Il n'existe pas de solutions miracles qui permettraient aux véhicules de rouler aussi vite qu'avant, tout en ajoutant les piétons et les cyclistes sur le boulevard Circulaire. Ce partage de la voirie avec les conséquences qui doivent donc être acceptées par les automobilistes. Une sorte de résignation sur la place majeure qu'occupait la voiture dans le passé est nécessaire. D'ailleurs, de plus en plus régulièrement, des communes font appel à Technologies Nouvelles afin de trouver une solution qui perturbe le trafic routier grâce à une nouvelle programmation de carrefours à feux qui favorise très largement les piétons. L'objectif étant d'inciter les automobilistes à ne pas traverser certaines voies pour se rendre quelque part ou encore à les encourager à utiliser d'autres modes de transports.

Cette question de partage de la voirie est avant tout une décision politique qui résonne dans toute la France et qui est au cœur des actions depuis le COVID 19.

À l'échelle de l'Île-de-France, Valérie Pécresse, présidente du conseil régional d'Île-de-France porte ce projet de coronapistes et l'IDF va apporter jusqu'à 300 millions d'euros de soutien financier pour l'installation des pistes. Dans cette optique, le collectif Vélo Île-de-France travaille sur un projet de réseau express régional vélo (RER V) avec pour objectif de munir la région parisienne d'axes structurants pour la pratique du cyclisme. Ces axes structurants seraient plus ou moins similaires aux itinéraires des RER de la région. La carte finale des itinéraires n'a pas encore été arrêtée et ni la source des fonds de financement. [5]

À l'échelle nationale, le ministère de la Transition écologique et solidaire a annoncé un plan vélo d'urgence doté de 60 millions d'euros fin avril 2020. Dans cette optique de partage de la voirie à haut taux d'occupation, un projet d'urbanisation d'une partie du périphérique parisien avec des passages piétons et un abaissement de la vitesse maximale autorisée devrait voir le jour à l'horizon 2030.[6]

La réduction de l'importance accordée à la voiture individuelle s'accompagne de solutions alternatives de déplacements avec les transports en commun. C'est notamment le projet du Grand Paris qui va permettre de concrétiser ce besoin.

VII. Bilan du stage

1. Problèmes rencontrés et solutions apportées

Au niveau organisationnel :

Je n'avais effectué que 3 semaines de stage lorsque le confinement a été déclaré. Le COVID 19 a fortement impacté l'entreprise dans laquelle j'ai effectué mon stage. Tous les employés ont été mis au chômage partiel pendant 2 mois et mon stage a été suspendu 11 semaines. Cette interruption totale s'explique par le fait que le trafic routier étant quasiment arrêté pendant le confinement, les enquêtes de circulation ont donc été reportées et sans données de trafic, il est impossible de réaliser des études de déplacements.

Le projet majeur sur lequel je devais travailler initialement à l'issue de ce stage a été annulé, j'ai donc travaillé sur tous les projets restants le projet ITS Ready et des projets mineurs en essayant d'en apprendre le maximum dans chaque tâche à réaliser. Le projet ITS Ready a lui-même été modifié pendant le déroulement de mon stage. Il m'a fallu alors m'adapter.

Plusieurs acteurs traitaient le projet ITS Ready et me rendaient dépendante des documents qu'ils me fournissent. J'ai donc dû faire face parfois à des attentes pour l'obtention de certaines informations nécessaires pour permettre d'avancer. Cela m'a appris ce qu'est le travail en collaboration avec plusieurs entreprises et à relancer les différents acteurs quand cela est nécessaire.

Au niveau technique :

J'ai rencontré quelques problèmes au début du stage au niveau technique dans l'optimisation des carrefours à feux. En effet, je n'avais aucune connaissance ou expérience dans ce domaine et les missions qui m'étaient confiées m'obligeaient à maîtriser toutes les subtilités. Les documents inhérents à ce domaine sont quasiment inexistant sur internet. Pour pallier cette difficulté, je n'ai pas hésité à questionner les chefs de projets pour m'apprendre et m'expliquer les opérations liées à la programmation des carrefours à feux.

Lors de mes précédents stages, j'avais déjà acquis une certaine expérience sur Excel. Lors de ce stage, pour le projet ITS Ready ainsi que dans d'autres projets, j'ai eu besoin d'une utilisation poussée d'Excel qui nécessitait des graphiques croisés dynamiques poussés et un peu de code VBA. Comme je l'ai fait auparavant dans mon apprentissage d'Excel, je suis passée par des tutoriels vidéo disponibles sur internet pour me former.

2. Perspectives

Pour le boulevard Circulaire :

- Le capteur piéton va être installé courant septembre et un retour d'expérience après 6 mois de fonctionnement sera effectué afin d'évaluer la solution proposée.
- La décision de la pérennisation des pistes cyclables sur le tronçon du boulevard Circulaire n'a pas encore été prise.
- AXIMUM en collaboration avec Technologies Nouvelles devrait créer une application smartphone qui conseillerait les usagers sur la vitesse à adopter sur le boulevard Circulaire pour éviter des congestions. Tout le travail est encore à réaliser sur cette partie de projet.
- Un nouveau carrefour devrait être implanté mais des aménagements urbains pour les piétons sont nécessaires

Personnellement :

Ce stage avec ce projet urbanisation du boulevard circulaire m'a permis de découvrir le domaine de la mobilité et d'acquérir des connaissances techniques sur la gestion des feux.

J'ai acquis une meilleure compréhension de la stratégie territoriale des départements et communes.

Le projet ITS Ready ainsi que mes autres projets axés sur de l'analyse d'aménagements urbains sur lesquels j'ai travaillé m'ont permis de développer un esprit critique sur la gestion de l'espace public. Cette expérience me sera utile pour un futur poste de chargée d'étude dans une entreprise de construction de route spécialisée en aménagement urbain.

Conclusion

Lors de stage j'ai pu mettre en pratique mes connaissances théoriques apprises dans mon cursus à l'EIVP et également l'expérience acquise avec mes précédents stages.

Malgré la suspension de mon stage et l'impact sur les projets de l'entreprise, j'ai effectué les projets demandés le mieux possible. J'ai désormais une vision plus précise des enjeux actuels concernant la mobilité.

Je termine ce dernier stage sereine quant à ma formation et mes compétences pour mon futur premier emploi d'ingénieure.

Bibliographie

- 1 - *Le Monde.fr*. 2016. « A Paris, la moitié de l'espace public est réservée à l'automobile », 30 novembre 2016. https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2016/11/30/a-paris-la-moitie-de-l-espace-public-est-reservee-a-l-automobile_5040857_4355770.html.
- 2 - « Le boulevard circulaire ». s. d. Consulté le 9 septembre 2020. [/le-boulevard-circulaire](https://www.rd993lab.fr/le-boulevard-circulaire).
<https://www.rd993lab.fr/le-boulevard-circulaire>.
- 3 – CERTU – *Carrefours Urbains -Guide*, Janvier 1999
- 4 « Vélos et voitures : séparation ou mixité, les clés pour choisir | Cerema ». s. d. Consulté le 9 septembre 2020. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/velos-voitures-separation-ou-mixite-cles-choisir>.
- 5 - « Bientôt un «RER Vélo» pour le Grand Paris ? - Le Parisien ». s. d. Consulté le 9 septembre 2020. <https://www.leparisien.fr/info-paris-ile-de-france-oise/transports/bientot-un-rer-velo-pour-le-grand-paris-03-08-2019-8128299.php>.
- 6 -Par Sébastien Compagnon et Stéphane CorbyLe 21 avril 2020. « L'Ile-de-France va investir 300 millions d'euros pour la réalisation du RER vélo ». leparisien.fr. 21 avril 2020. <https://www.leparisien.fr/info-paris-ile-de-france-oise/transports/deconfinement-l-ile-de-france-investit-300-millions-d-euros-pour-la-realisation-du-rer-velo-21-04-2020-8303484.php>.

Annexe

Annexe A : Projet ITS READY

DOCUMENT CONFIDENTIEL



3.2.2 Le cas d'usage : indication de vitesse

Grâce à la solution ITS Ready, il sera possible de communiquer aux automobilistes des indications de vitesse pour adapter sa conduite en fonction de l'état du feu. Le cas d'usage, **conseil de vitesse aux automobilistes**, a pour objectif de fluidifier la circulation routière, pour réduire les nuisances sonores et les émissions des véhicules carbonés, afin de rendre son caractère urbain au boulevard circulaire. Ce service innovant **réduit les temps et le nombre d'arrêts, ainsi que les accélérations inutiles en cas de circulation urbaine afin d'économiser du carburant et de réduire les émissions de CO₂**. Le **conseil de vitesse** fourni aide à trouver la **vitesse optimale pour passer les prochains feux de circulation au vert**.

- Lorsque le feu est vert, le conducteur reçoit la vitesse conseillée à adopter pour traverser le carrefour sans s'arrêter,
- Lorsque le feu est vert mais que le conducteur ne peut le franchir **sans dépasser la limite de vitesse**, le conducteur reçoit le conseil de se préparer à s'arrêter ;
- Lorsque le feu est rouge mais sur le point de passer au vert, le conducteur reçoit un conseil de vitesse lui permettant de franchir le feu sans s'arrêter.

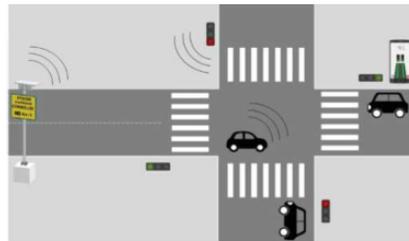


Conseil de vitesse aux automobilistes – Application smartphone

3.2.3 Canaux de communication avec les conducteurs

Afin de garantir l'accessibilité à tous les usagers, nous proposons de mettre l'information à la disposition des conducteurs sur 3 types de supports :

- Application smartphone,
- Panneau d'information dynamique,
- Tableau de bord du véhicule connecté.



ITS Ready – carrefour connecté

Les véhicules neufs sont pour la plupart des **véhicules connectés** équipés de la technologie V2X. Le renouvellement progressif du parc permettra, à terme, à tous les véhicules d'intégrer cette technologie.

Avec la mise à disposition d'une **application Smartphone pour les automobilistes**, nous pouvons fournir, en temps réel, l'information du cycle de feux à l'automobiliste, afin de lui permettre de :

- Adapter sa vitesse à l'approche du carrefour,
- Optimiser son temps de passage au carrefour,
- Réduire les émissions carbonées,
- Faciliter et urbaniser la transition entre les quartiers.

Annexe B : Analyse du comportement piéton sur le passage piéton

3.2.2. Comportement piétons

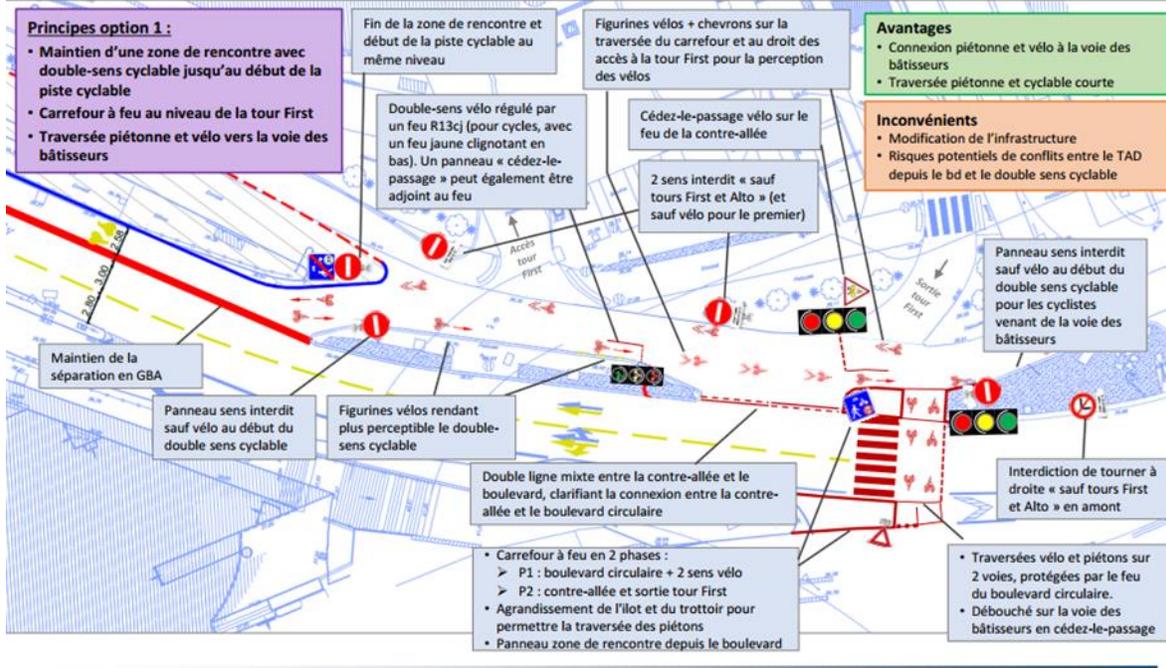
L'analyse a été réalisée en période d'hyper pointe le matin de 8h30 à 9h00.

Nombre piétons traversant au rouge	Preuve vidéo	Heure
4		08 :31
2		08 :32
4		08 :34
5		08 :41
2		08 :46

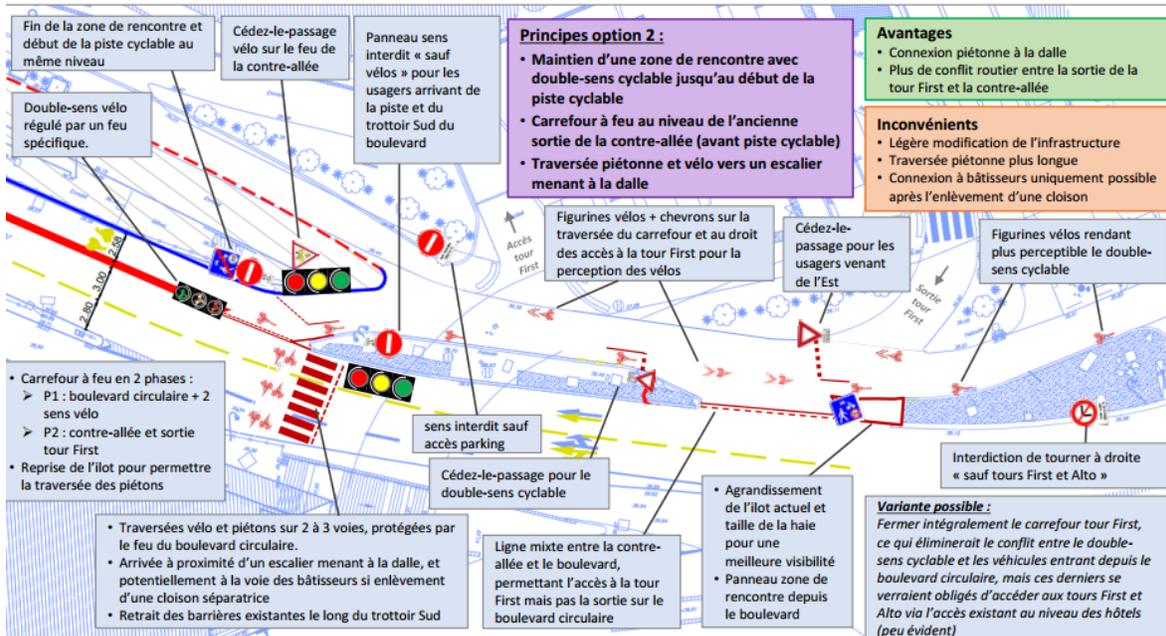
Annexe C : Propositions du nouveau carrefour à feux



4. Options d'amélioration – Zone 3 (accès tour First) – option 1



4. Options d'amélioration – Zone 3 (accès tour First) – option 2



Annexe D : Carte du projet Velo RER



Annexe E : Caractéristiques de la caméra thermique de détection



FLIR TrafiOne

Capteur urbain intelligent

FLIR TrafiOne est un détecteur universel pour la gestion du trafic routier et la commande dynamique des feux tricolores. Proposé dans un pack compact et abordable, le FLIR TrafiOne combine les technologies d'imagerie thermique et de Wi-Fi pour adapter les feux tricolores à l'aide de la détection de présence de véhicules, vélos et piétons, tout en générant des données haute résolution au niveau des intersections et dans les environnements urbains.

FLIR TrafiOne aide les traficiens à améliorer les flux de circulation, réduire les temps d'attente des véhicules, surveiller les embouteillages, augmenter la sécurité des usagers vulnérables, collecter les données et mesurer les temps de parcours et d'attente pour les différents modes de transport.

CAPTEUR D'IMAGERIE THERMIQUE

Le FLIR TrafiOne utilise l'imagerie thermique pour détecter à la fois la présence de véhicules et de cyclistes en approche ou à l'arrêt à une intersection, tout comme il est capable de détecter les piétons et cyclistes traversant ou attendant à un passage piéton. Les caméras thermiques voient dans l'obscurité la plus totale, dans l'ombre et le contre-jour. Par conséquent, elles détectent le trafic 24 h/24, 7 j/7 avec fiabilité. FLIR TrafiOne est relié au contrôleur des feux via des sorties à contact sec ou via le réseau de communication TCP/IP, pour un contrôle plus dynamique de la signalisation, basé sur des informations de présence ou de débit.

TECHNOLOGIE WI-FI

La communication sans fil sécurisée en Wi-Fi permet de configurer rapidement et facilement les zones de détection. En surveillant les adresses MAC des appareils Wi-Fi, tels que les smartphones, TrafiOne peut déterminer les itinéraires et les temps de parcours sur les segments de route. TrafiOne peut aussi utiliser la puissance du signal Wi-Fi pour mesurer le temps d'attente aux intersections.

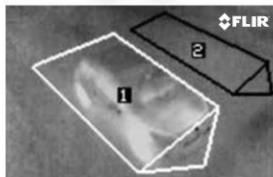
FLIR ITS-IQ

Il est possible d'accéder aux informations collectées par le TrafiOne pour un traitement ultérieur via FLIR ITS-IQ, une solution d'analyse de données basée sur le cloud.

L'analyse intelligente des données les transforme en informations routières utiles, lesquelles sont essentielles pour comprendre les performances du réseau routier. Les traficiens peuvent utiliser le tableau de bord convivial pour générer des rapports afin de commencer à prendre les mesures nécessaires.

PRINCIPAUX AVANTAGES :

- CAPTEUR TOUT-EN-UN
- DÉTECTION 24/24H 7/7J DANS DIVERSES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES, SANS BESOIN D'ÉCLAIRAGE SUPPLÉMENTAIRE
- FAIBLE MAINTENANCE
- CONFIGURATION SIMPLE ET RAPIDE PAR CONNEXION WI-FI SÉCURISÉE
- CAPACITÉS DE SURVEILLANCE WI-FI
- FLUX VIDEO VISIBLE HD



Le FLIR TrafiOne utilise l'imagerie thermique pour détecter la présence de véhicules, vélos et piétons au niveau des intersections et dans les environnements urbains.

www.flir.com



The World's Sixth Sense®

Caractéristiques d'imagerie

Présentation du système		TrafiOne	
Fonctionnalités	Détection de présence de piétons et de vélos sur le trottoir et le passage protégé Détection des véhicules et vélos en approche ou à l'arrêt à une intersection (licence en option) Surveillance Wi-Fi (licence en option) Diffusion de vidéo visible HD (licence en option)		
Nombre de zones de détection	8 zones de présence de véhicules 8 zones de présence de piétons		
Configuration	Page Web par Wi-Fi sécurisé ou Ethernet		
Capteur thermique			
Résolution	160 x 120		
Nombre d'images par seconde	9 ips		
Type de détecteur	Matrice à plan focal (FPA), capteur infrarouge grandes ondes (LWIR) à microbolomètre VOx non refroidi Longueur d'onde de 8 à 14 µm		
Vidéo en continu	RTSP		
Compression	H.264, MPEG-4, MJPEG		
Capteur visible			
Résolution	CMOS HD couleur 1080 x 1920		
Nombre d'images par seconde	30 images/s		
Champ de vision horizontal de l'objectif	95 °		
Vidéo en continu	RTSP		
Compression	H.264, MPEG-4, MJPEG		
Types de produit			
Nom du produit	TrafiOne 195	TrafiOne 156	
Référence	10-7070	10-7075	
Champ de vision horizontal	95 °	56 °	
Distance de détection (selon la hauteur d'installation)	Présence de véhicules et de vélos : 0 – 20 m Présence de piétons et de vélos : 0 – 12 m	Présence de véhicules et de vélos : 20 – 40 m Présence de piétons et de vélos : 10 – 25 m	
Hauteur d'installation	3,5 – 6 m	5,5 – 8 m	
Boîtier			
Matériau	Boîtier en aluminium avec pare-soleil PC GF10		
Support	Brides de fixation PA GF30 et tube en aluminium		
Alimentation, sorties, communication			
Alimentation	12 – 42 VCA/VCC		
Consommation électrique	3 W		
Sorties	1 Contacts secs N/O et N/C directs 16 contacts secs N/C via l'interface TI BPL2		
Ethernet	10/100 MBps		
PoE	PoE A et PoE B		
Communication par courant porteur	Jusqu'à 2 MBps via l'interface TI BPL2		
Wi-Fi	IEEE 802.11		
Spécifications environnementales			
Résistance aux chocs et aux vibrations	Spécifications NEMA TS2		
Matériaux	Résistant aux intempéries et aux UV		
Indice IP	IP67		
Plage de température	-40 °C à +60 °C (-40 °F à +140 °F)		
FCC	FCC partie 15, classe A		
Conformité aux réglementations			
Directives UE	CEM 2014/30/EU, RoHS 2011/65/EU		

FLIR Portland
Corporate Headquarters
Flir Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
USA
PH: +1 886.477.3687

FLIR Commercial Systems
Luxemburgstraat 2
2321 Meer
Belgium
Tel. : +32 (0) 3665 5100
Fax : +32 (0) 3303 5624
E-mail : flir@flir.com

FLIR Systems France
40 Avenue de Lingenfeld
77200 Torcy
France
Tel. : +33 (0)1 60 37 55 02
Fax : +33 (0)1 64 11 37 55
E-mail : flir@flir.com

www.flir.com
NASDAQ: FLIR

Les spécifications peuvent être modifiées sans préavis
©Copyright 2016, FLIR Systems, Inc. Toutes les autres marques et tous les autres noms de produit sont des marques commerciales de leurs propriétaires respectifs. Les images affichées ne sont pas nécessairement représentatives de la résolution réelle de la caméra présentée. Images fournies à titre d'illustration seulement. (Mis à jour en 07/17)

www.flir.com



The World's Sixth Sense®

