



# ÉTUDE D'IMPACT – **Méthodes et annexes** Zone d'Aménagement Concerté Grande Borne Ouest

Communes de Grigny et Viry-Chatillon (91)

24/08/2022

**grandparis**  
**aménagement**



**sce**  
Aménagement  
& environnement

## MAITRISE D'OUVRAGE

RAISON SOCIALE	Grand Paris Aménagement
COORDONNÉES	Bâtiment 033-- Parc du Pont de Flandres 11 rue de Cambrai – CS 10052 75945 PARIS Cedex 19
INTERLOCUTEURS	Madame Tiphaine ALBERT Tél. 01.87.58.10.05 Tiphaine.albert@grandparisamenagement.fr

## SCE

COORDONNÉES	Agence de Paris 9 Boulevard du Général de Gaulle 92120 Montrouge Tél. 01.55.58.13.20 E-mail : sce@sce.fr
INTERLOCUTEURS	Caroline VANSIMAEYS Tél. 0690 47 66 51 E-mail : caroline.vansimaeys@sce.fr

## RAPPORT

TITRE	Zone d'Aménagement Concerté Grande Borne Ouest – Communes de Grigny et Viry-Chatillon (91) – Etude d'Impact – Méthodes et annexes
NOMBRE DE PAGES	19
NOMBRE D'ANNEXES	9
OFFRE DE RÉFÉRENCE	P22001009
N° COMMANDE	Lettre de commande n°22-23613

## SIGNATAIRE

RÉFÉRENCE	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	CONTRÔLE QUALITÉ
220393	03/08/2022	V1	-	CVN	-
220393	03/08/2022	V2	Corrections	CVN	
220393	24/11/2022	V2	Intégrations annexes	CVN	

## Sommaire

12. Description des méthodes et auteurs de l'étude .....	4
1. Auteurs de l'étude .....	5
2. Bibliographie .....	5
3. Méthodes .....	6
3.1. Étude qualité de l'air .....	6
3.2. Étude acoustique.....	6
3.3. Étude énergies renouvelable .....	6
3.4. Etude Faune Flore .....	6
3.5. Autres thématiques .....	6
4. Déroulement de l'étude et difficultés rencontrées .....	7
13. Annexes.....	8

# 12. Description des méthodes et auteurs de l'étude

## 1. Auteurs de l'étude

La présente étude environnementale a été réalisée par :



### Chef de projet :

#### ► Geoffroy DODEUX

- Poste : Responsable de pôle Environnement et Biodiversité, Agence SCE Paris ;
- Formation : Master 2 « Ville Durable », Institut Français d'Urbanisme, UPEM.

#### ► Caroline VANSIMAEYS

- Poste : Cheffe de Projet Environnement, Agence SCE Antilles Guyane ;
- Formation : Doctorat Géosciences, Ecole des Mines de Douai

### Chargé.e.s d'étude :

#### ► Jeanne LERIVEREND

- Poste : Chargé d'études environnement, agence SCE Toulouse ;
- Formation : Diplôme d'Ingénieur en Génie de l'Eau et de l'Environnement, ENGEES Strasbourg

## 2. Bibliographie

La présente étude d'impact a été réalisée en conjuguant différents moyens :

- Enquête auprès des administrations régionales, départementales, locales et d'organismes divers pour rassembler les données et les documents disponibles sur les différents volets étudiés :
  - Métropole Grand Paris,
  - L'EPT Grand-Orly Seine Bièvre,
  - La communauté d'agglomération Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart,
  - Les villes de Grigny et Viry-Chatillon,
  - La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Aménagement et des Transports (DRIEAT Île-de-France)
  - La Direction Régionale des Affaires Culturelles Île-de-France (DRAC) et ses services départementaux (91) (Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine) et régionaux (Service Régional de l'Archéologie),
  - Les Unités Territoriales de l'Agence Régionale de la Santé (ARS),
  - L'Agence de l'Eau Seine Normandie ;
- Intégration d'études spécifiques menées sur le projet et le site d'étude :
  - Etude de trafic (Transitec, 2020)
  - Etude faune flore (O.G.E, 2020, actualisée en 2022)
  - Etude acoustique (Gamba, 2020)
  - Etude historique et de vulnérabilité » (RSK, 2019)
  - Etude énergies renouvelables (Artelia, 2021)
  - Etude qualité de l'air (TechniSim, 2020)
  - Etude bioclimatique (Vizea, 2022)
  - Informations fournies par GPA (2022) dont l'étude environnementale initiée par Artelia en 2021.
- Visites de site :
  - Observation de la circulation et du stationnement :
    - 10-17 septembre 2019
  - Visites naturalistes :
    - 30 janvier 2019
    - 6 septembre 2018
    - 11 septembre 2018
    - 8 avril 2019
    - 30 avril 2019
    - 22 mai 2019
    - 31 mai 2019
    - 28 juin 2019
    - 7 juillet 2019
    - 11 juillet 2019
    - 24 juin 2022
    - 20 juillet 2022
    - 24 août 2022
    - 26 août 2022

## 3. Méthodes

### 3.1. Étude qualité de l'air

Une étude air et santé a été menée par TechniSim à l'échelle de l'OIN Grigny/Viry-Chatillon. L'état initial a été produit en 2019 et l'analyse des impacts en 2020.

### 3.2. Étude acoustique

Une étude spécifique acoustique a été menée par le groupe GAMBA en 2020.

L'étude est basée sur une campagne de mesures "in situ" visant à quantifier les niveaux sonores actuels sur le site et ainsi à établir un état acoustique initial sur la zone d'étude. Le projet est ensuite modélisé sous le logiciel CadnaA, ses impacts sont étudiés et des solutions sont recherchées, si l'étude montre que les objectifs ne sont pas respectés.

### 3.3. Étude énergies renouvelables

Une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables a été réalisée par ARTELIA en 2021.

### 3.4. Etude Faune Flore

Une diagnostic faune flore a été réalisé par OGE en 2020 sur la base d'investigations menées en 2018 et 2019.

Une actualisation de ce diagnostic a été réalisé en 2022. Deux passages en juillet et septembre 2022 ont eu lieu.

### 3.5. Autres thématiques

En plus des informations disponibles dans l'étude environnementale réalisée par ARTELIA en 2021, les méthodes suivantes ont été appliquées.

#### Topographie

L'étude des caractéristiques du relief de l'aire d'étude a notamment été réalisée à partir du site Internet de [www.cartes-topographiques.fr](http://www.cartes-topographiques.fr) et du site Internet [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr).

#### Géologie et géotechnique

L'étude des caractéristiques géologiques du secteur du projet a été réalisée à partir des données disponibles sur le site [www.infoterre.brgm.fr](http://www.infoterre.brgm.fr) du BRGM.

#### Eaux souterraines

L'étude du contexte hydrogéologique et l'exploitation de la ressource en eau a été réalisée à partir des données fournies par le site internet du BRGM.

#### Eaux superficielles

Les informations relatives aux eaux superficielles proviennent des données de 2021 de la BanqueHydro.

#### Climat

La climatologie locale a été décrite grâce aux documents fournis par Météo France, Infoclimat et Windfinder : fiches climatologiques et rose des vents des stations représentatives du climat de l'aire d'étude.

#### Paysage, patrimoine culturel et archéologie

Les données sur les sites archéologiques, monuments historiques et sites inscrits ont été fournies par le PLU de Grigny et de Viry Chatillon et sur les données disponibles sur [atlas.patrimoine.culture.fr](http://atlas.patrimoine.culture.fr).

#### Démographie et habitat

L'analyse démographique a été réalisée à partir des recensements INSEE de 1968 à 2018.

#### Les activités économiques et sociales

Les données concernant les activités économiques et de loisir proviennent des sites Internet des villes de Grigny et Viry-Chatillon et des données disponibles sur [institutparisregion.fr](http://institutparisregion.fr).

#### Les risques

Les données concernant les sites et sols pollués BASIAS et BASOL sont également extraites du site [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr).

#### Planification

Les documents d'urbanisme et de réglementation de l'urbanisation des communes de Grigny et Viry-Chatillon (Plan Local d'Urbanisme - PLU) ont été mis à disposition par les communes sur leurs sites internet. Il en est de même pour les schémas, plans et programmes (SDAGE, SAGE, PDU, etc.).

## 4. Déroulement de l'étude et difficultés rencontrées

L'Introduction de l'étude d'impact a été rédigée sur la base des différents textes réglementaires existants (lois, décrets, codes de l'environnement et du patrimoine, etc.) qui serviront d'appui aux différents chapitres de l'étude d'impact.

**L'état initial de l'environnement** a été mené à l'aide des moyens décrits ci-avant. L'ensemble des thématiques de l'Environnement a été abordé afin de dresser un portrait du territoire le plus exhaustif possible. Toutefois, les données récupérables sont parfois incomplètes ou transmises à une échelle trop vaste. Cela rend donc parfois l'analyse quelque peu difficile à mener.

**La présentation du projet** a été réalisée sur la base de la programmation urbaine du projet réalisée par AMT en juillet 2022. Ces éléments ont permis de détailler au sein de l'étude d'impact la description des aménagements (avec plans), et le planning envisagé ainsi que les intérêts du projet vis-à-vis de la collectivité, des usagers et de l'environnement, notamment.

**Les impacts** temporaires et permanents de ce projet sur l'environnement (au sens large) et sur la santé ont été évalués. En réponse, des mesures d'évitement, de réduction et d'accompagnement ont été proposées. L'analyse de ces impacts s'est appuyée sur les différents retours d'expérience que le bureau d'étude SCE a acquis sur des projets similaires. Certains effets sont toutefois difficilement quantifiables et ne répondent pas toujours à des modèles.

# 13. Annexes

## Table des annexes

<i>Annexe 1 : Etude Air Santé – TECHNISIM – Juin 2020.....</i>	<i>10</i>
<i>Annexe 2 : Etude mobilité – Transitec – Juin 2020.....</i>	<i>11</i>
<i>Annexe 3 : Réaménagement de la RD445 – Etude de trafic – Transitec – Février 2022 .....</i>	<i>12</i>
<i>Annexe 4 : Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables – Artelia – Mars 2021</i>	<i>13</i>
<i>Annexe 5 : Etude historique et de vulnérabilité – RSK – Août 2019 .....</i>	<i>14</i>
<i>Annexe 6 : Etude d'impact acoustique – Gamba – Juillet 2020.....</i>	<i>15</i>
<i>Annexe 7 : Etude bioclimatique – VIZEA – Juin 2022.....</i>	<i>16</i>
<i>Annexe 8 : Diagnostic écologique – OGE – Juin 2020 .....</i>	<i>17</i>
<i>Annexe 9 : Actualisation du diagnostic écologique – OGE - Novembre 2022 .....</i>	<i>18</i>

**ANNEXE 1 : ETUDE AIR SANTE – TECHNISIM – JUIN 2020**

# PROJET OIN D'AMENAGEMENT GRIGNY/VIRY-CHATILLON

## ZAC GRANDE BORNE OUEST

[ESSONNE - 91]



### VOLET AIR & SANTÉ

### ANALYSE DES IMPACTS

Réf N : 191 704 060  
V1

15 juin 2020

**TechniSim**  
Consultants

Suivi des modifications - Nom du fichier	Version	Date	Contenu	Objet des modification	Rédacteur	Relecteur
Rapport_étude-GPA_Grigny-Viry-Air_Santé-Analyse_impacts_N1.doc	1	15/06/2020	Analyse des impacts	Première version	BA	RG

## **GRAND PARIS AMENAGEMENT**

11 rue de CAMBRAI  
BP CS 10052  
75945 PARIS CEDEX 19  
TEL. : 01 40 04 66 00

### **Projet OIN d'aménagement Grigny/Viry-Châtillon ZAC Grande Borne Ouest Essonne [91]**

### **Volet Air & Santé Analyse des impacts**

#### **TECHNISIM CONSULTANTS**

2 Rue Saint-Théodore  
69003 LYON  
Tél. : 04 72 33 91 67  
Mél. : [technisim@wanadoo.fr](mailto:technisim@wanadoo.fr)

# SOMMAIRE

<b>PREAMBULE</b> .....	
<b>1. Contexte général</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Contexte législatif</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Présentation du projet</b> .....	<b>8</b>
<b>4. Volet Air et santé</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1. Définition de la zone d'étude</b> .....	<b>8</b>
<b>4.2. Définition du niveau de l'étude</b> .....	<b>10</b>
<b>ANALYSE DES IMPACTS</b> .....	
<b>5. Impacts du projet sur la qualité de l'air en phase chantier</b> .....	<b>12</b>
<b>5.1. Quantification des émissions liées aux activités du chantier</b> .....	<b>12</b>
<b>5.2. Mesures de réduction des émissions liées aux activités du chantier</b> .....	<b>12</b>
<b>6. Impact du projet sur la qualité de l'air en phase exploitation</b> .....	<b>14</b>
<b>6.1. Emissions provenant des bâtiments créés</b> .....	<b>14</b>
6.1.1. Généralités : émissions atmosphériques du secteur résidentiel et tertiaire.....	14
6.1.2. Émissions atmosphériques issues des bâtiments.....	16
6.1.3. Impacts du projet sur la qualité de l'air.....	16
<b>6.2. Flux de trafic</b> .....	<b>17</b>
6.2.1. Brins routiers étudiés.....	17
6.2.2. Indicateur VK.....	20
<b>6.3. Emissions atmosphériques</b> .....	<b>20</b>
6.3.1. Méthodologie.....	20
6.3.2. Résultats du calcul des émissions de polluants atmosphériques.....	21
6.3.3. Résultats du calcul des émissions de gaz à effet de serre.....	23
<b>6.4. Simulation numérique de la dispersion atmosphérique</b> .....	<b>24</b>
6.4.1. Méthodologie.....	24
6.4.2. Résultats de la dispersion atmosphérique.....	25
6.4.3. Résultats des substances réglementées.....	26
<b>6.5. Conclusion de l'impact du projet sur la qualité de l'air</b> .....	<b>33</b>
<b>7. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé</b> .....	<b>33</b>
<b>7.1. Indice Pollution Population [IPP]</b> .....	<b>33</b>
7.1.1. Méthodologie.....	33
7.1.2. Résultats.....	34
<b>7.2. Évaluation quantitative des risques sanitaires [EQRS]</b> .....	<b>34</b>
7.2.1. Hypothèses de travail retenues.....	35
7.2.2. Contenu et démarche de l'EQRS.....	35
7.2.3. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets à seuils : Quotient de danger....	40
7.2.4. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets sans seuils : calcul de l'Excès de Risque Individuel (ERI).....	44
7.2.5. Incertitudes relatives à l'EQRS.....	47
<b>7.3. Synthèse – Impacts du projet sur la santé</b> .....	<b>48</b>
<b>8. Evaluation des consommations énergétiques</b> .....	<b>49</b>
<b>9. Coûts collectifs de l'impact sanitaire</b> .....	<b>49</b>
<b>9.1. Coûts liés aux émissions de polluants atmosphériques</b> .....	<b>49</b>
<b>9.2. Coûts liés aux émissions de gaz à effet de serre</b> .....	<b>50</b>
<b>10. Mesures de prévention et de protection contre la pollution atmosphérique</b> .....	<b>51</b>
<b>10.1. mesures de réduction de la pollution atmosphérique issue des transports</b> .....	<b>51</b>
<b>10.2. Mesures de Reduction</b> .....	<b>51</b>
<b>10.3. Aménagements du territoire</b> .....	<b>52</b>
<b>11. Qualité de l'air intérieur</b> .....	<b>52</b>
<b>11.1. Présentation</b> .....	<b>52</b>
<b>11.2. Polluants</b> .....	<b>53</b>
<b>11.3. Recommandations</b> .....	<b>53</b>
<b>12. Articulation avec le SRCAE</b> .....	<b>54</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	
<b>13. Conclusion</b> .....	<b>56</b>
<b>Annexe n°1 : Glossaire</b> .....	<b>58</b>
<b>Annexe n°2 : Effets sanitaires redoutés</b> .....	<b>60</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Périmètre de l'OIN Grigny-Viry et périmètre de la future ZAC Grande Borne Ouest ...	8
Figure 2 : Zone d'étude (bande d'étude de 400 m centrée sur la voirie étudiée) définie pour le volet Air et Santé .....	9
Figure 3 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de particules en France métropolitaine .....	14
Figure 4 : Volume des émissions de particules provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine.....	14
Figure 5 : Volume des émissions des substances acidifiantes, eutrophisantes et contribuant à la pollution photochimique provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine.....	15
Figure 6 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de France métropolitaine – substances acidifiantes, eutrophisantes et contribuant à la pollution photochimique.....	15
Figure 7 : Volume des émissions des métaux provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine.....	15
Figure 8 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de métaux en France métropolitaine.....	15
Figure 9 : Tronçons routiers étudiés .....	19
Figure 10 : Flux de trafic (TMJA) : Indice VK.....	20
Figure 11 : Emissions journalières – Dioxyde d'azote .....	22
Figure 12 : Emissions journalières – Particules PM10.....	22
Figure 13 : Emissions journalières – Particules PM2,5.....	22
Figure 14 : Emissions journalières – Composés Organiques Volatils Non Méthaniques .....	22
Figure 15 : Evolution des émissions de GES (échelle logarithmique).....	23
Figure 16 : Modélisation gaussienne d'un panache.....	24
Figure 17 : Rose des vents utilisée pour les simulations.....	24
Figure 18 : Emplacements des îlots d'habitation du projet .....	26
Figure 19 : Horizon 2019 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	28
Figure 20 : Horizon 2025 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	28
Figure 21 : Horizon 2025 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	28
Figure 22 : Horizon 2035 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	29
Figure 23 : Horizon 2035 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	29
Figure 24 : Horizon 2019 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	31
Figure 25 : Horizon 2025 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	31
Figure 26 : Horizon 2025 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	31
Figure 27 : Horizon 2035 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	32
Figure 28 : Horizon 2035 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	32
Figure 29 : Schéma conceptuel de la construction de l'IPP .....	33
Figure 30 : Carreaux Insee de la bande d'étude et projets connexes considérés.....	33
Figure 31 : Indice pollution population – Dioxyde d'azote .....	34
Figure 32 : Schéma conceptuel de la démarche d'une ERS .....	35
Figure 33 : Logigramme – Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence .....	36
Figure 34 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident de la zone d'étude » .....	43
Figure 35 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident du secteur Places Hautes / Oiseau - Îlot A1 ».....	43

Figure 36 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident du secteur Méridien / Solstice – Îlot R2 » .....	43
Figure 37 : Consommation moyenne de carburant par jour .....	49
Figure 38 : Coût annuel de la pollution atmosphérique .....	50
Figure 39 : Coût annuel des émissions de GES .....	50
Figure 40 : Principales sources de pollution de l'air intérieur en habitat (source : Ademe) .....	52
Figure 41 : Etiquette des émissions en polluants volatils des produits de construction et de décoration.....	53

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Largeur minimale de la bande d'étude selon la charge de trafic.....	9
Tableau 2 : Type d'étude en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et de la densité du bâti .....	10
Tableau 3 : Projets connexes considérés par l'étude trafic .....	17
Tableau 4 : Caractéristiques des brins routiers étudiés.....	18
Tableau 5 : Emissions globales pour les scénarios traités .....	21
Tableau 6 : Quantité de GES produite en $\text{kgeqCO}_2$ / jour.....	23
Tableau 7 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la zone d'étude.....	25
Tableau 8 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la zone d'étude pour les polluants spécifiques à l'évaluation des risques sanitaires .....	25
Tableau 9 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne annuelle .....	27
Tableau 10 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne horaire .....	27
Tableau 11 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne annuelle.....	29
Tableau 12 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne journalière .....	30
Tableau 13 : Résultats des modélisations pour les particules PM2,5 – moyenne annuelle.....	30
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des normes de la qualité de l'air mentionnées dans la réglementation française.....	32
Tableau 15 : Indice Pollution Population.....	34
Tableau 16 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour les effets à seuil – Exposition Chronique par inhalation .....	37
Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour les effets sans seuil par inhalation .....	38
Tableau 18 : Scénarios d'exposition .....	39
Tableau 19 : Quotients de danger .....	41
Tableau 20 : Hypothèses d'exposition pour le calcul de l'ERI.....	44
Tableau 21 : Excès de risque individuel .....	45
Tableau 22 : Etapes de l'EQRS et incertitudes associées.....	47
Tableau 23 : Consommation de carburant [Tep / jour].....	49
Tableau 24 : Coûts unitaire de la pollution atmosphérique générée par le transport routier en 2010 (en $\text{€}_{2010}$ / 100 véhicules x km).....	49
Tableau 25 : Estimation des coûts de la pollution atmosphérique générée par le transport routier .....	50
Tableau 26 : Estimation des coûts des GES générés par le transport routier .....	50
Tableau 27 : Effets sanitaires redoutés avec seuil – Voie inhalation.....	60
Tableau 28 : Effets sanitaires redoutés sans seuil – Voie inhalation.....	61

# ***PRÉAMBULE***

## 1. CONTEXTE GÉNÉRAL

La présente étude Air et Santé s'inscrit dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) d'aménagement Grigny/Viry-Châtillon, sise principalement sur le territoire de la commune de Grigny, et partiellement sur la commune de Viry-Châtillon, dans le département de l'Essonne [91].

La réalisation de la ZAC Grande Borne Ouest va entraîner des modifications de trafic dont les conséquences sur la qualité de l'air et la santé doivent être analysées.

Ce document traite de l'analyse des impacts du projet sur la qualité de l'air et sur la santé.

L'étude est menée conformément aux préconisations de la *Note technique NOR : TRET1833075N du 22 février 2019* relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières. Il est bien entendu intégré le fait qu'il s'agit d'un projet d'aménagement et non d'infrastructures routières. La méthodologie de la note est adaptable pour répondre à une problématique d'aménagement puisque la population potentielle induite par l'aménagement va de fait modifier les flux de trafic de la zone.

En outre, cette approche satisfait les services de l'Etat sur une thématique qui prend de plus en plus d'ampleur, avec notamment le renforcement du sujet de la qualité de l'air dans les plans et programmes locaux.

## 2. CONTEXTE LÉGISLATIF

En France, la législation qui encadre la réalisation de l'étude Air et Santé pour les projets d'aménagements repose sur les textes suivants :

- La *Loi n°76/629 du 10/07/1976* relative à la protection de la nature et au contenu des études d'impact ;
- La *Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie*, dite loi "LAURE", n°96/1236 du 30/02/1996 ;
- Le *Décret 93-245 du 25 février 1993* relatif aux études d'impact et champ d'application des enquêtes publiques ;
- La *Circulaire n°87-88 du 25 octobre 1987* relative à la construction et à l'aménagement des autoroutes concédées, modifié par la circulaire 2002-63 du 22 octobre 2002 ;
- La *Circulaire Mate n°98/36 du 17/02/98* relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie complétant les études d'impact des projets d'aménagements ;
- La *Circulaire DGS n°185/2001 du 11/04/2001* relative à l'analyse des effets sur la santé des études d'impact sanitaire ;
- La *Circulaire du ministère de l'environnement n°93-73 du 27 septembre 1993* prise pour l'application du décret n°93-245 du 25 février 1993 relatifs aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques et modifiant le décret n°77-1141 du 12 octobre 1977 et l'annexe au décret n°85-453 du 23 avril 1985 ;

- La *Note technique NOR : TRET1833075N* du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère des solidarités et de la santé du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières ;
- Articles R221-1 à R221-3 du Code de l'environnement définissant les critères nationaux de la qualité de l'air ;
- Arrêté du 13/03/18 modifiant l'arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé, pris en application de l'article R. 221-4 du code de l'environnement ;
- Décret n° 2016-849 du 28/06/16 relatif au Plan Climat-Air-Énergie Territorial ;
- Décret n° 2016-753 du 07/06/16 relatif aux évaluations des émissions de Gaz à Effet de Serre et de polluants atmosphériques à réaliser dans le cadre des plans de déplacements urbains ;
- Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air, transposant la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 et décrivant les critères de qualité de l'air et réduction des émissions de polluants dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'air et de protéger la santé humaine.

Le présent dossier est réalisé selon les textes précités, et également avec l'appui des documents ci-après :

- Méthodologie définie dans l'instruction de l'Équipement de mars 1996 relative à la prise en compte de l'environnement et du paysage dans la conception et la réalisation des projets routier ;
- Guide méthodologique sur le volet « Air et Santé » des études d'impact routières de février 2019 (annexe de la *Note technique du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impacts des infrastructures routières*) ;
- « *Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils* », Guide EHESP/DGS, 2014.

### 3. PRÉSENTATION DU PROJET

Sur la planche suivante, la délimitation du périmètre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) d'aménagement des communes de Grigny et Viry-Châtillon est colorée en 'jaune'. Il intègre le périmètre de la future ZAC Grande Borne Ouest (couleur bleu foncé) qui comprend les secteurs des Places Hautes et du Méridien, ainsi que la RD445.

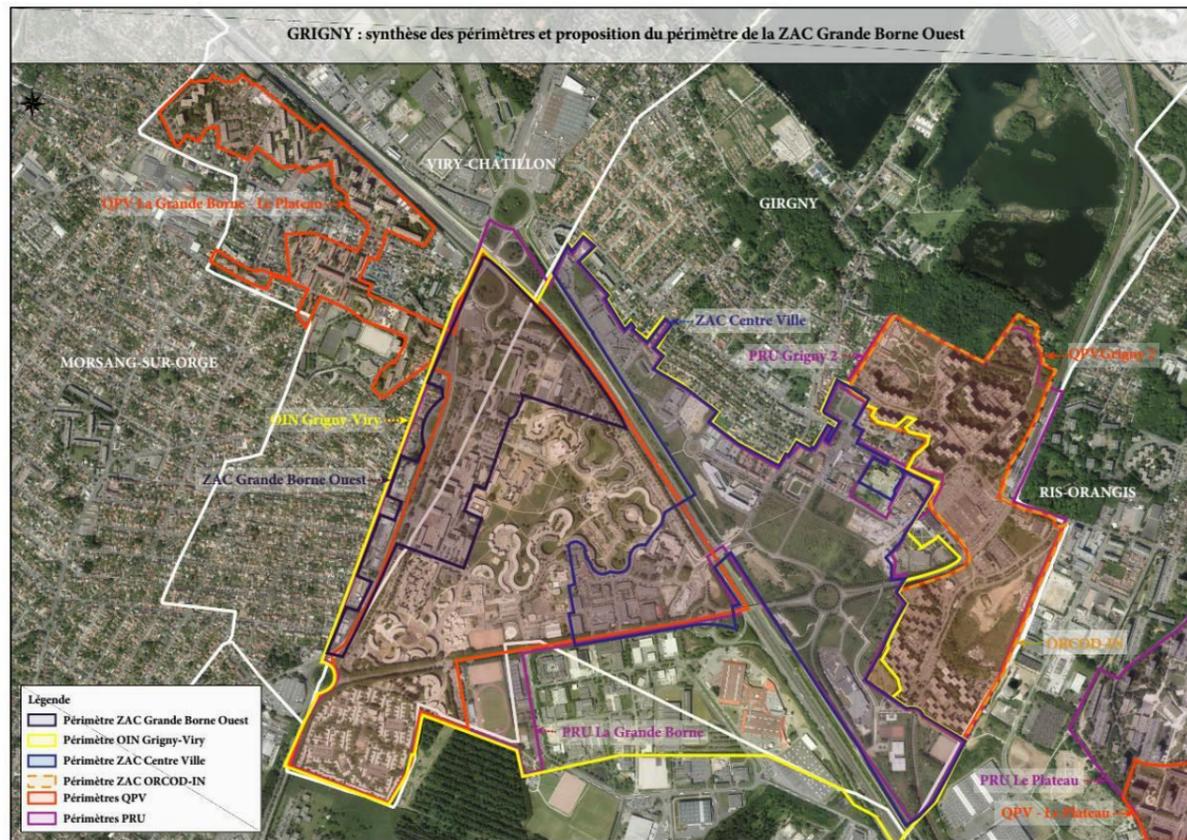


Figure 1 : Périmètre de l'OIN Grigny-Viry et périmètre de la future ZAC Grande Borne Ouest

### 4. VOLET AIR ET SANTE

#### 4.1. DÉFINITION DE LA ZONE D'ÉTUDE

##### ❖ Définition du réseau d'étude

Selon la *Note technique du 22 février 2019*, le réseau d'étude est un objet linéique composé d'un ensemble de voies, à savoir :

- **Le projet routier étudié** (y compris les différentes variantes de tracé) ;
- **L'ensemble des voies dont le trafic est affecté significativement par le projet.**

Il est intéressant de retenir que deux cas de figure sont distingués pour les trafics :

- Supérieurs à 5 000 véhicules / jour : la modification du trafic engendrée par la mise en service du projet est considérée comme significative lorsque la variation relative de trafic entre le scénario au 'Fil de l'eau' et le scénario projet de référence au même horizon est supérieure à 10 %, en positif ou bien en négatif.
- Inférieurs à 5 000 véhicules / jour : la modification de trafic engendrée par la mise en service du projet est considérée comme significative lorsque la variation absolue de trafic entre le scénario au 'Fil de l'eau' et le scénario projet de référence au même horizon est supérieure à 500 véhicules / jour, en positif ou en négatif.
- L'ensemble des projets d'infrastructures routières « existants ou approuvés » tels que définis dans l'article R 122-5 paragraphe II.5 e) du Code de l'Environnement, à savoir les projets qui lors du dépôt de l'étude d'impact ont fait l'objet :
  - d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une enquête publique ;
  - d'une évaluation environnementale au titre du Code précité et pour lesquels un avis de l'Autorité environnementale a été rendu public.

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caducs, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le Maître d'Ouvrage.

En milieu interurbain, la variation de trafic est évaluée à partir du **Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA)**.

En milieu urbain, en fonction des données de trafic disponibles et du projet, la variation de trafic est examinée à l'**Heure de Pointe (HP)** la plus chargée (du soir ou du matin) ou à partir du **Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA)**.

Pour cette étude, le réseau routier considéré a été élaboré à partir des données de trafic fournies.

❖ **Définition de la bande d'étude**

Une bande d'étude est une zone située autour d'un axe routier (objet linéique) dont la largeur est adaptée en fonction de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique locale. Elle complète le réseau d'étude en lui apportant une dimension surfacique et est donc définie autour de chaque axe du réseau d'étude (*Note technique du 22 février 2019*).

La largeur de la bande d'étude varie en fonction du type de composés étudiés (gazeux ou particulaire) et du trafic circulant sur la voie (dans les deux sens de circulation) :

- Pour l'évaluation des polluants présents dans les retombées particulaires, la largeur de la bande d'étude est de 200 m centrée sur l'axe de la voie, quel que soit le trafic ;
- Concernant la pollution gazeuse, la largeur minimale de la bande d'étude dépend du trafic à l'horizon d'étude le plus lointain sur la voie considérée, et, est définie selon les données du tableau suivant.

Tableau 1 : Largeur minimale de la bande d'étude selon la charge de trafic

TMJA (véh/j) à l'horizon d'étude le plus lointain	Largeur minimale de la bande d'étude, centrée sur l'axe de la voie
> 50 000	600 mètres
25 000 < TMJA ≤ 50 000	400 mètres
10 000 < TMJA ≤ 25 000	300 mètres
≤ 10 000	200 mètres

❖ **Définition de la zone d'étude**

L'ensemble des bandes d'études définies autour de chaque voie du réseau d'étude permet de circonscrire les calculs de dispersion et les populations à prendre en compte dans le volet santé (*Note technique du 22 février 2019*).

Concernant la définition de la zone d'étude, il a été retenu par excès la largeur de bande d'étude correspondant à la voirie connaissant le trafic le plus important. D'après les données de l'étude circulation, il s'avère que le trafic maximal sur la RD445 sera d'environ 35 000 véhicules par jour à l'horizon futur (cf. Paragraphe « 6.2 Flux de trafic »).

Au vu du trafic considéré, la zone d'étude de l'ensemble du réseau routier étudié est définie selon une largeur de 400 mètres, centrée sur la voirie étudiée.

La planche ci-après illustre la zone d'étude considérée.

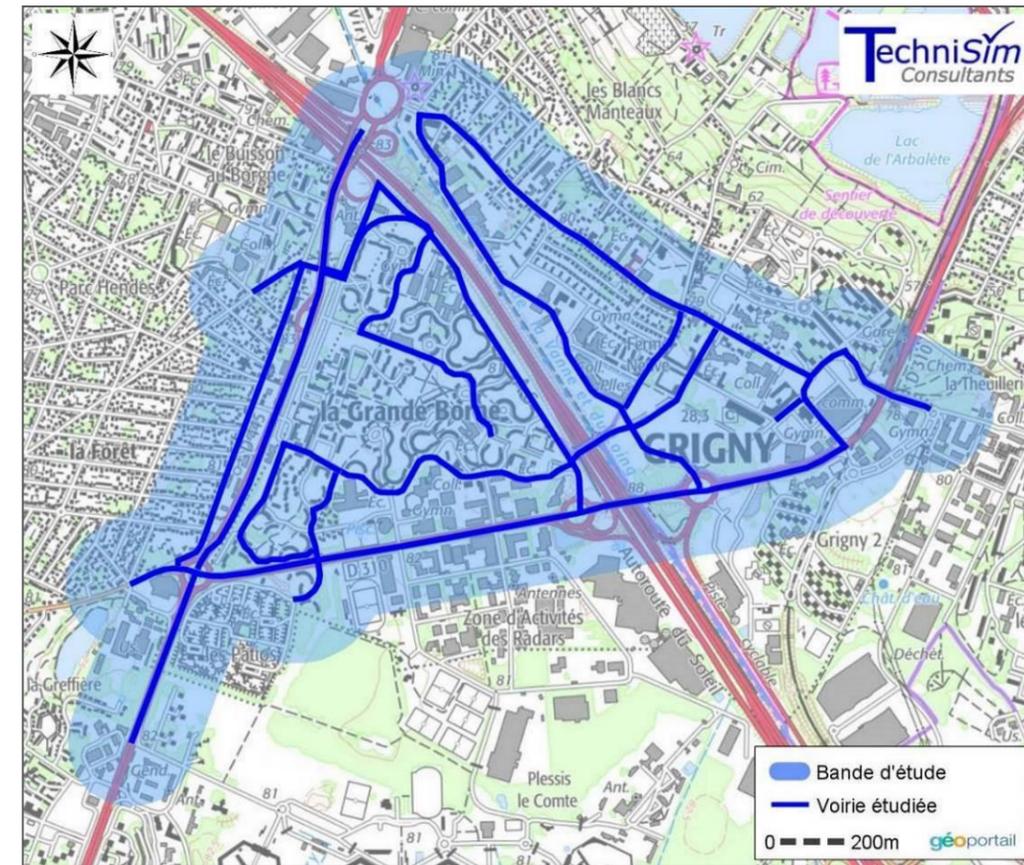


Figure 2 : Zone d'étude (bande d'étude de 400 m centrée sur la voirie étudiée) définie pour le volet Air et Santé

## 4.2. DÉFINITION DU NIVEAU DE L'ÉTUDE

Le niveau d'étude est défini à l'horizon d'étude le plus lointain, c'est-à-dire celui pour lequel les trafics seront les plus élevés. Cela à l'aide de trois critères qui sont les suivants :

- la charge prévisionnelle de trafic en véhicules / jour ;
- la densité de population correspondant à la zone la plus densément peuplée traversée par le projet ;
- la longueur du projet.

Le niveau d'étude permet de déterminer les polluants à prendre en compte en fonction du degré de précision de l'étude.

Le tableau ci-dessous présente les quatre niveaux d'étude déterminés, le niveau I étant le plus exigeant en termes de précision et d'investigation.

**Tableau 2 : Type d'étude en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et de la densité du bâti**

Densité dans la zone la plus peuplée de la zone d'étude [hab/km <sup>2</sup> ]	Trafic à l'horizon d'étude (selon tronçons homogènes de plus de 1 km)			
	> 50 000 véh/j	25 000 à 50 000 véh/j	≤ 25 000 véh/j	≤ 10 000 véh/j
Densité ≥ 10 000 hab/km <sup>2</sup>	I	I	II	II si Lprojet > 5 km ou III si Lprojet ≤ 5 km
2 000 hab/km <sup>2</sup> < densité < 10 000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	II si Lprojet > 25 km ou III si Lprojet ≤ 25 km
Densité ≤ 2 000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	II si Lprojet > 50 km ou III si Lprojet ≤ 50 km
Pas de bâti	III	III	IV	IV

A l'horizon futur, la charge de trafic sera supérieure à 25 000 véhicules par jour sur les voies routières les plus importantes.

Par ailleurs, la densité de population s'élèvera à près de 9 000 habitants / km<sup>2</sup> au sein de la zone d'étude avec la réalisation du projet.

### ❖ Adaptation du niveau de l'étude

Le niveau d'étude se doit d'être adapté en fonction de plusieurs paramètres. Il s'agit de :

- **La présence de lieux dits 'vulnérables'** : une étude de niveau II est remontée au niveau I au droit des lieux vulnérables (Et non sur la totalité de la bande d'étude) ;
- **Les milieux mixtes (urbains et interurbains)** : l'absence totale de population sur certains tronçons supérieurs à 1 km autorise l'application d'un niveau d'étude moins exigeant sur ces sections ;

- **L'importance de la population** : si la population dans la bande d'étude dépasse 100 000 habitants, une étude de niveau II est remontée au niveau I. Une étude de niveau III est remontée au niveau II. *Remarque* : Il n'y a pas lieu de remonter les études de niveau IV ;
- **L'existence d'un Plan de Protection de l'Atmosphère ou son projet de mise en place** : si un PPA est approuvé ou doit être réalisé sur un périmètre qui englobe la zone d'étude, le niveau d'étude est remonté d'un niveau, quel que soit le niveau d'étude initial.

Considérant le fait que le projet consiste dans le renouvellement urbain d'un quartier dense localisé en bordure d'axes routiers importants et sur un territoire couvert par un Plan de Protection de l'Atmosphère, il sera réalisé une étude inspirée des études d'infrastructures routières de niveau I.

Par ailleurs, il est nécessaire de garder à l'esprit que, en fonction du niveau de l'étude, les exigences réglementaires diffèrent.

Ainsi, d'après la *Note technique du 22 février 2019*, les études de niveau I requièrent :

- Caractérisation de l'état actuel avec un niveau de détail adapté à une étude niveau I ;
- Campagne de mesures *in situ* ;
- Estimation des émissions de polluants sur l'ensemble du réseau d'étude ;
- Estimation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) ;
- Estimation des concentrations modélisées sur la zone d'étude ;
- Calcul de l'Indice Pollution-Population (IPP) pour le NO<sub>2</sub> ;
- Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) sur la zone d'étude ;
- Présentation bibliographique des effets sanitaires de la pollution automobile sur la population ;
- Analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances ;
- Evaluation de l'impact de la pollution atmosphérique sur la faune, la flore, le sol et les bâtiments.

## ***ANALYSE DES IMPACTS***

L'objet de cette section est l'étude de l'impact sur la qualité de l'air à l'échelle locale, et sur la santé des populations par rapport au projet d'aménagement des communes de Grigny et Viry-Châtillon, dans le département de l'Essonne [91].

Cette opération peut entraîner des modifications de trafic dont les conséquences sur la qualité de l'air doivent être analysées.

Les scénarios et horizons retenus dans l'analyse des impacts afférente au dit projet sont les suivants :

- La situation existante du trafic pour l'année 2019
- L'horizon 2025 pour la situation sans projet (« Fil de l'Eau »)
- L'horizon 2025 avec la réalisation du projet
- L'horizon 2035 sans projet
- L'horizon 2035 avec projet

Rappel : l'analyse des impacts du volet Air et Santé est conduite en prenant pour cadre la **Note technique NOR : TRET1833075N du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières.**

## 5. IMPACTS DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR EN PHASE CHANTIER

Les travaux de construction peuvent polluer l'environnement.

Selon le type et la taille du chantier, les effets sont très limités à la fois géographiquement et dans le temps. Néanmoins, sur un grand chantier avec une activité longue et intensive, ils peuvent s'avérer importants.

Il importe en premier lieu de faire la distinction entre les différentes catégories d'émissions atmosphériques rencontrées sur un chantier :

- **Les gaz d'échappement des machines et engins** : les moteurs à combustion des machines et engins rejettent des polluants tels que les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils et les poussières fines ;
- **Les émissions de poussières** : les poussières sont générées lors des travaux d'excavation et d'aménagement, mais également lors du transport, de l'entreposage et du transbordement de matériaux sur le chantier. L'utilisation de machines et de véhicules soulève en permanence des tourbillons de poussière. Le traitement mécanique d'objets et les opérations de soudage libèrent également de la poussière ;
- **Les émissions des solvants** : l'emploi de solvants, ou de produits en contenant, engendre des émissions de composés organiques volatils [COV] ;
- **Les émissions d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques [HAP]** : le bitume utilisé pour le revêtement des voies de circulation, les aires de stationnement et les trottoirs, émet des HAP dont certains sont cancérigènes.

### 5.1. QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DU CHANTIER

Il est assez malaisé de quantifier les émissions d'un chantier. La quantification des émissions appelant un nombre important de données, il n'est pas possible, au niveau actuel de l'étude, d'évaluer les émissions atmosphériques du chantier.

### 5.2. MESURES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DU CHANTIER

Afin de limiter les émissions atmosphériques provenant du chantier, il est possible de mettre en œuvre certaines mesures.

#### ❖ Mesures de réduction des gaz d'échappement des engins

Deux types de mesures existent.

Cela consiste en des mesures :

- Techniques
- Comportementales

Les moteurs diesel, s'ils ne sont pas équipés de systèmes de filtres à particules efficaces, occasionnent des émissions de poussières fines particulièrement nocives pour la santé, dont des suies de diesel cancérigènes. L'utilisation d'un filtre à particules sur ces engins permet de réduire de 95 % la teneur en particules des gaz d'échappement.

L'entretien des machines peut également agir sur les émissions, étant donné que des machines mal entretenues génèrent davantage d'émissions atmosphériques.

Enfin, dans son document « Quelques bonnes pratiques sur chantier », l'APESA<sup>1</sup> propose d'utiliser des carburants dits 'propres' en remplacement du diesel : le gaz de pétrole liquéfié [GPL], le gaz naturel pour véhicules [GNV], les carburants TBTS [Très Basse Teneurs en Soufre] ou encore l'Emulsion Eau dans Gazole [EEG]. L'EEG est un mélange de diesel, d'eau, et d'agents émulsifiants. Le principal avantage de l'EEG est de permettre la réduction de 15 à 30 % des rejets de NOx et de 30 à 80 % des émissions de particules carbonées.

Les autres axes de réduction sont relatifs au comportement des opérateurs.

Un bon entretien et un réglage approprié des engins selon les spécifications du constructeur permettent d'assurer leur fonctionnement optimal et donc de limiter leurs émissions. Un moteur diesel consomme environ 4 litres/heure pour un ralenti à 1 000 tours/minute. Les changements de comportement des opérateurs sur chantier en vue de limiter les ralentis sont des moyens reconnus de réduction des émissions.

<sup>1</sup> L'APESA, est un Centre Technologique en environnement et maîtrise des risques, basé sur 4 sites en Aquitaine (Pau, Lescar, Bidart, Bordeaux)

❖ **Mesures de réduction des émissions de poussières**

Sur un chantier, les actions responsables de la mise en suspension de poussières sont nombreuses.

Une étude d'impact menée par l'Institut Pasteur dans le cadre d'un chantier précis<sup>2</sup> en a ainsi identifié cinq, c'est-à-dire :

- Les opérations de démolition ;
- La circulation des différents engins de chantiers ;
- Les travaux de terrassement et de remblaiement ;

Et, dans une moindre mesure :

- La découpe de matériaux divers (exemple tuyaux) ;
- Les travaux de soudure.

Pour réduire ces émissions de poussières, certaines actions ciblées peuvent être réalisées :

- L'humidification du terrain, qui permet d'empêcher l'envol des poussières par temps sec en phase de terrassement ;
- L'utilisation de goulottes, pour le transfert des gravats ;
- Le bâchage systématique des camions ;
- La mise en place de dispositifs d'arrosage lors de toute phase ou travaux générateurs de poussières.

❖ **Mesures de réduction des émissions de COV et de HAP**

Les émissions de composés organiques volatils (COV) peuvent notamment être réduites en :

- Utilisant, si possible, des produits contenant peu ou pas de solvants ;
- Refermant bien les tubes, pots et autres récipients immédiatement après usage pour que la quantité de solvant qui s'en échappe soit aussi minime que possible ;
- Utilisant les vernis, colles et autres substances le plus parcimonieusement possible selon les indications du fabricant.

A propos des opérations de préparation du bitume, de revêtement et d'étanchéité, les mesures de réduction des émissions possibles sont les suivantes :

- Bannir les préparations thermiques des revêtements/matériaux contenant du goudron sur les chantiers ;
- Employer des bitumes à faible taux d'émission de polluants atmosphériques (émission réduite de fumées) ;
- Employer des *émulsions* bitumineuses plutôt que des solutions bitumineuses (travaux de revêtement de routes) ;
- Abaisser au maximum la température de traitement par un choix approprié des liants ;
- Utiliser des asphaltes coulés et des bitumes à chaud et à faibles émanations de fumées ;
- Employer des chaudières fermées munies de régulateurs de température ;
- Eviter la surchauffe des bitumineux dans les procédés de soudage ;
- Aménager les postes de soudage de manière à ce que les fumées puissent être captées, aspirées et séparées.

❖ **Charte Chantiers Verts**

La charte « Chantiers Verts » définit les bonnes pratiques et les règles environnementales de fonctionnement du chantier. Elle fédère l'ensemble des intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises) autour des mêmes objectifs environnementaux, par exemple :

- Limiter les risques sur la santé des salariés ;
- Circonscrire les nuisances et risques causés aux riverains ;
- Réduire les pollutions de proximité lors du chantier et limiter ses impacts sur l'environnement ;
- Gérer les déchets et limiter les pollutions sur le site.

Cette charte fait partie des pièces contractuelles du marché de travaux. Elle doit être remise à chaque intervenant sur le chantier et signée par chacun.

En pratique, la garantie d'un « chantier vert » passe par différentes étapes :

- En amont de l'opération, il s'agit de réaliser des études préalables et des actions de concertation afin d'évaluer l'impact du chantier sur l'environnement puis d'élaborer son programme. Le maître d'ouvrage fixe alors les objectifs environnementaux qui y sont liés.
- L'insertion par le maître d'œuvre d'un projet répondant au programme et tenant compte des études préalables. Il définit les processus, les choix techniques et les matériaux permettant de tenir les objectifs définis, qu'il retranscrit dans le cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

<sup>2</sup> Institut Pasteur, 2004, "Etude des impacts environnementaux liés à la construction de la nouvelle parcelle", Département Hygiène, Sécurité et protection de l'Environnement.

## 6. IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR EN PHASE EXPLOITATION

### 6.1. EMISSIONS PROVENANT DES BATIMENTS CREES

#### 6.1.1. Généralités : émissions atmosphériques du secteur résidentiel et tertiaire

Les données présentées dans ce paragraphe émanent toutes des études du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique [CITEPA].

Selon ces études, la proportion du secteur résidentiel et tertiaire dans les émissions totales de particules en France métropolitaine est constante sur la période 2010-2017 et cela pour tous les types de particules (cf. graphique ci-après).

Ce secteur représente plus de la moitié des émissions de particules PM01 et de carbone suie, ainsi qu'une part non négligeable des émissions de particules PM2,5 (46,5 % en moyenne sur la période 2010-2017) et de particules PM10 (32,5 % en moyenne).

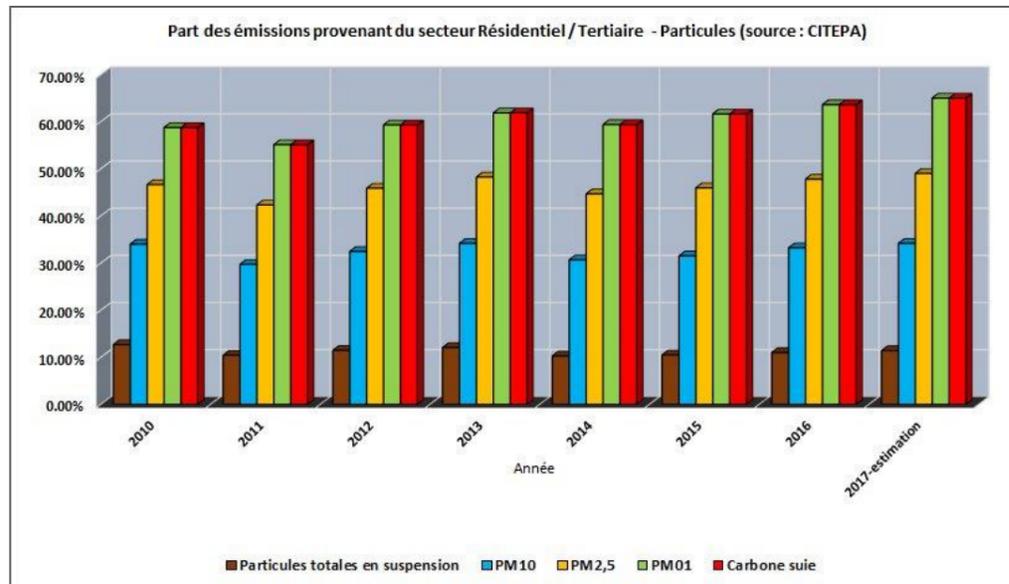


Figure 3 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de particules en France métropolitaine

Le volume des émissions de particules de ce secteur tend à diminuer sur la période 2010-2017 (cf. graphique ci-après) grâce à l'augmentation des consommations de gaz naturel au détriment des combustibles minéraux solides et combustibles liquides et à l'amélioration des performances des équipements fonctionnant au bois dans ce secteur.

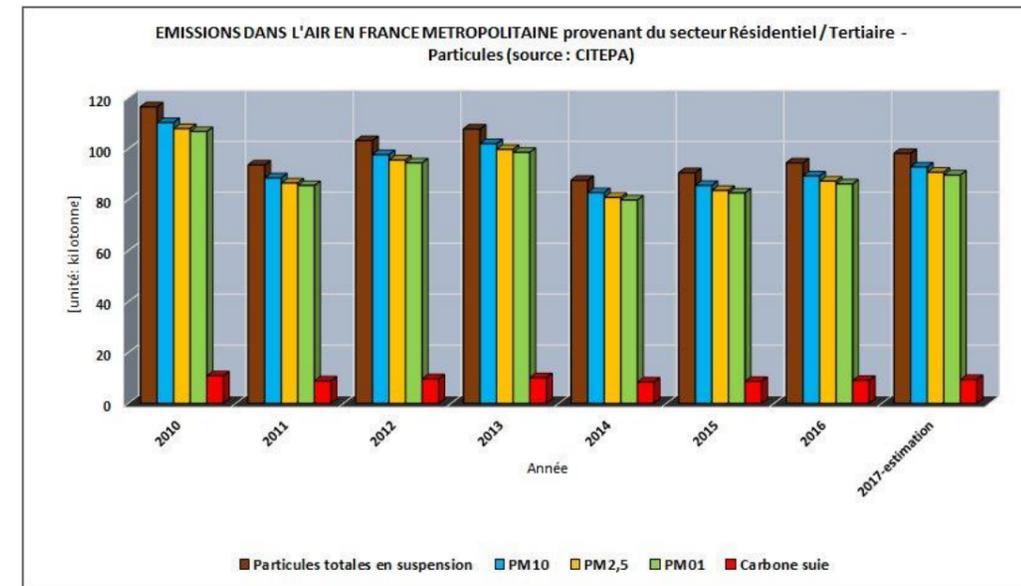


Figure 4 : Volume des émissions de particules provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine

Comme illustré sur les graphiques ci-après, ce secteur est aussi une source importante de monoxyde de carbone (35,5 % en moyenne sur la période 2010-2017), de chrome (28,1 % en moyenne sur la période 2010-2017), d'arsenic (21,6 % en moyenne sur la période 2010-2017).

A l'inverse, le secteur résidentiel et tertiaire ne représente que :

- 8 % des émissions d'oxydes d'azote en moyenne sur la période 2010-2017 ;
- 12,6 % des émissions de COVNM en moyenne sur la période 2010-2017 ;
- Moins de 10 % des émissions de cadmium, de mercure, de nickel et de plomb en moyenne sur la période 2010-2017.

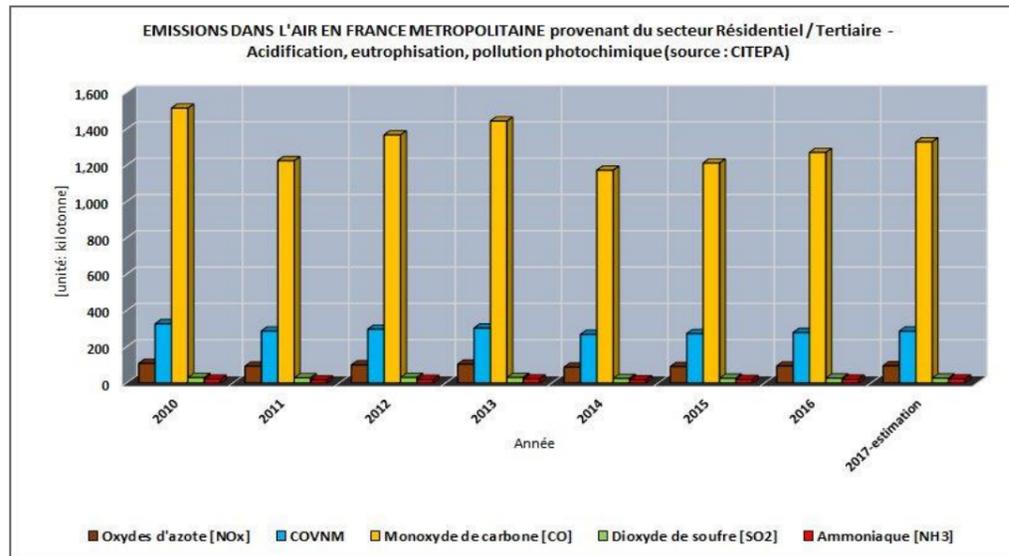


Figure 5 : Volume des émissions des substances acidifiantes, eutrophisantes et contribuant à la pollution photochimique provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine

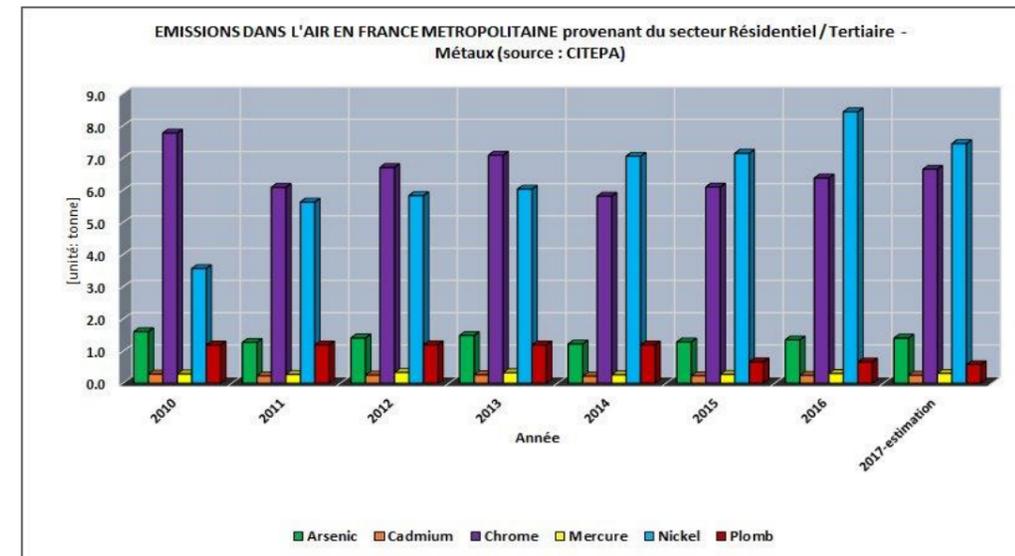


Figure 7 : Volume des émissions des métaux provenant du secteur résidentiel-tertiaire en France métropolitaine

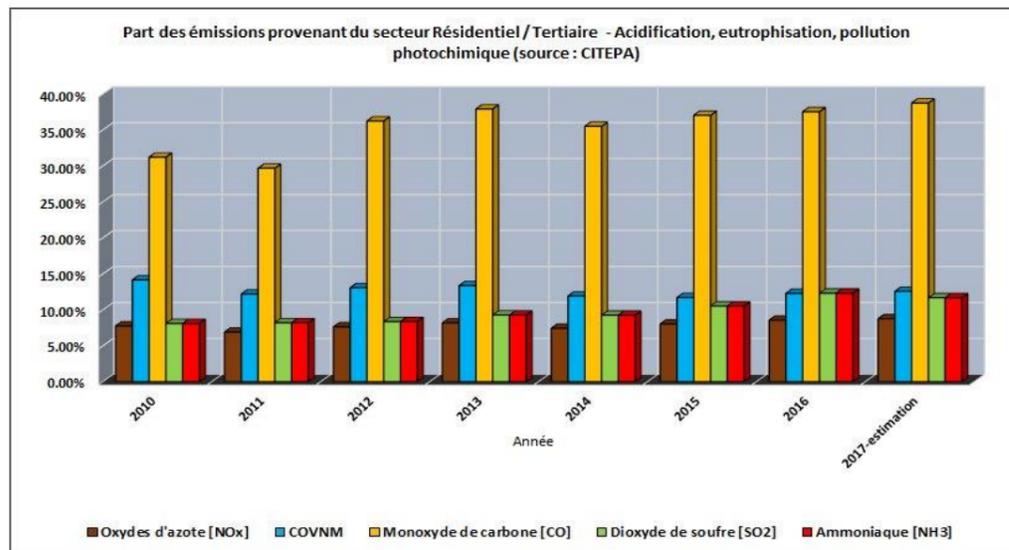


Figure 6 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de France métropolitaine – substances acidifiantes, eutrophisantes et contribuant à la pollution photochimique

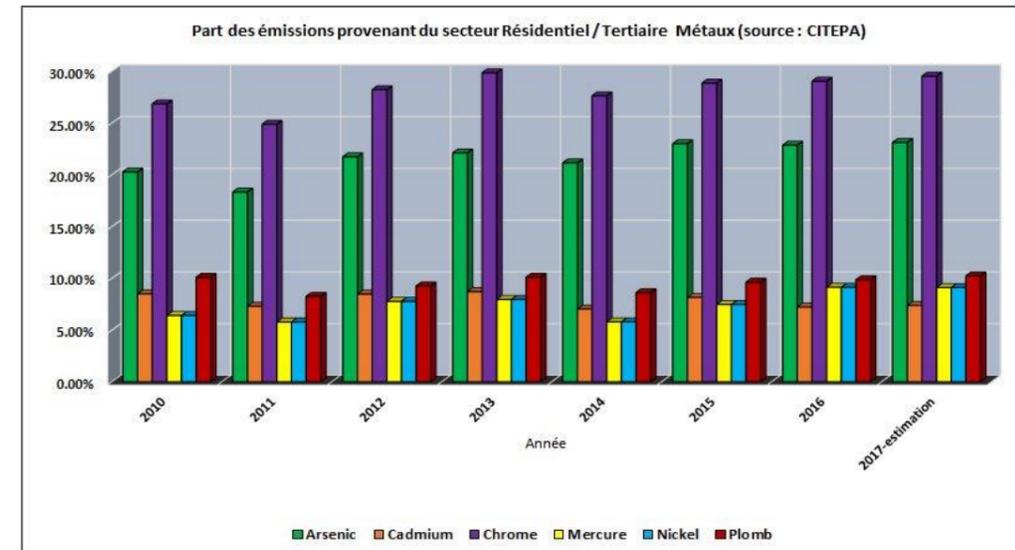


Figure 8 : Part des émissions du secteur résidentiel-tertiaire dans les émissions totales de métaux en France métropolitaine

Enfin, notamment à cause du chauffage au bois/biomasse, le secteur résidentiel et tertiaire contribue à 55,3 % en moyenne sur la période 2010-2017 aux émissions d'HAP<sup>3</sup>, et à 44,7 % en moyenne sur la période 2010-2017 aux émissions aux émissions de dioxines et de furanes.

<sup>3</sup> Somme des HAP tels que définis par la CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indeno(1,2,3-cd)pyrène

### 6.1.2. Émissions atmosphériques issues des bâtiments

Les bâtiments (résidentiels et tertiaires) produisent des émissions polluantes majoritairement via les systèmes de :

- Chauffage (combustion d'énergie fossile) ;
- Ventilation.

Pour les systèmes de chauffage, les émissions proviennent de la combustion d'énergie fossile et diffèrent selon les combustibles utilisés. Ainsi, la combustion de biomasse ou de fioul génère des particules PM10 et PM2,5 ainsi que des HAP et des dioxines/furanes contrairement à la combustion du gaz naturel qui n'en émet pratiquement pas.

Seuls les oxydes d'azote sont produits, quel que soit le combustible utilisé puisqu'ils se forment à haute température à partir de l'azote de l'air.

Les systèmes de ventilation rejettent à l'extérieur l'air « pollué » issu de l'intérieur des bâtiments.

Les sources de pollution de l'air intérieur sont multiples. Il est distingué trois catégories principales de pollution :

- Les composés chimiques, en majorité des COV (toluène, formaldéhyde par exemple) ;
- Les facteurs physiques (particules, fibres minérales, radon) ;
- Les agents biologiques (champignons/moisissures, bactéries et virus).

Les émissions provenant de la ventilation dépendent :

- Des usages des locaux ;
- Du nombre de personnes fréquentant le bâtiment ;
- Des matériaux de constructions ;
- Des conditions environnantes ;
- Des systèmes de ventilations/d'aération ;
- De la température au sein des locaux et du taux d'humidité.

Tous ces facteurs induisent qu'il est malaisé de se prononcer sur la composition-type d'un rejet issu des ventilations. Seules des mesures spécifiques sont susceptibles de permettre de caractériser un tel rejet. Néanmoins, des mesures techniques et réglementaires sont progressivement mises en place en vue de réduire à la fois la pollution à l'intérieur des bâtiments (comme par exemple, celle limitant le taux de solvants présent dans les peintures) et les rejets des systèmes de chauffage.

### 6.1.3. Impacts du projet sur la qualité de l'air

Les bâtiments créés devront respecter les prescriptions de la Réglementation Thermique 2020 (RT 2020) dont le principal objectif est de ramener la performance énergétique de tous les bâtiments construits après 2020 à un niveau passif.

Cela implique que les bâtiments construits devront être fortement isolés avec une réduction drastique des ponts thermiques, et être équipés de chauffage à haute efficacité énergétique ainsi que d'équipements produisant eux-mêmes l'énergie (panneaux photovoltaïques, micro ou mini-cogénérateurs).

Aussi, les émissions liées au système de chauffage seront limitées.

De même, compte tenu des réglementations mises en œuvre en vue de réduire les émissions de COV issus des meubles, des peintures et des produits ménagers, les émissions des ventilations seront modérées.

Par conséquent, les émissions polluantes liées aux bâtis seront restreintes et leurs impacts seront minimales en comparaison aux autres sources d'émissions déjà présentes, en particulier la circulation automobile.

## 6.2. FLUX DE TRAFIC

### 6.2.1. Brins routiers étudiés

Plusieurs brins ont été déterminés afin de discriminer les émissions générées dans la zone d'étude (cf. figure page suivante).

Pour chaque scénario, les éléments en liste ci-dessous sont utilisés comme données d'entrée par le modèle COPERT V pour la quantification de la consommation énergétique et des polluants générés au niveau des routes de l'aire d'étude :

- le trafic pour chaque tronçon exprimé en **Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA)** ;
- la vitesse de circulation ;
- la longueur des brins routiers.

Les trafics proviennent des données du BE *Transitec*, fournies par le Maître d'Ouvrage dans un courriel en date du 18/05/2020.

L'étude trafic tient également compte de la réalisation de plusieurs projets connexes pour les scénarios futurs, c'est-à-dire :

**Tableau 3 : Projets connexes considérés par l'étude trafic**

Création de nouvelles voiries	Requalification de voiries existantes	Transports collectifs	Programmation urbaine
Aménagement de la Liaison Centre Essonne	Aménagement du carrefour RN20 / Route des Chasses	Tram-train Evry-Massy (TTME ou T12 Express)	ZAC Val Vert
Voiries de desserte des projets	Aménagement du carrefour du Christ de Saclay	TZen 4	Mail des Droits de l'Homme
Déviations du Bel-Air	Requalification RN7 (Tramway)	-	Balance / Ellipse
Déviations de Paray-Vieille-Poste	Réaménagement de la tête de Pont de Villeneuve-St-Georges		Grigny 2 La Folie
By-pass RD445 Sud vers RD310 Est	Finalisation déviation RD19		Grigny 2 Barbusse
-	Ring des Ulis		Cœur de Ville
	Restructuration de la rue de la Grande Borne		Damier
	-	Les Chaulais	
		Tanguy	

Afin de mieux décrire la pollution de fond dans la zone d'étude, les émissions de l'autoroute A6 ont également été prises en compte pour la modélisation et l'évaluation des risques sanitaires. Toutefois, la circulation sur l'autoroute A6 n'étant pas impactée par le projet, celle-ci n'a pas été intégrée au réseau d'étude (cf. chapitre 4.1. *Définition de la zone d'étude*).

Les trafics sur cet axe proviennent de la Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement Île-de-France (DIRIF) et des comptages SIREDO pour l'année 2017. Par défaut, la circulation sur l'A6 est considérée comme invariante aux horizons futurs.

Les vitesses considérées sont les vitesses maximales autorisées sur chaque brin.

Le tableau qui va suivre synthétise les caractéristiques considérées pour les brins routiers étudiés.

La figure placée immédiatement après ce tableau repère les emplacements de ces brins.

Tableau 4 : Caractéristiques des brins routiers étudiés

N° brin	Nom de la voie	Vitesse	Taux de poids lourds	Trafic Tous Véhicules (TMJA)				
				2019 Actuel	2025 Fil de l'Eau	2025 Projet	2035 Fil de l'Eau	2035 Projet
1	Avenue de la Gribette	50 km/h	1,5 %	11 000	9 450	9 450	9 050	9 050
2	Avenue du Docteur Fichez - RD445	50 km/h	5,0 %	29 000	26 450	26 150	25 600	25 700
3	Avenue Emile Aillaud - RD310	50 km/h	3,5 %	19 200	17 200	16 800	16 800	16 800
4	Rue du Ravin	30 km/h	0,5 %	2 200	1 900	1 900	1 800	1 800
5	Rue des Radars	30 km/h	0,5 %	700	600	600	550	550
6	-	30 km/h	1,5 %	3 000	2 550	2 550	2 450	2 450
7	Rue Dédale	30 km/h	1,5 %	2 100	1 800	1 650	1 700	1 700
8	Rue des Ateliers / Rue du Minotaure	30 km/h	4,0 %	2 500	2 150	2 150	1 950	1 950
9	Rue de la Grande Borne	50 km/h	1,0 %	7 600	6 500	6 500	6 200	6 200
10	Avenue Emile Aillaud - RD310	50 km/h	3,5 %	19 200	17 200	16 800	16 800	16 800
11	Avenue Emile Aillaud - RD310	50 km/h	3,5 %	22 330	20 000	19 750	19 850	19 900
12	Chemin du Plessis	50 km/h	1,0 %	8 600	7 300	7 300	7 100	7 100
13	Avenue de la Première Armée Rhin et Danube - RD310	50 km/h	4,0 %	22 600	20 200	20 200	19 900	19 900
14	Place Henri-Barbusse	50 km/h	1,0 %	6 100	5 350	5 350	5 650	5 650
15	Rue Saint-Exupéry	50 km/h	1,5 %	1 600	1 400	1 400	1 300	1 300
16	Route de Corbeil	30 km/h	5,0 %	10 000	8 600	8 600	8 200	8 200
17	Route de Corbeil / Rue du Moulin	50 km/h	3,0 %	9 400	8 100	8 100	7 900	7 900
18	Rue des Carriers Italiens / Rue de la Ferme Neuve	50 km/h	1,0 %	8 200	7 300	7 300	7 100	7 100
19	Chemin du Plessis	50 km/h	8,0 %	4 400	3 750	3 750	3 550	3 550
20	Rue de la Paix / Rue des Jardins de la Ferme	30 km/h	1,0 %	2 300	2 000	2 000	1 900	1 900
21	-	30 km/h	7,5 %	5 100	4 350	4 350	4 200	4 200
22	Rue de la Grande Borne	30 km/h	5,0 %	5 000	4 300	4 300	4 100	3 100
23	Voie de la Plaine	30 km/h	0,5 %	900	800	800	750	1 750
24	Quartier du Méridien	30 km/h	0,5 %	800	700	700	700	700
25	Avenue de la Grande Borne	30 km/h	5,0 %	4 800	4 100	4 100	0	0
26	Avenue de la Grande Borne	30 km/h	5,0 %	0	0	0	3 900	2 900
27	Avenue Victor Schœlcher - RD445	50 km/h	5,5 %	31 200	27 550	26 650	26 250	26 250
28	Avenue Victor Schœlcher - RD445	50 km/h	6,0 %	38 600	33 900	33 000	32 300	32 350
29	Route de Fleury	50 km/h	1,0 %	3 400	2 900	2 900	28 00	2 800
30	Avenue de la Forêt	30 km/h	0,5 %	1 000	850	850	800	800
31	Autoroute A6	110 km/h	8,9 %	138 300	138 300	138 300	138 300	138 300

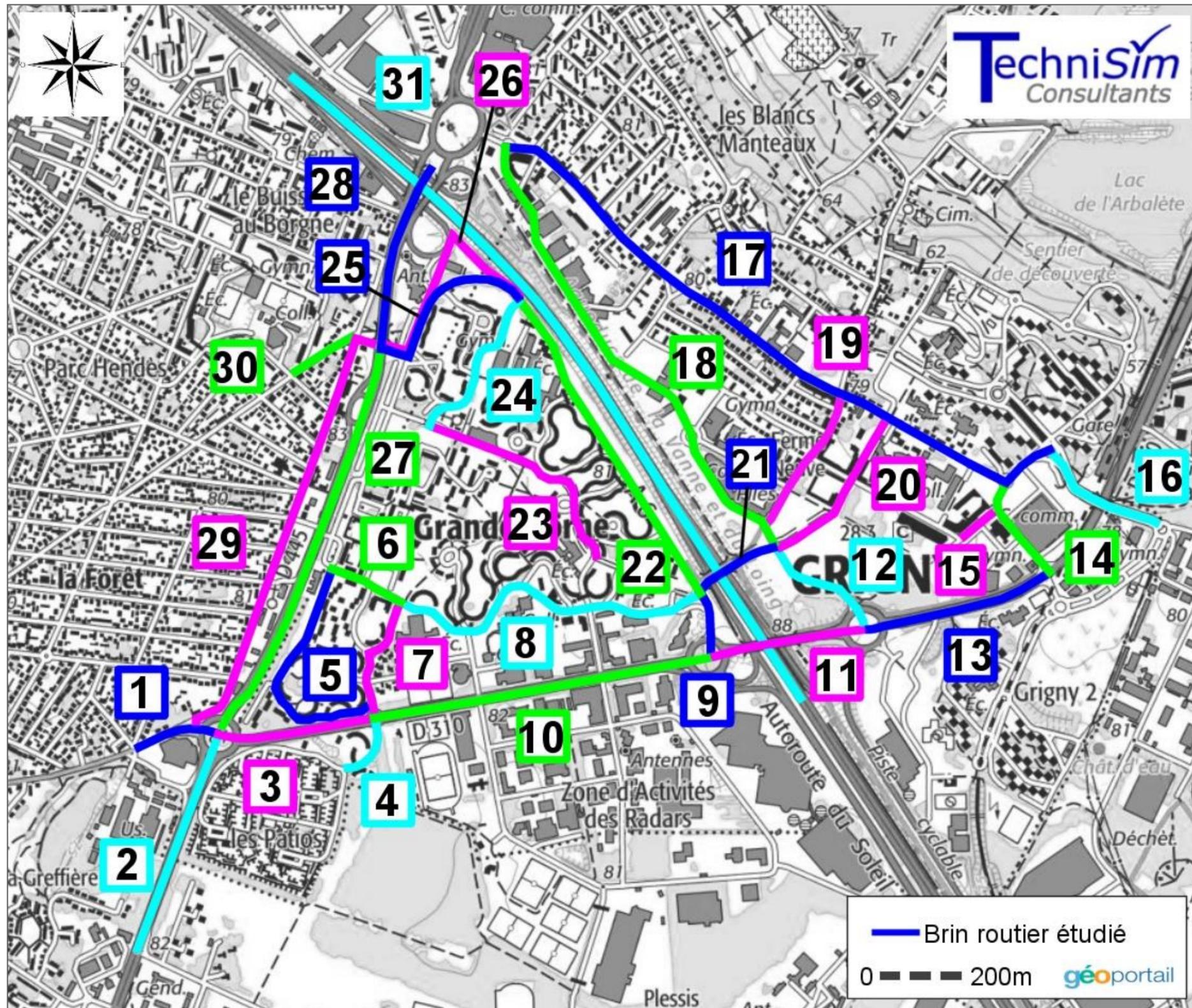


Figure 9 : Tronçons routiers étudiés

### 6.2.2. Indicateur VK

L'estimation des flux de trafic est réalisable avec l'indicateur « Véhicules-Kilomètres ».

Cet indice prend en considération non seulement le nombre de véhicules (trafic), mais également le trajet réalisé par ces mêmes véhicules.

Pour les scénarios analysés et si l'on considère N tronçons routiers, l'indicateur VK est calculé selon la formule suivante :

$$VK = \sum_{i=1}^{i=N} (V_i \times L_i)$$

Où :  
 VK = Nombre de « véhicules-kilomètres » [véhicules × km] ;  
 Vi = Nombre de véhicules sur le tronçon i [véhicules] ;  
 Li = Longueur du tronçon i [km].

Le nombre VK permet ainsi l'estimation d'un flux de véhicules le long de leur parcours et des émissions potentielles consécutives à ce flux.

Il a été tenu compte uniquement des trafics sur les voies du réseau d'étude, c'est-à-dire les voies sur lesquelles le projet est susceptible d'exercer une influence.

Le trafic de l'autoroute A6 n'est donc pas considéré pour le calcul de l'indice VK.

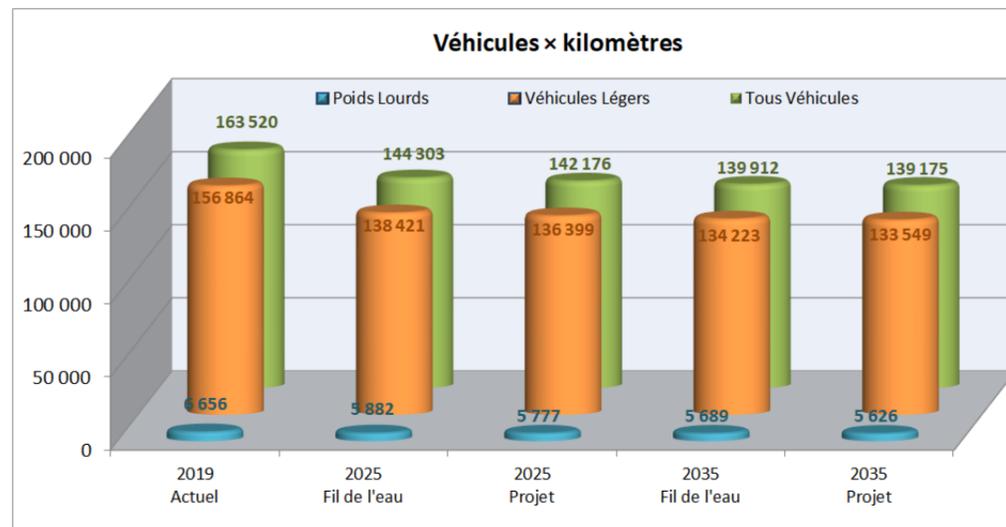


Figure 10 : Flux de trafic (TMJA) : Indice VK

Aux horizons futurs, le trafic diminue au niveau des brins routiers étudiés pour l'ensemble des scénarios.

Ainsi, l'indice Véhicules-Kilomètre du scénario avec projet diminue de 13 % -par rapport à l'état actuel- en 2025 (-1,5 % par rapport au fil de l'eau), et de 15 % à l'horizon 2035 (-0,5 % en comparaison au Fil de l'Eau).

## 6.3. EMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

### 6.3.1. Méthodologie

Le calcul des émissions de polluants atmosphériques est réalisé en utilisant la méthodologie et les facteurs d'émissions du logiciel COPERT V.

COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) est un modèle élaboré au niveau européen (MEET<sup>[1]</sup>, CORINAIR, etc.) par différents laboratoires ou instituts de recherche sur les transports (INRETS, LAT, TUV, TRL, TNO, etc.).

Diffusé par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE), cet outil permet d'estimer les émissions atmosphériques liées au trafic routier des différents pays européens.

Bien que s'agissant d'une estimation à l'échelle nationale, la méthodologie COPERT s'applique, dans certaines limites, à des résolutions spatio-temporelles plus fines (1 heure ; 1 km<sup>2</sup>) et permet ainsi d'élaborer des inventaires d'émission à l'échelle d'un tronçon routier, dénommé « brin », ou du réseau routier d'une zone ou d'une agglomération.

Ce modèle COPERT V, développé sous l'égide de l'Agence Européenne de l'Environnement afin de permettre aux états membres d'effectuer des inventaires homogènes de polluants liés au transport routier, intègre l'ensemble des données disponibles aujourd'hui, et permet en outre le calcul de facteurs d'émission moyens sur une voie donnée ou un ensemble de voies, pour peu que les véhicules circulant sur cette voie constituent un échantillon représentatif du parc national.

COPERT V est capable d'utiliser le flux de véhicules sur chaque tronçon donné, soit par des comptages, soit par un modèle de trafic.

Le flux total par tronçons est alors décomposé par type de véhicules selon la classification européenne PRE ECE, ECE et Euro. Cette ventilation utilise les données du parc automobile standard français déterminé en 2013 par l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) pour l'intervalle 1990-2030.

Ainsi, les émissions pour l'horizon 2035 ont été calculées à partir du parc routier le plus lointain disponible (2030), ce qui tend à une majoration des rejets de polluants pour cet horizon.

Le modèle d'émissions du système européen COPERT V calcule les quantités de polluants rejetées par le trafic sur les différentes voies de circulation introduites dans le modèle.

Les émissions sont ainsi évaluées d'après les facteurs d'émission de méthodologies reconnues, principalement à partir du nombre de véhicules et de la vitesse de circulation ainsi que de la longueur des trajets.

<sup>[1]</sup>MEET: Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption - DG Transport, Commission Européenne - 1999.

Les composés à prendre en compte dans les études Air et Santé de type I sont les suivants :

- Oxydes d'azote (NOx) ;
- Particules PM10 et PM2,5 ;
- Monoxyde de carbone (CO) ;
- Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) ;
- Benzène ;
- Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ;
- Arsenic ;
- Nickel ;
- Benzo[a]pyrène.

Pour l'Évaluation des Risques Sanitaires, le calcul des émissions est également nécessaire pour les polluants rappelés ci-dessous :

- 1,3 Butadiène
- Chrome VI
- Acénaphène
- Acénaphthylène
- Anthracène
- Benzo[a]anthracène
- Benzo[a]pyrène
- Benzo[b]fluoranthène
- Benzo[k]fluoranthène
- Chrysène
- Dibenz[a,h]anthracène
- Fluorène
- Fluoranthène
- Indéno[1,2,3-cd]pyrène
- Phénanthrène
- Pyrène
- Benzo[j]fluoranthène
- Benzo[ghi]pérylène

### 6.3.2. Résultats du calcul des émissions de polluants atmosphériques

Le tableau immédiatement suivant dresse la liste des émissions journalières sur la voirie prise en compte dans le réseau d'étude (hors autoroute A6) sur la base du parc routier moyen urbain français de l'IFSTTAR [Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux].

Par rapport à la situation actuelle de 2019, les émissions de polluants atmosphériques vont globalement diminuer pour les scénarios futurs à cause des évolutions du parc routier, c'est-à-dire : apparition et généralisation des améliorations technologiques concernant les moteurs et les systèmes épuratifs des véhicules, et développement des véhicules hybrides et électriques, etc.

Ainsi, les émissions du scénario « 2025 Projet » vont diminuer de -27 % par rapport à 2019 (-1,5 % par rapport au Fil de l'Eau), et celles de la situation « 2035 Projet » vont être réduites de -36 % en comparaison avec l'état actuel (-0,7 % en comparaison avec la situation sans projet).

Tableau 5 : Emissions globales pour les scénarios traités

Composés	2019 Actuel	2025 Fil de l'Eau	2025 Projet	2035 Fil de l'Eau	2035 Projet
<i>Monoxyde de carbone [kg / jour]</i>	68,0	29,6	29,2	23,5	23,4
<i>Dioxyde d'azote [kg / jour]</i>	28,5	15,8	15,6	10,8	10,8
<i>Particules PM10 [kg / jour]</i>	6,81	5,02	4,95	4,55	4,51
<i>Particules PM2,5 [kg / jour]</i>	4,68	3,14	3,09	2,72	2,70
<i>Dioxyde de soufre [kg / jour]</i>	0,80	0,68	0,67	0,63	0,62
<i>COVNM [kg/jour]</i>	4,78	1,22	1,21	0,70	0,69
<i>Arsenic [mg / jour]</i>	2,99	2,57	2,53	2,38	2,37
<i>Nickel [mg / jour]</i>	22,8	19,6	19,3	17,9	17,8
<i>Chrome [mg / jour]</i>	63,3	55,5	54,7	53,7	53,3
<i>Benzène [g / jour]</i>	155,8	40,2	39,6	24,0	23,9
<i>Benzo[a]pyrène [g / jour]</i>	0,21	0,15	0,15	0,13	0,13
<i>1,3 Butadiène [g / jour]</i>	54,4	16,7	16,5	10,6	10,5
<i>Acénaphène [g / jour]</i>	3,68	2,44	2,40	1,94	1,93
<i>Acénaphthylène [g / jour]</i>	2,75	1,83	1,80	1,45	1,45
<i>Anthracène [g / jour]</i>	0,38	0,42	0,41	0,40	0,39
<i>Benzo[a]anthracène [g / jour]</i>	0,36	0,26	0,26	0,22	0,22
<i>Benzo[b]fluoranthène [g / jour]</i>	0,26	0,21	0,20	0,18	0,18
<i>Benzo[ghi]pérylène [g / jour]</i>	0,41	0,34	0,33	0,29	0,29
<i>Benzo[j]fluoranthène [g / jour]</i>	0,13	0,16	0,15	0,15	0,15
<i>Benzo[k]fluoranthène [g / jour]</i>	0,22	0,16	0,16	0,14	0,14
<i>Chrysène [g / jour]</i>	0,66	0,48	0,47	0,41	0,41
<i>Dibenzo[a,h]anthracène [g / jour]</i>	46,1	31,8	31,3	26,3	26,1
<i>Fluoranthène [g / jour]</i>	3,34	2,63	2,59	2,26	2,25
<i>Fluorène [g / jour]</i>	0,27	0,24	0,23	0,23	0,23
<i>Indéno[1,2,3-cd]pyrène [g / jour]</i>	0,20	0,16	0,16	0,14	0,14
<i>Phénanthrène [g / jour]</i>	6,66	5,64	5,56	4,92	4,90
<i>Pyrène [g / jour]</i>	3,04	2,20	2,17	1,85	1,84

Les histogrammes suivants représentent graphiquement les émissions des principaux composés caractéristiques de la pollution routière.

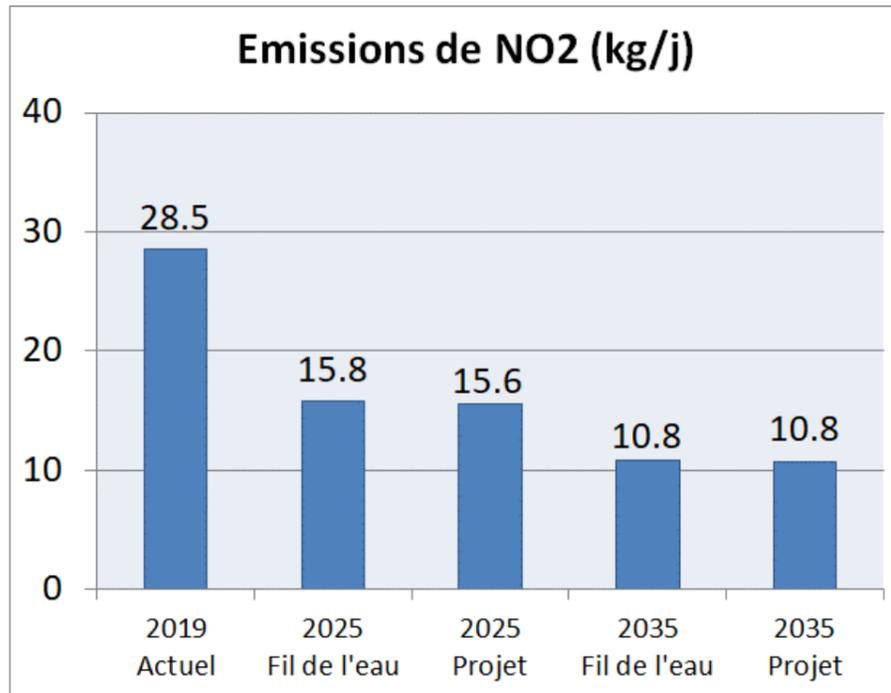


Figure 11 : Emissions journalières – Dioxyde d'azote

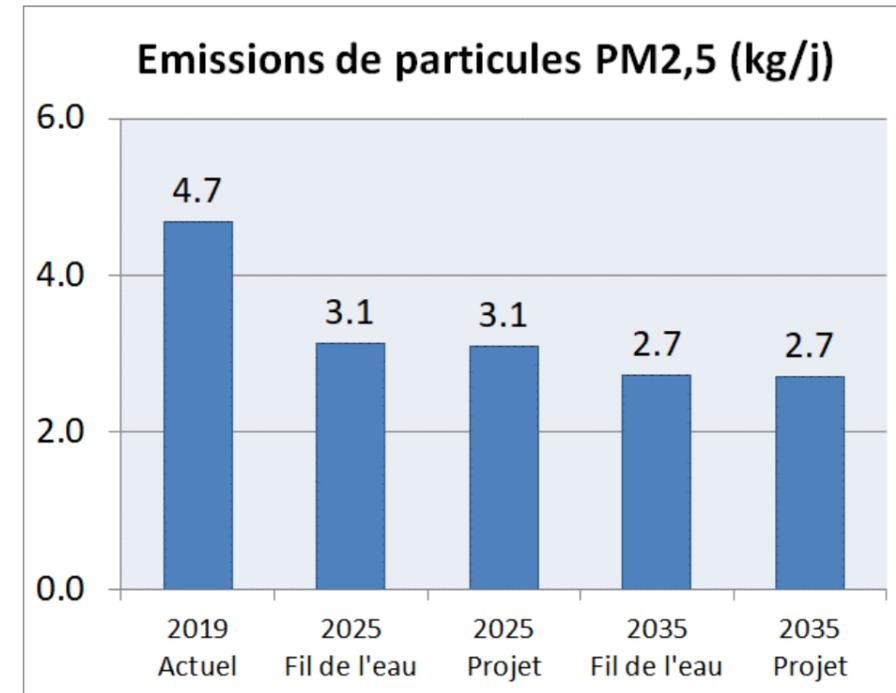


Figure 13 : Emissions journalières – Particules PM2,5

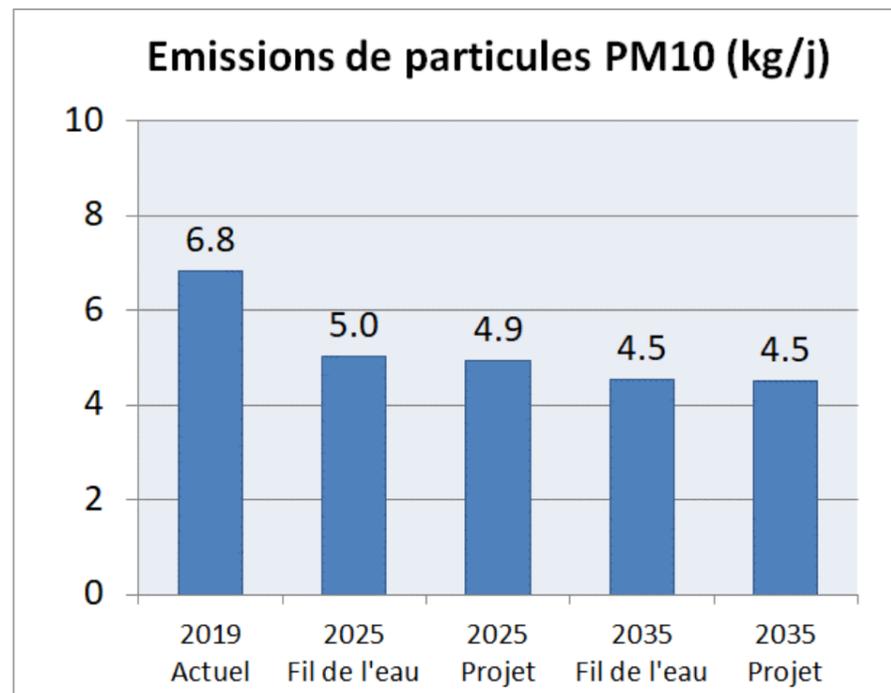


Figure 12 : Emissions journalières – Particules PM10

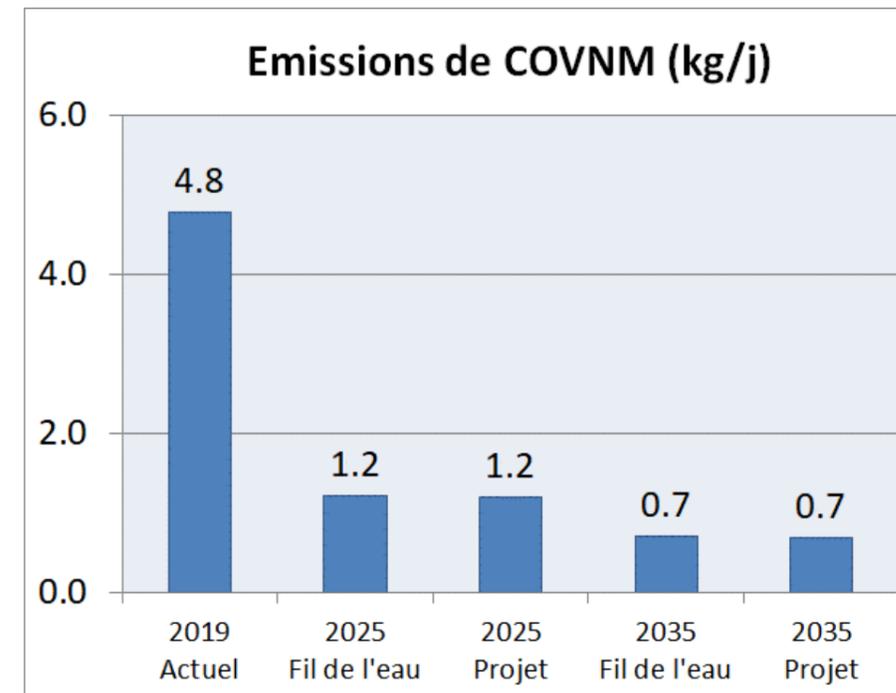


Figure 14 : Emissions journalières – Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

### 6.3.3. Résultats du calcul des émissions de gaz à effet de serre

#### ❖ Présentation

Les gaz à effet de serre (GES) participent au phénomène d'effet de serre, qui permet à une partie du rayonnement solaire d'être absorbée, puis réémise, cela provoquant le réchauffement de la surface de la terre et de l'atmosphère. Leurs émissions doivent donc être maîtrisées de manière à ne pas assister à une augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre, ce qui pourrait avoir des répercussions néfastes sur l'environnement et les écosystèmes.

Le domaine des transports contribue à hauteur d'environ 25 % des émissions de GES, avec notamment les transports routiers dont la combustion des carburants dans les moteurs produit des GES, le plus important étant le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Chaque GES possède un certain pouvoir radiatif. Cette capacité de rayonnement dépend de la qualité chimique du gaz et de sa durée de vie dans l'atmosphère. Pour établir une grille de comparaison, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) a été choisi comme étalon. Ainsi, les émissions de GES sont-elles quantifiées en tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, quel que soit le GES considéré.

Les trois gaz à effet de serre dont les émissions ont été calculées sont les suivants :

- Le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) ;
- Le méthane (CH<sub>4</sub>) ;
- L'oxyde nitreux, ou protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).

#### ❖ Emissions en GES dues au trafic sur la voirie considérée

Ici, la quantification en GES a été effectuée au moyen du logiciel COPERT V pour les émissions engendrées par le trafic de la voirie prise en compte dans le réseau d'étude uniquement.

La quantité moyenne de GES produite quotidiennement – principalement du dioxyde de carbone – est reportée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Quantité de GES produite en kgeqCO<sub>2</sub> / jour

	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
Dioxyde de carbone [CO <sub>2</sub> ]	31 734	27 650	27 239	26 378	26 185
Méthane [CH <sub>4</sub> ]	11,9	5,7	5,6	5,7	5,7
Protoxyde d'azote [N <sub>2</sub> O]	588	436	429	373	371
<b>Total des GES</b>	<b>32 334</b>	<b>28 091</b>	<b>27 674</b>	<b>26 757</b>	<b>26 562</b>

Les émissions de Gaz à Effet de Serre pour les situations avec projet subissent une variation de -14 % à l'horizon 2025 (-1,5 % par rapport à la situation au Fil de l'Eau) et de -18 % en 2035 (-0,7 % par rapport à la situation sans projet).

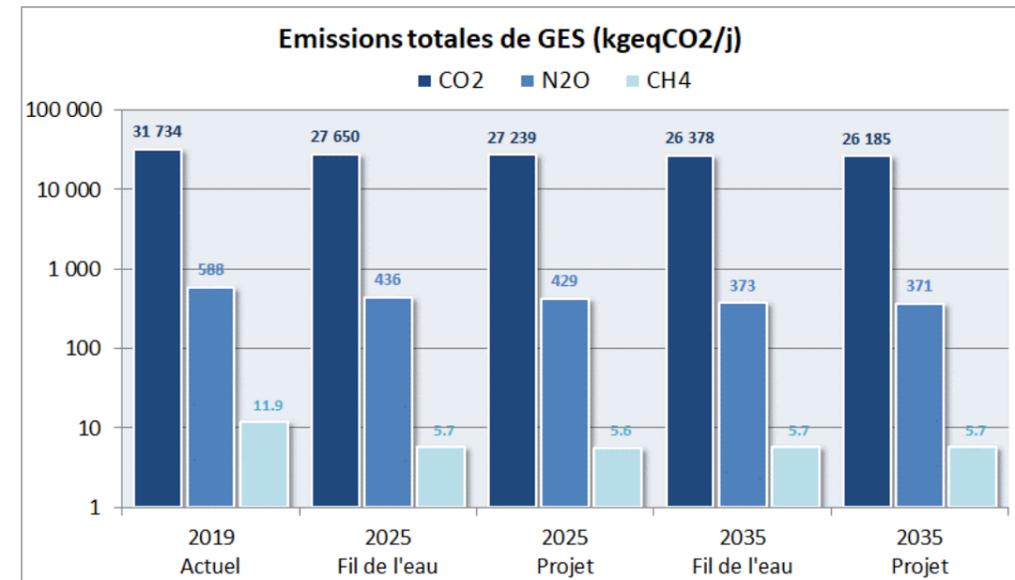


Figure 15 : Evolution des émissions de GES (échelle logarithmique)

## 6.4. SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

L'objectif de la simulation numérique est d'estimer les concentrations en polluants au niveau de la zone d'étude du projet.

Dans le cas étudié ici, le modèle de dispersion atmosphérique utilisé est le logiciel AERMOD (US EPA).

Les calculs de dispersion se basent sur des taux d'émissions prévisionnels, les données météorologiques et la topographie.

### 6.4.1. Méthodologie

Le modèle AERMOD est présenté par l'AERMIC (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee) comme l'état de l'art parmi les modèles de dispersion de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency). Ce modèle a, par ailleurs, été imposé comme modèle de dispersion de l'air obligatoire aux Etats-Unis pour toutes les études réglementaires.

C'est un modèle de type gaussien de dernière génération qui est basé sur la structure turbulente de la couche limite planétaire et des concepts d'échelles, incluant les terrains plats et complexes. Il détermine la vitesse du vent et la classe de stabilité qui donnent lieu aux concentrations maximales.

Ce modèle suppose qu'il n'y a ni déposition lors du transport, ni réaction des polluants.

Ce type de modèle permet de prédire des concentrations au sol de rejets gazeux non réactifs, ou de particules solides.

Par ailleurs, les avantages et les limites de ce type de logiciel sont connus et publiés.

AERMOD contient deux préprocesseurs pour la conversion préalable des données météorologiques et topographiques : Aermat et Aermap.

L'équation de base des modèles gaussiens permettant le calcul des concentrations, est la suivante :

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{2 \cdot \pi \cdot u_{10} \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) \right]$$

- Avec
- C Concentration de polluants au point x,y,z (M/L<sup>3</sup>)
  - Q Débit de la source de polluants en (M/T)
  - U<sub>10</sub> Vitesse moyenne du vent mesurée à 10 m du sol (L/T)
  - σ<sub>y</sub> Ecart-type de la distribution horizontale de turbulence (L)
  - σ<sub>z</sub> Ecart-type de la distribution verticale de turbulence (L)
  - h Hauteur effective de la source de polluants (L)

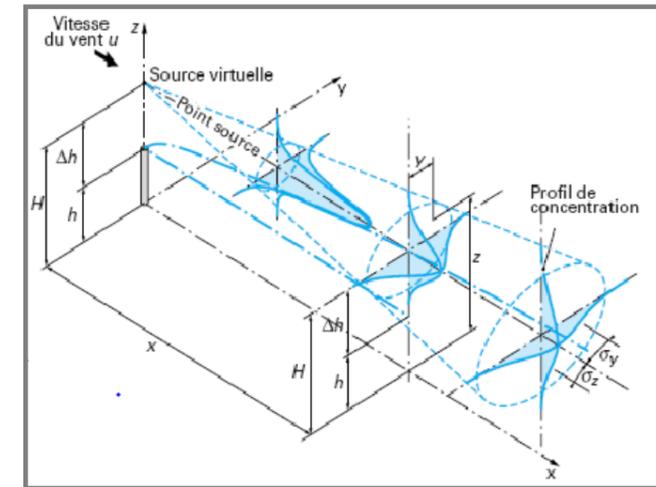


Figure 16 : Modélisation gaussienne d'un panache

La dispersion atmosphérique des polluants est directement influencée par les conditions météorologiques.

Les paramètres nécessaires aux simulations ont été recueillis pour une année complète au niveau de la station météorologique de l'aéroport de Paris-Orly. L'utilisation de données horaires permet d'assurer une bonne représentativité de l'évolution des paramètres.

La figure ci-dessous image la rose des vents utilisée pour les simulations.

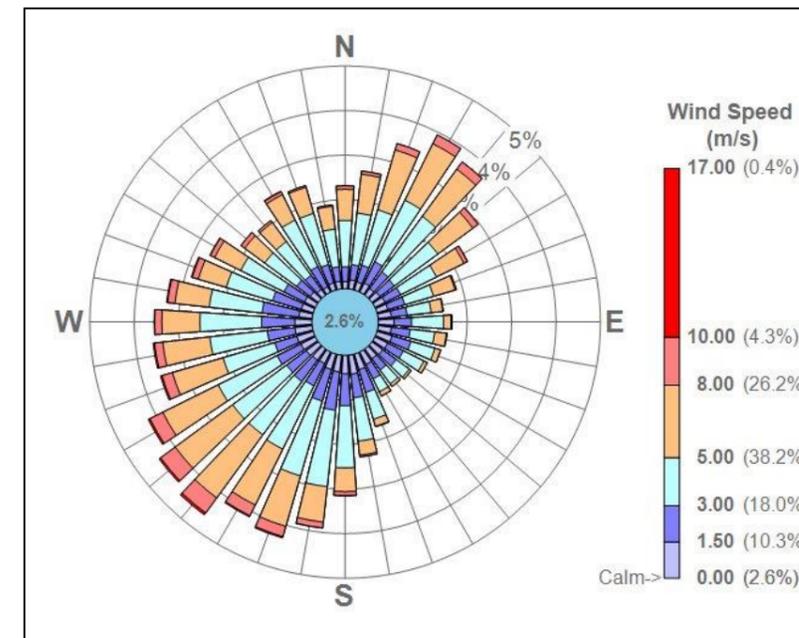


Figure 17 : Rose des vents utilisée pour les simulations

#### 6.4.2. Résultats de la dispersion atmosphérique

Les résultats que l'on retient sont les concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à hauteur d'homme. Ils sont obtenus pour chaque scénario de modélisation retenu.

Les tableaux qui vont suivre présentent les résultats des **concentrations maximales** obtenues, en tenant compte de l'influence de l'autoroute A6 sur l'ensemble de la zone étudiée.

*Remarque importante : Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.*

Tableau 7 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la zone d'étude

Polluants atmosphériques						
COMPOSÉS	Pas de temps	2019 Actuel	2025 Fil de l'Eau	2025 Projet	2035 Fil de l'Eau	2035 Projet
Dioxyde d'azote	Année	52,1	29,9	29,5	20,8	20,8
	Heure	486	303	303	220	220
Particules PM10	Année	9,80	6,98	6,97	6,08	6,07
	Jour	39,0	28,5	28,2	25,6	25,7
Particules PM2,5	Année	7,44	4,64	4,64	3,72	3,69
Dioxyde de soufre	Année	1,34	1,24	1,24	1,18	1,18
	Jour	4,81	4,60	4,59	4,36	4,36
	Heure	11,9	11,5	11,5	11,0	11,0
Monoxyde de carbone	Année	277	147	147	120	120
	Heure	2 997	1 599	1 598	1 296	1 295
Benzène	Année	0,29	0,11	0,11	0,08	0,08
B[a]P	Année	2,96E-04	2,47E-04	2,46E-04	2,16E-04	2,16E-04
Arsenic	Année	5,05E-06	4,67E-06	4,67E-06	4,46E-06	4,46E-06
Nickel	Année	3,86E-05	3,55E-05	3,55E-05	3,36E-05	3,36E-05

Tableau 8 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la zone d'étude pour les polluants spécifiques à l'évaluation des risques sanitaires

Polluants atmosphériques spécifiques à l'évaluation des risques sanitaires						
COMPOSÉS	Pas de temps	2019 Actuel	2025 Fil de l'Eau	2025 Projet	2035 Fil de l'Eau	2035 Projet
1,3 Butadiène	Année	1,02E-01	3,55E-02	3,54E-02	2,60E-02	2,60E-02
Chrome	Année	1,07E-04	1,01E-04	1,01E-04	1,01E-04	1,01E-04
Acénaphène	Année	5,05E-03	3,77E-03	3,76E-03	3,08E-03	3,07E-03
Acénaphthylène	Année	3,78E-03	3,77E-03	2,82E-03	2,30E-03	2,29E-03
Anthracène	Année	6,24E-04	7,29E-04	7,19E-04	7,05E-04	7,05E-04
Benzo[a]anthracène	Année	5,20E-04	4,34E-04	4,31E-04	3,75E-04	3,75E-04
Benzo[a]pyrène	Année	2,96E-04	2,47E-04	2,46E-04	2,16E-04	2,16E-04
Benzo[b]fluoranthène	Année	4,25E-04	3,66E-04	3,65E-04	3,36E-04	3,36E-04
Benzo[ghi]pérylène	Année	5,76E-04	5,29E-04	5,28E-04	4,76E-04	4,74E-04
Benzo[j]fluoranthène	Année	2,90E-04	3,35E-04	3,34E-04	3,36E-04	3,36E-04
Benzo[k]fluoranthène	Année	3,66E-04	3,08E-04	3,08E-04	2,83E-04	2,83E-04
Chrysène	Année	1,09E-03	8,92E-04	8,91E-04	8,05E-04	8,05E-04
Dibenzo[a,h]anthracène	Année	6,73E-05	5,29E-05	5,23E-05	4,42E-05	4,42E-05
Fluoranthène	Année	4,84E-03	4,29E-03	4,28E-03	3,75E-03	3,75E-03
Fluorène	Année	6,99E-04	6,88E-04	6,88E-04	6,88E-04	6,87E-04
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	Année	2,96E-04	2,67E-04	2,65E-04	2,38E-04	2,38E-04
Phénanthrène	Année	9,41E-03	8,98E-03	8,96E-03	8,03E-03	8,02E-03
Pyrène	Année	4,54E-03	3,74E-03	3,66E-03	3,19E-03	3,19E-03

### 6.4.3. Résultats des substances réglementées

Les critères nationaux de qualité de l'air sont définis dans le Code de l'environnement (articles R221-1 à R221-3).

Les normes à respecter en matière de qualité de l'air, sont définies dans le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 qui transpose la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 :

- **Objectif de qualité :** niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ;
- **Seuil d'information et de recommandations :** niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates ;
- **Seuil d'alerte :** niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement justifiant l'intervention de mesures d'urgence ;
- **Valeur-cible :** niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible dans un délai donné ;
- **Valeur-limite :** seuil maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement ;
- **Niveau critique :** niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, au-delà duquel des effets nocifs directs peuvent se produire sur certains récepteurs, tels que les arbres, les autres plantes ou écosystèmes naturels, à l'exclusion des êtres humains.

La liste des substances faisant l'objet d'une réglementation est la suivante :

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| • Le dioxyde d'azote ;   | • Le monoxyde de carbone ; |
| • Les particules PM10 ;  | • Le benzo[a]pyrène ;      |
| • Les particules PM2,5 ; | • L'arsenic ;              |
| • Le benzène ;           | • Le nickel.               |
| • Le dioxyde de soufre ; |                            |

Parmi les composés règlementés, ceux rejetés en quantité par le trafic routier (« traceurs ») sont le dioxyde d'azote et les particules PM10 et PM2,5.

L'analyse des impacts du projet sur la qualité de l'air se portera essentiellement sur les polluants précités.

Dans les paragraphes ci-dessous, il est étudié les effets de la pollution sur les différentes zones d'habitation prévues dans le programme du projet :

- Secteur Places Hautes / Oiseau : îlots A1, A2, B1, B2, C1, C2, E1, E3, G1, G2, H1 et H2 ;
- Secteur Méridien / Solstices : îlot R2.

Les emplacements de ces îlots d'habitation sont repérés figure suivante.



Figure 18 : Emplacements des îlots d'habitation du projet

❖ Dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>]

Les tableaux ci-dessous explicitent les valeurs réglementaires relatives au dioxyde d'azote, ainsi que les résultats des modélisations au niveau de la zone d'étude, et au niveau de la zone la plus impactée de chaque îlot d'habitation du projet.

Tableau 9 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne annuelle

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne annuelle	Valeur-limite		40 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle		
	Recommandation OMS		40 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle		
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>MAXIMUM</b>	52,1	29,9	29,7	20,8	20,8
<b>MOYENNE</b>	7,3	4,4	4,3	3,1	3,1
<b>CENTILE 90</b>	15,5	9,5	9,5	6,8	6,8
<b>CENTILE 80</b>	9,0	5,4	5,4	3,9	3,8
Îlot A1	9,2	5,5	5,4	3,9	3,9
Îlot A2	8,7	5,1	5,1	3,6	3,6
Îlot B1	8,4	5,1	5,0	3,6	3,6
Îlot B2	7,7	4,6	4,6	3,3	3,3
Îlot C1	8,4	5,0	4,9	3,5	3,5
Îlot C2	7,4	4,4	4,4	3,2	3,2
Îlot E1	7,2	4,3	4,2	3,0	3,0
Îlot E3	6,7	4,0	4,0	2,9	2,9
Îlot H1	7,2	4,2	4,2	3,0	3,0
Îlot H2	8,1	4,7	4,7	3,3	3,3
Îlot G1	6,2	3,7	3,7	2,6	2,6
Îlot G2	7,0	4,1	4,1	2,9	2,9
Îlot R2	14,1	8,4	8,3	6,0	5,9
<b>Nota Bene</b>	Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.				

Tableau 10 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne horaire

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne horaire	Valeur-limite		200 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne horaire (18 dépassements autorisés)		
	Recommandation OMS		200 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne horaire		
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>MAXIMUM</b>	485,8	303,0	303,0	220,1	220,0
<b>MOYENNE</b>	80,5	49,3	49,1	35,5	35,4
<b>CENTILE 90</b>	179,5	109,5	109,5	79,6	78,6
<b>CENTILE 80</b>	103,3	63,3	63,1	45,3	45,2
Îlot A1	81,7	46,3	46,2	33,0	33,0
Îlot A2	78,2	45,1	44,8	31,2	31,5
Îlot B1	76,7	47,1	47,1	34,1	34,5
Îlot B2	69,4	42,7	42,5	30,8	30,5
Îlot C1	74,5	43,4	43,0	30,6	30,6
Îlot C2	66,4	41,2	41,2	29,8	29,6
Îlot E1	61,8	38,0	38,0	27,5	27,5
Îlot E3	60,1	37,0	36,8	26,6	26,7
Îlot H1	67,2	39,5	39,0	27,5	27,5
Îlot H2	71,1	40,8	40,0	28,2	28,2
Îlot G1	55,7	34,1	34,1	24,6	24,5
Îlot G2	53,9	33,1	33,1	23,8	23,8
Îlot R2	123,3	74,7	74,7	53,7	52,6
<b>Nota Bene</b>	Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.				

Les teneurs en dioxyde d'azote peuvent se voir élevées aux abords de l'autoroute A6, en particulier pour la situation actuelle.  
 Cependant, aux horizons futurs, les améliorations technologiques apportées aux véhicules routiers (moteurs, systèmes épuratifs des gaz, progression de la part des véhicules électriques ou hybrides, ...) vont entraîner une baisse des émissions et des concentrations d'oxydes d'azote.  
 Ainsi, selon les hypothèses considérées, les habitants de la future ZAC Grande Borne Ouest ne seront pas exposés à des dépassements des valeurs-limites annuelles et horaires en dioxyde d'azote.  
 Par ailleurs, la mise en place du projet n'entraîne pas de différence significative des concentrations calculées au niveau de la zone d'étude et des différents îlots d'habitation du projet.

Les figures suivantes représentent la cartographie des isocontours des différents scénarios étudiés pour le dioxyde d'azote.

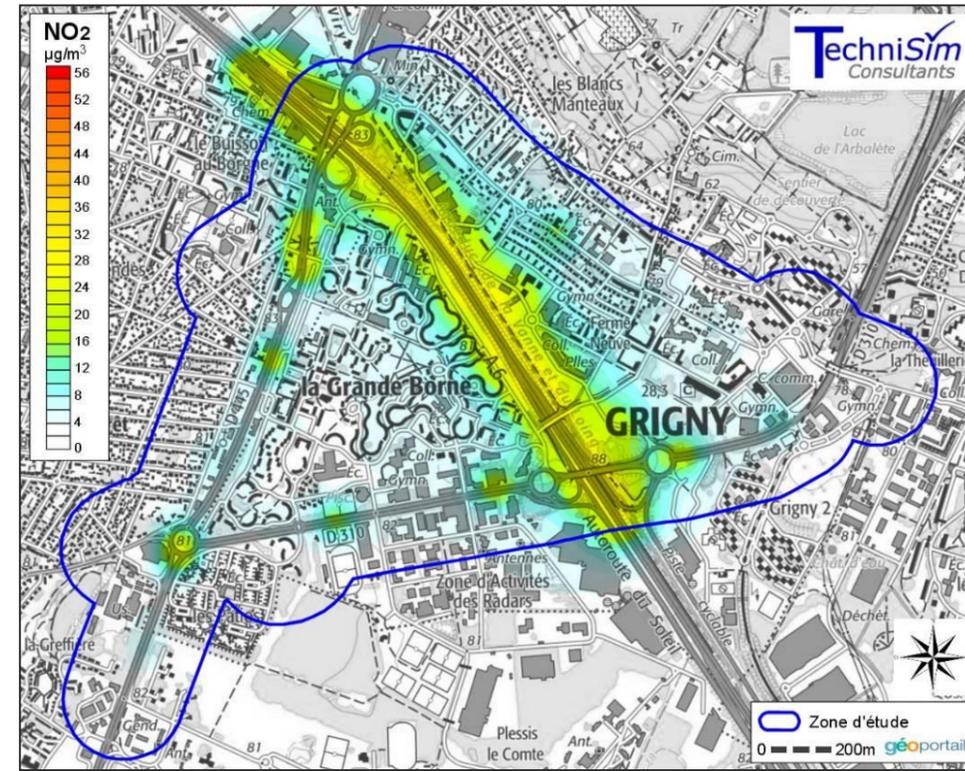


Figure 20 : Horizon 2025 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en  $\text{NO}_2$

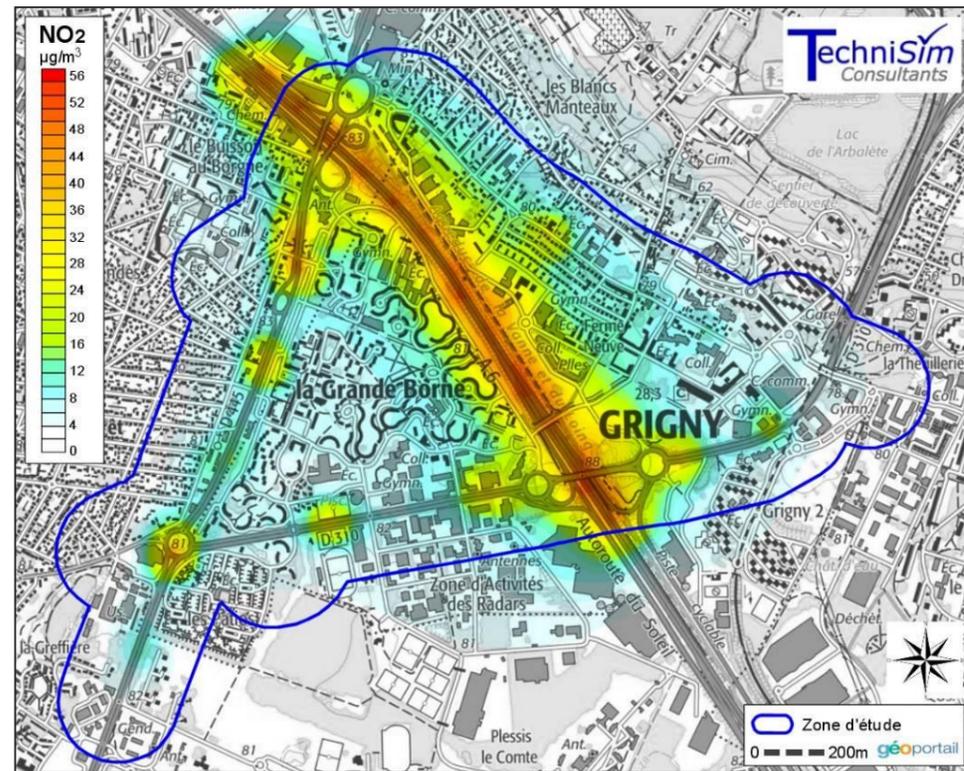


Figure 19 : Horizon 2019 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en  $\text{NO}_2$

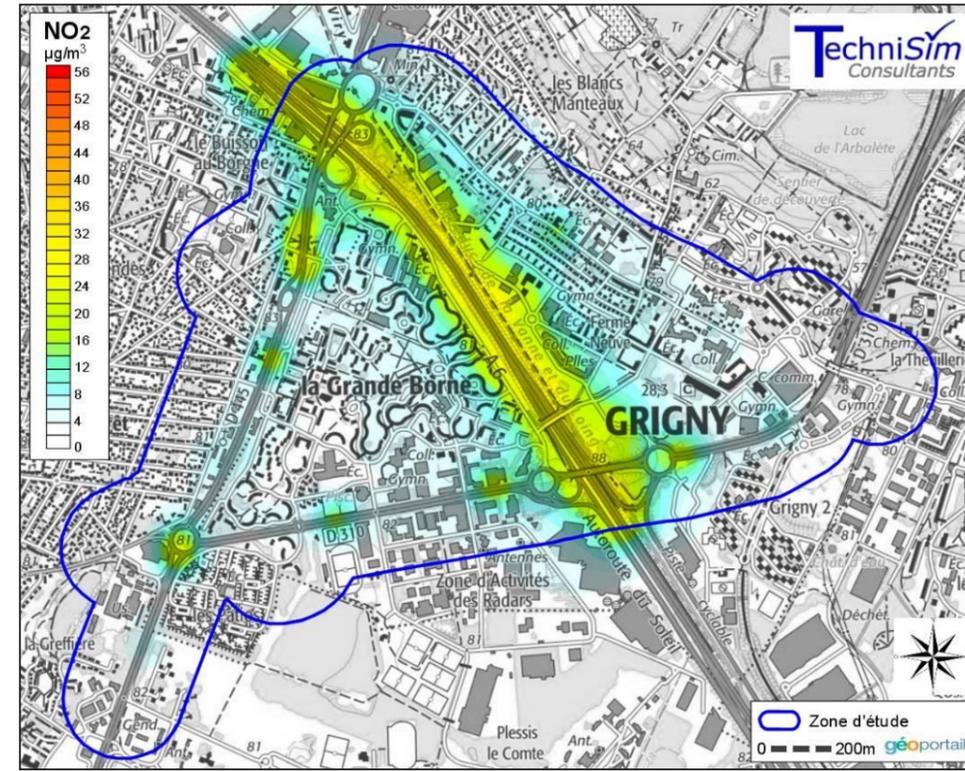


Figure 21 : Horizon 2025 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en  $\text{NO}_2$

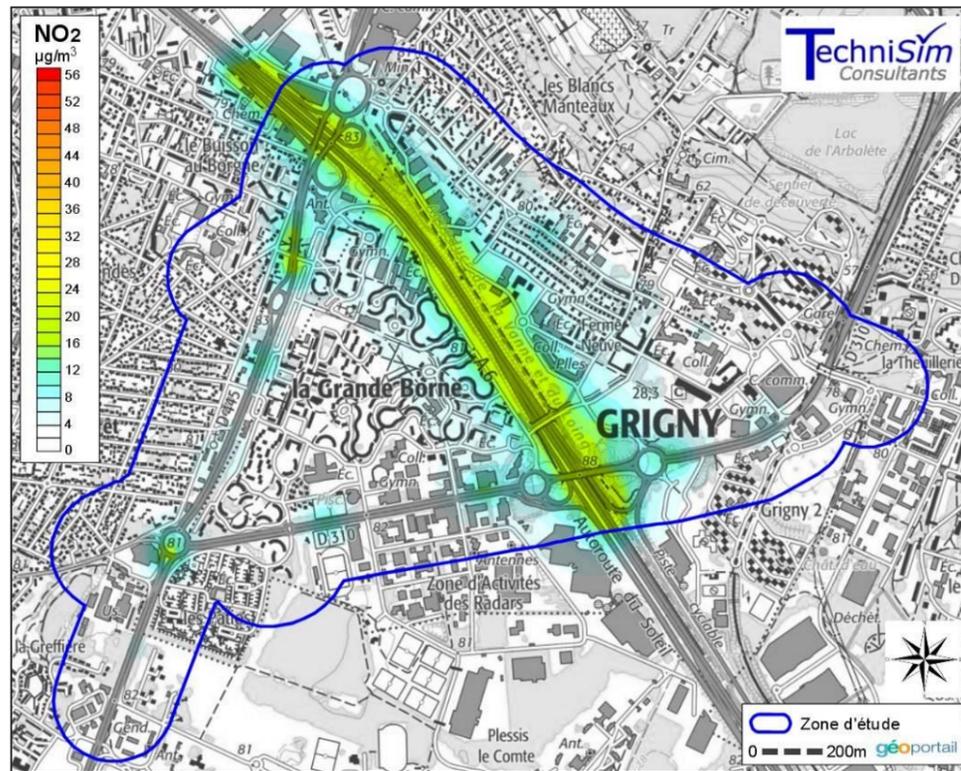


Figure 22 : Horizon 2035 Fil de l'eau – concentration (µg/m³) moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>

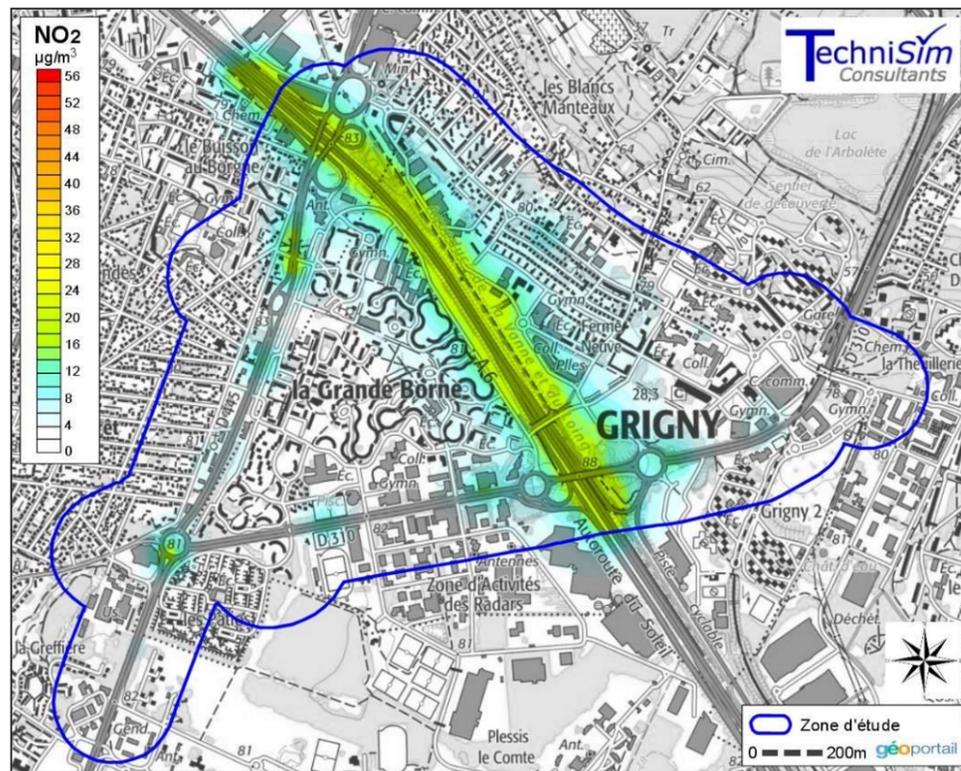


Figure 23 : Horizon 2035 Projet – concentration (µg/m³) moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>

❖ Particules PM10 et PM2,5

Les résultats des modélisations pour les particules PM10 et PM2,5 au niveau de l'ensemble de la zone d'étude, ainsi qu'au niveau de la zone la plus impactée de chaque îlot d'habitation du projet, sont reportés dans les tableaux immédiatement suivants.

Tableau 11 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne annuelle

PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne annuelle	Valeur-limite		40 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle		
	Recommandation OMS		20 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle		
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>MAXIMUM</b>	9,8	7,0	7,0	6,1	6,1
<b>MOYENNE</b>	1,4	1,0	1,0	0,9	0,9
<b>CENTILE 90</b>	3,0	2,1	2,1	1,9	1,9
<b>CENTILE 80</b>	1,7	1,3	1,2	1,1	1,1
Îlot A1	1,9	1,4	1,3	1,2	1,2
Îlot A2	1,8	1,3	1,3	1,1	1,1
Îlot B1	1,7	1,2	1,2	1,0	1,0
Îlot B2	1,5	1,1	1,1	1,0	1,0
Îlot C1	1,7	1,2	1,2	1,1	1,1
Îlot C2	1,5	1,0	1,0	0,9	0,9
Îlot E1	1,4	1,0	1,0	0,9	0,9
Îlot E3	1,3	1,0	1,0	0,8	0,8
Îlot H1	1,5	1,1	1,1	1,0	1,0
Îlot H2	1,8	1,3	1,3	1,1	1,1
Îlot G1	1,2	0,9	0,9	0,8	0,8
Îlot G2	1,5	1,1	1,0	0,9	0,9
Îlot R2	2,8	2,0	2,0	1,8	1,7
<b>Nota Bene</b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>				

Tableau 12 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne journalière

PM10 (µg/m³) Moyenne journalière	Valeur-limite		50 µg/m³ pour la moyenne journalière (35 dépassements autorisés)		
	Recommandation OMS		50 µg/m³ pour la moyenne journalière (3 dépassements autorisés)		
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>39,0</b>	<b>28,5</b>	<b>28,2</b>	<b>25,6</b>	<b>25,7</b>
<b>MOYENNE</b>	6,7	4,8	4,8	4,2	4,2
<b>CENTILE 90</b>	13,9	9,9	9,9	8,6	8,6
<b>CENTILE 80</b>	8,1	5,8	5,8	5,0	5,0
Îlot A1	7,5	5,3	5,3	4,7	4,6
Îlot A2	6,9	4,9	4,9	4,3	4,3
Îlot B1	7,1	5,1	5,1	4,5	4,5
Îlot B2	6,7	4,8	4,7	4,1	4,2
Îlot C1	6,5	4,7	4,7	4,1	4,1
Îlot C2	6,4	4,6	4,6	4,0	4,0
Îlot E1	6,0	4,3	4,3	3,8	3,7
Îlot E3	5,8	4,2	4,2	3,6	3,6
Îlot H1	5,6	4,0	4,0	3,5	3,5
Îlot H2	5,8	4,2	4,1	3,7	3,7
Îlot G1	5,3	3,8	3,8	3,3	3,3
Îlot G2	5,3	3,8	3,8	3,3	3,3
Îlot R2	11,2	8,0	8,0	7,0	6,7
<b>Nota Bene</b>	Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.				

Tableau 13 : Résultats des modélisations pour les particules PM2,5 – moyenne annuelle

PM2,5 (µg/m³) Moyenne annuelle	Valeur-limite		25 µg/m³ pour la moyenne annuelle		
	Recommandation OMS		10 µg/m³ pour la moyenne annuelle		
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>7,4</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>
<b>MOYENNE</b>	1,0	0,7	0,7	0,5	0,5
<b>CENTILE 90</b>	2,2	1,4	1,4	1,1	1,1
<b>CENTILE 80</b>	1,3	0,8	0,8	0,7	0,7
Îlot A1	1,4	0,9	0,9	0,7	0,7
Îlot A2	1,3	0,8	0,8	0,7	0,7
Îlot B1	1,2	0,8	0,8	0,6	0,6
Îlot B2	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
Îlot C1	1,3	0,8	0,8	0,7	0,7
Îlot C2	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
Îlot E1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6
Îlot E3	1,0	0,6	0,6	0,5	0,5
Îlot H1	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
Îlot H2	1,2	0,8	0,8	0,7	0,7
Îlot G1	0,9	0,6	0,6	0,5	0,5
Îlot G2	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
Îlot R2	2,1	1,3	1,3	1,1	1,1
<b>Nota Bene</b>	Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.				

Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations en particules PM10 et PM2,5 diminuent pour les scénarios futurs par rapport à l'état actuel. En effet, les améliorations technologiques apportées aux véhicules (moteurs, systèmes épuratifs des gaz, etc.) vont permettre une diminution des émissions et des concentrations. Regardant les particules PM10 et PM2,5, avec la mise en place du projet, tous les secteurs d'habitation étudiés connaîtront des teneurs respectant les valeurs limites réglementaires et les recommandations OMS. Sous les hypothèses considérées, il n'existe pas de différences significatives entre les scénarios 'avec' et 'sans' projet au niveau des concentrations en particules PM10 et PM2,5.

La cartographie des isocontours des concentrations moyennes pour les différents horizons étudiés pour les particules PM10 est illustrée par les figures suivantes.

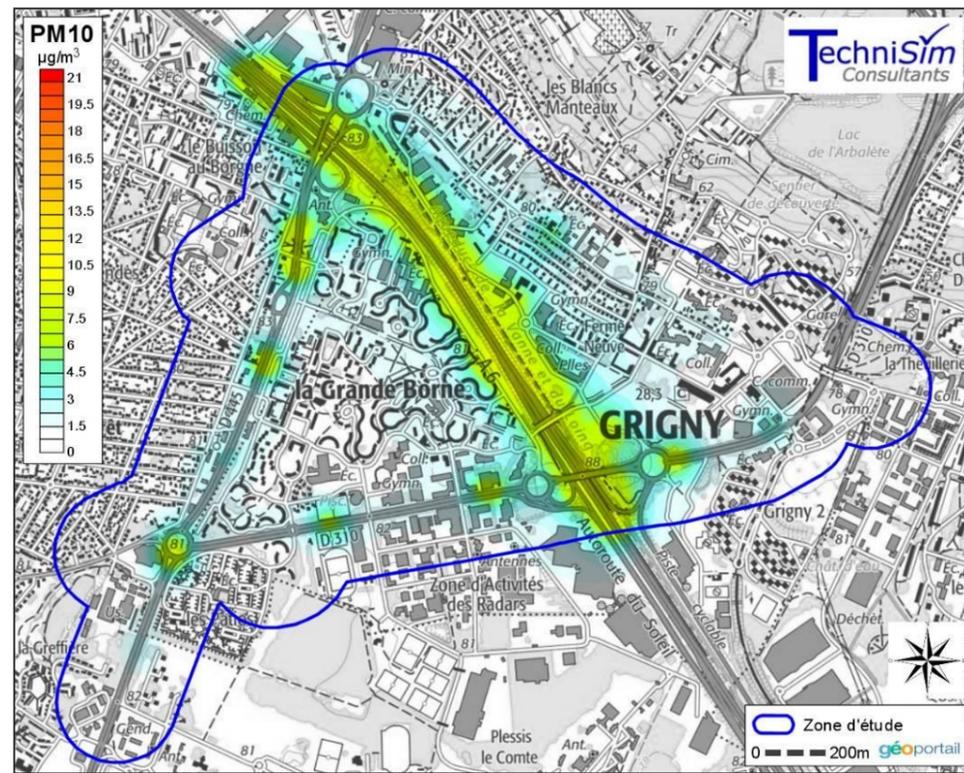


Figure 24 : Horizon 2019 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

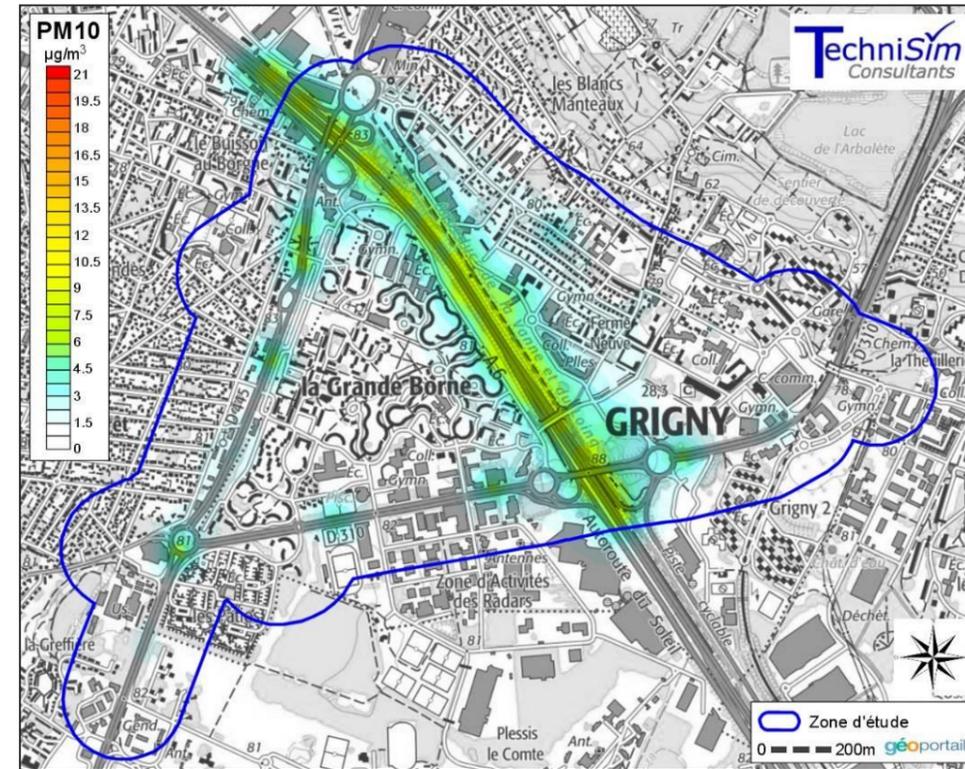


Figure 25 : Horizon 2025 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

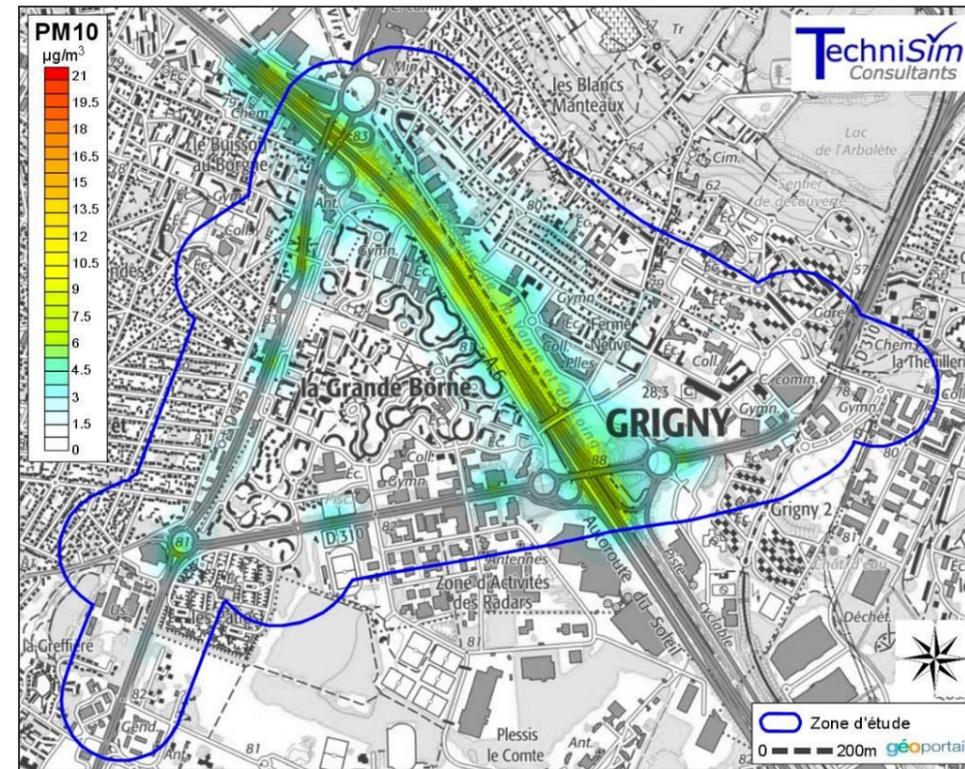


Figure 26 : Horizon 2025 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

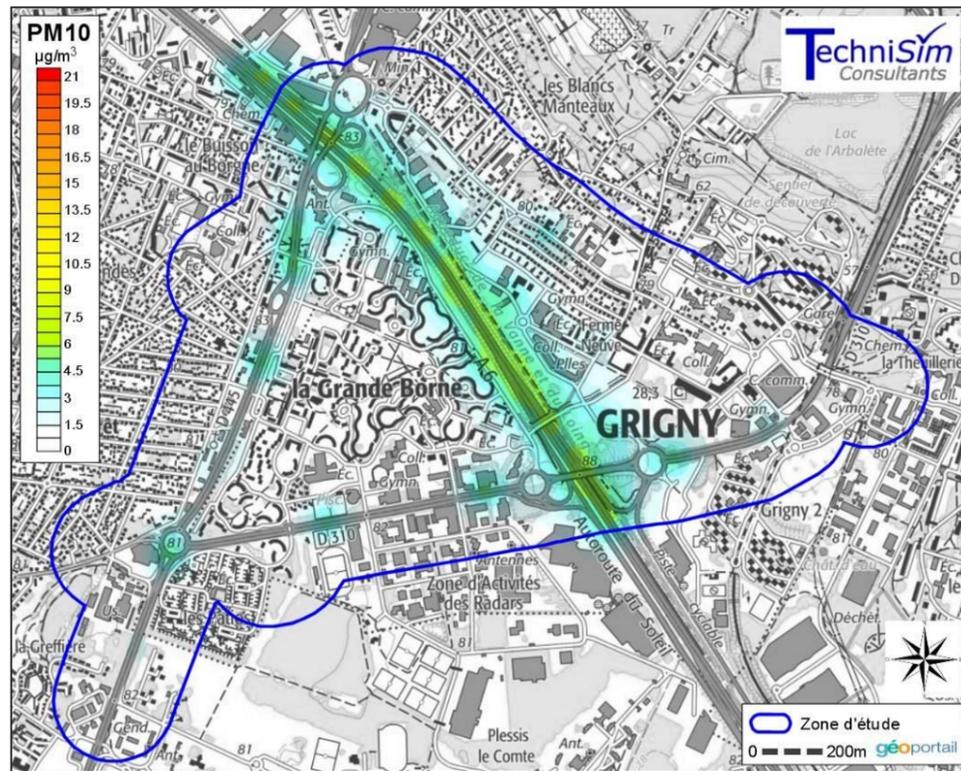


Figure 27 : Horizon 2035 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

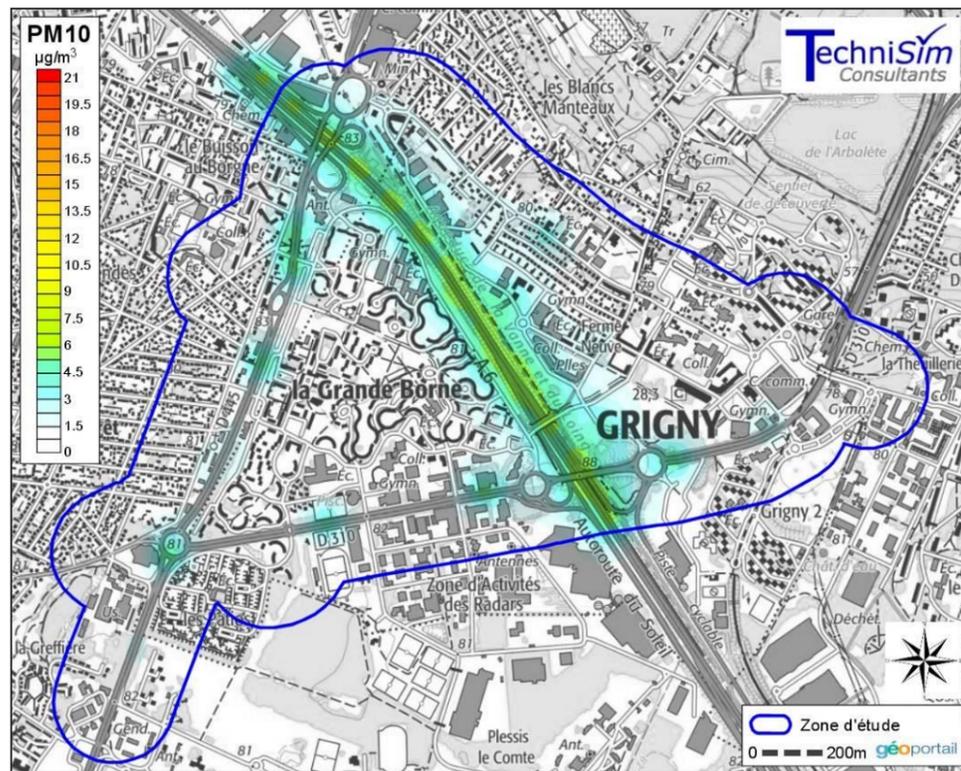


Figure 28 : Horizon 2035 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

❖ **Autres polluants réglementés**

Pour chacun de ces composés, les concentrations obtenues au niveau des secteurs étudiés sont inférieures aux valeurs réglementaires de la qualité de l'air, et cela, pour tous les scénarios considérés.

Les modifications de trafic liées au projet ne provoquent pas de modification significative de la qualité de l'air par rapport à la situation au Fil de l'Eau.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des normes de la qualité de l'air mentionnées dans la réglementation française

POLLUANTS	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil d'information et de recommandations	Seuil d'alerte	Niveau critique	Valeur cible
Dioxyde de soufre	Moyenne journalière : 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 dépassements autorisés)	Moyenne annuelle : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire : 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne annuelle et hivernale : 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	Moyenne horaire : 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 dépassements autorisés)	-	-	-	-	-
Monoxyde de carbone	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-
Arsenic	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzène	Moyenne annuelle : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne annuelle : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-
Nickel	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzo-(a)-pyrène	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 6.5. CONCLUSION DE L'IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Par rapport à la situation actuelle, l'indice VK diminue de -13 % et -15 % respectivement pour les scénarios 2025 et 2035 avec projet. Cette diminution du trafic, associée aux améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs va permettre une amélioration globale de la qualité de l'air sur la zone d'étude. Par rapport à la situation au 'Fil de l'Eau', il est possible de constater que la mise en place du projet n'induit qu'une faible variation du trafic (-1,5 % en 2025 et -0,5 % en 2035). Par conséquent, cela n'aura pas d'impact significatif sur la qualité de l'air. Au niveau des zones d'habitation du projet, les concentrations pour les horizons 2025 et 2035 respecteront les valeurs réglementaires quels que soient les composés.

## 7. EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ

### 7.1. INDICE POLLUTION POPULATION [IPP]

L'Indice Pollution Population [IPP] est un indicateur permettant d'apprécier l'exposition relative de la population à la pollution afin de comparer les scénarios étudiés. Cet indicateur ne reflète effectivement pas l'exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique. Il ne considère que le lieu de résidence, et non pas le quotidien de chaque individu. Néanmoins, cet indice permet une première analyse des différences entre les scénarios étudiés.

#### 7.1.1. Méthodologie

L'Indice Pollution Population [IPP] repose sur le croisement des densités de population avec les concentrations en polluants.

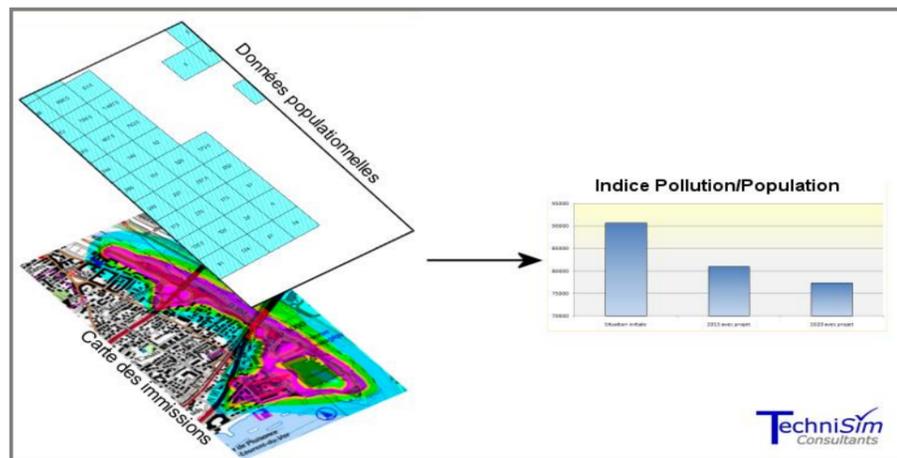


Figure 29 : Schéma conceptuel de la construction de l'IPP

Note : Le polluant « traceur » utilisé pour calculer cet indice est le dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>], puisqu'il s'agit d'un composé rejeté principalement par le trafic routier.

L'IPP est calculé au niveau des zones d'habitation à partir des données de l'INSEE (données carroyées – mailles de 200 mètres).

La cartographie suivante précise les carreaux de la bande d'étude utilisés dans le calcul de l'IPP, ainsi que les projets impliquant la création ou la démolition de logements dans la bande d'étude (données provenant de l'étude de faisabilité / programmation « MS3 Made In »).

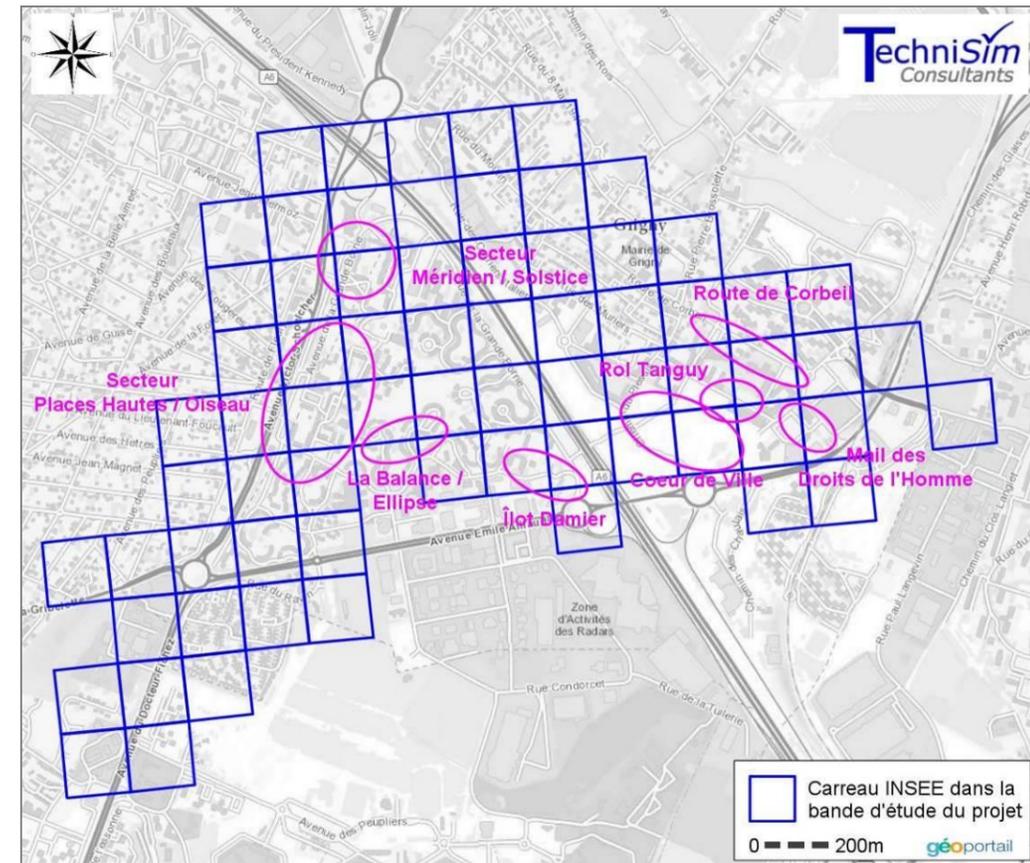


Figure 30 : Carreaux Insee de la bande d'étude et projets connexes considérés

### 7.1.2. Résultats

Les résultats de ces opérations sont indiqués dans le tableau et la figure immédiatement ci-après.

Tableau 15 : Indice Pollution Population

	Indice Pollution Population				
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
<b>IPP NO<sub>2</sub></b>	259 693	162 332 <i>-37 % par rapport à 2019</i>	156 188 <i>-40 % par rapport à 2019</i> <i>-4 % par rapport au fil de l'eau</i>	120 022 <i>-54 % par rapport à 2019</i>	121 406 <i>-53 % par rapport à 2019</i> <i>+1 % par rapport au fil de l'eau</i>

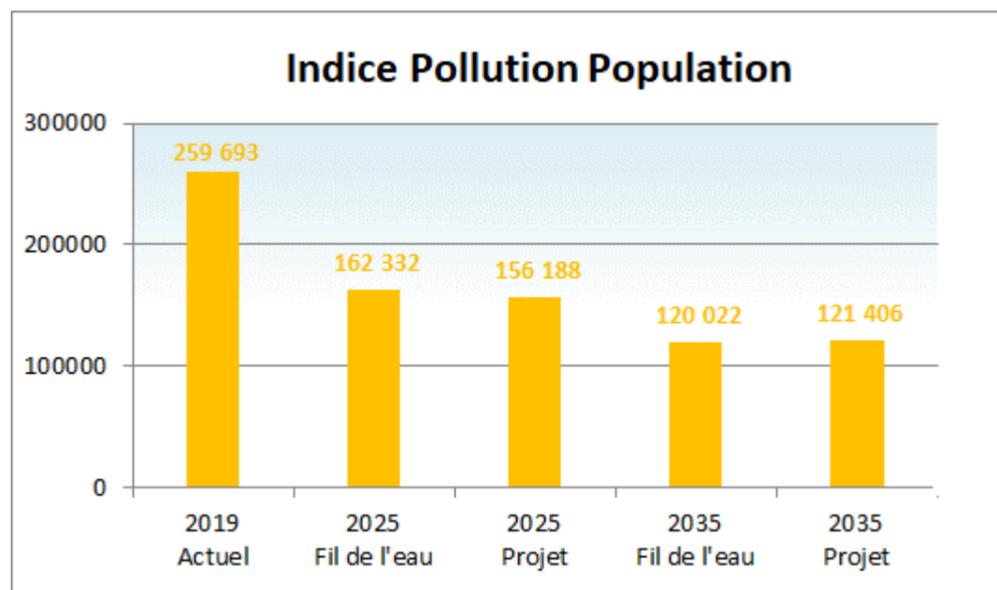


Figure 31 : Indice pollution population – Dioxyde d'azote

Par rapport à l'état actuel, la baisse des émissions futures, combinée à la mise en place des différents projets d'aménagement, va induire une diminution de l'indice IPP pour les scénarios futurs.

Ainsi, l'indice IPP pour les scénarios avec projet varie de -40 % en 2025 et de -53 % en 2035 par rapport à 2019.

En comparaison avec la situation au Fil de l'Eau, la création de la ZAC Grande Borne Ouest entraînera une diminution de l'indice IPP de -4 % avec la démolition des logements prévue en 2025, et une légère augmentation avec la totalité des logements créés en 2035 (+1 %).

### 7.2. ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES [EQRS]

Nota : la réalisation de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) est réalisée au niveau des zones d'habitation les plus exposées des différents secteurs du projet.

La démarche d'EQRS a été proposée pour la première fois en 1983 par l'Académie des Sciences (National Research Council) aux États-Unis. La définition classiquement énoncée souligne qu'elle repose sur « l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses ».

L'objectif de la démarche est l'identification et l'estimation des risques pour la santé de populations vivant des situations environnementales dégradées (que cela provienne du fait des activités anthropiques ou bien du fait des activités naturelles).

L'EQRS permet de calculer soit un pourcentage de population susceptible d'être touchée par une pathologie, soit un nombre de cas attendus de maladie. L'impact sanitaire peut ainsi être déterminé.

L'EQRS est menée selon :

- Le guide de l'InVS de 2007 « Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires » ;
- Le guide de l'Ineris 2013 « Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires » ;
- Le guide de l'Ineris 2011 « Guide pour la conduite d'une étude de zone » ;
- Le guide de l'Ineris 2016 « Choix de valeurs toxicologiques de référence – Méthodologie Ineris » ;
- La note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31/10/14 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués ;
- L'avis de l'Anses de juillet 2012 relatif à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières ;
- la Note technique NOR : TRET1833075N du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières.

La planche suivante schématise conceptuellement l'EQRS réalisée dans ce document.

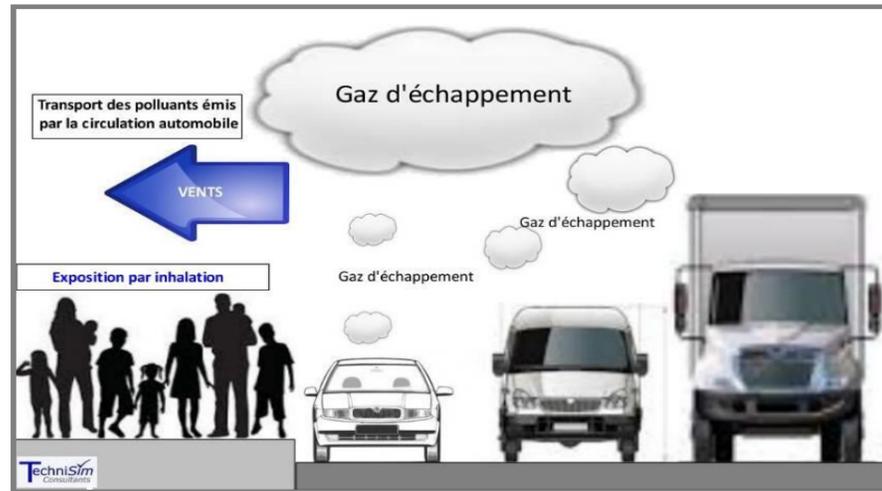


Figure 32 : Schéma conceptuel de la démarche d'une ERS

### 7.2.1. Hypothèses de travail retenues

Les données utilisées proviennent de la simulation numérique de la dispersion atmosphérique des émissions générées par le trafic au niveau des zones les plus exposées de chaque secteur du projet.

La voie d'exposition privilégiée dans l'étude est la voie inhalation.

Il a été pris comme hypothèse que la totalité du chrome émis est du chrome VI (hypothèse majorante) alors que, en réalité, il s'agit d'un mélange de chrome VI (cancérogène) et de chrome III (non cancérogène).

### 7.2.2. Contenu et démarche de l'EQR

Par convention, une EQR est constituée de quatre étapes :

- l'identification des dangers (sélection des substances selon les connaissances disponibles) ;
- la définition des relations doses-réponses (sélection des valeurs toxiques de référence pour chaque polluant considéré) ;
- l'évaluation des expositions des populations aux agents dangereux identifiés selon les voies, niveaux et durées d'exposition correspondants ;
- la caractérisation des risques sanitaires via le calcul des indices sanitaires.

Actuellement, dans le vocabulaire européen, les deux premières étapes sont souvent rassemblées en une phase unique appelée « caractérisation des dangers ».

**Remarque importante :** il convient de bien distinguer le 'danger' du 'risque'. Le danger d'un agent physique, chimique ou biologique correspond à l'effet sanitaire néfaste ou indésirable qu'il peut engendrer sur un individu lorsqu'il est mis en contact avec celui-ci, alors que le risque correspond à la probabilité de survenue d'un effet néfaste indépendamment de sa gravité.

### ❖ Étape n° 1 : L'identification des dangers

L'étape d'identification des dangers consiste à connaître les dangers ou le potentiel dangereux des agents chimiques considérés, associés aux voies d'exposition retenues [InVS, 2000].

Cela consiste en une synthèse des connaissances scientifiques disponibles à l'instant de l'étude débouchant sur un bilan de ce que l'on sait, de ce que l'on ignore et de ce qui est incertain.

On distingue les effets selon plusieurs critères.

La toxicité d'une substance peut être qualifiée de :

- **Aiguë** : manifestation de l'effet à court terme, de l'administration d'une dose unique de substance ;
- **Subchronique** : manifestation de l'effet de l'administration répétée d'une substance, pendant une période de 14 jours à 3 mois ;
- **Chronique** : manifestation de l'effet de l'administration répétée d'une substance, pendant une période supérieure à 3 mois.

Par ailleurs, une substance peut avoir des effets distincts selon son mode d'exposition, c'est-à-dire selon qu'elle est inhalée ou ingérée (les organes en contact étant bien sûr différents).

Au niveau des effets, on distingue les effets selon qu'ils sont « à seuil » ou « sans seuil » :

- **Les effets toxiques « à seuils »** correspondent aux effets aigus et aux effets chroniques non cancérogènes, non génotoxiques et non mutagènes. On admet qu'il existe une dose limite au-dessous de laquelle le danger ne peut apparaître. La **Valeur Toxique de Référence [VTR]** correspond alors à cette valeur. Pour ce type d'effet, la gravité est proportionnelle à la dose.
- **Les effets toxiques « sans seuils »** correspondent pour l'essentiel à des effets cancérogènes génotoxiques et des mutations génétiques, pour lesquels la fréquence - et non la gravité - est proportionnelle à la dose. L'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque, infime mais non nul, qu'une seule molécule pénétrant dans le corps provoque des changements dans une cellule à l'origine d'une lignée cancéreuse. La VTR est alors un **Excès de Risque Unitaire (ERU)** de cancer.

Dans le cadre de cette opération, les polluants retenus sont ceux issus de la Note technique du 22/02/2019.

### ❖ Étape n° 2 : L'estimation de la dose-réponse

Cette étape permet d'estimer le risque en fonction de la dose.

En toxicologie animale ou en épidémiologie, les effets sont généralement connus en ce qui concerne de hautes doses (expérimentations contrôlées, expositions professionnelles, accidentelles).

Or, pour connaître les risques encourus à basses doses, telles qu'elles sont présentes dans notre environnement, il est nécessaire d'extrapoler les risques observés, c'est-à-dire : des hautes doses vers les basses doses, à partir de l'étude de la relation dose-effet.

Cette relation s'étudie notamment grâce à des méthodes statistiques, épidémiologiques, toxicologiques et pharmacologiques et en particulier de la modélisation mathématique. Cela permet de définir des **V**aleurs **T**oxicologiques de **R**éférence (VTR) qui traduisent le lien entre la dose de la substance toxique et l'occurrence ou la sévérité de l'effet étudié dans la population.

Le calcul des VTR est différent selon le danger considéré. Il s'effectue par une approche :

- Déterministe, lorsqu'il s'agit des effets « avec seuils »
- Probabiliste, lorsqu'il s'agit des effets « sans seuils »

➤ Pour les effets à seuils, la VTR correspond à la dose en dessous de laquelle le ou les effets néfastes n'apparaissent pas. Cette dose est calculée à partir de la dose expérimentale reconnue comme la plus faible sans effet (dose dite 'NOEL' pour No Observed Effect Level) et d'une série de facteurs de sécurité. Ces facteurs de sécurité prennent en compte différentes incertitudes comme en particulier les difficultés de transposition de l'animal à l'homme (variabilité intra et inter-espèces), les durées d'exposition, la qualité des données, etc.

La VTR est alors calculée mathématiquement par division de la dose NOEL par le produit des différents facteurs de sécurité pris en compte. En dessous de ce seuil de dose, la population est considérée comme protégée.

➤ Pour les effets sans seuils, la VTR est alors un **Excès de Risque Unitaire** [ERU] de cancer. L'ERU est calculé soit à partir d'expérimentations chez l'animal, soit d'études épidémiologiques chez l'homme. Cette valeur est le résultat des extrapolations des hautes doses aux basses doses à travers des modèles mathématiques. L'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque, infime mais non nul, qu'une seule molécule pénétrant dans le corps provoque des changements dans une cellule à l'origine d'une lignée cancéreuse.

Concernant la voie respiratoire, l'ERU est l'inverse d'une concentration dans l'air et s'exprime en  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ . Il représente la probabilité individuelle de développer un cancer pour une concentration de produit toxique de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans l'air inhalé par un sujet pendant toute sa vie.

La sélection des VTR pour chaque substance d'effectue selon le logigramme ci-après.

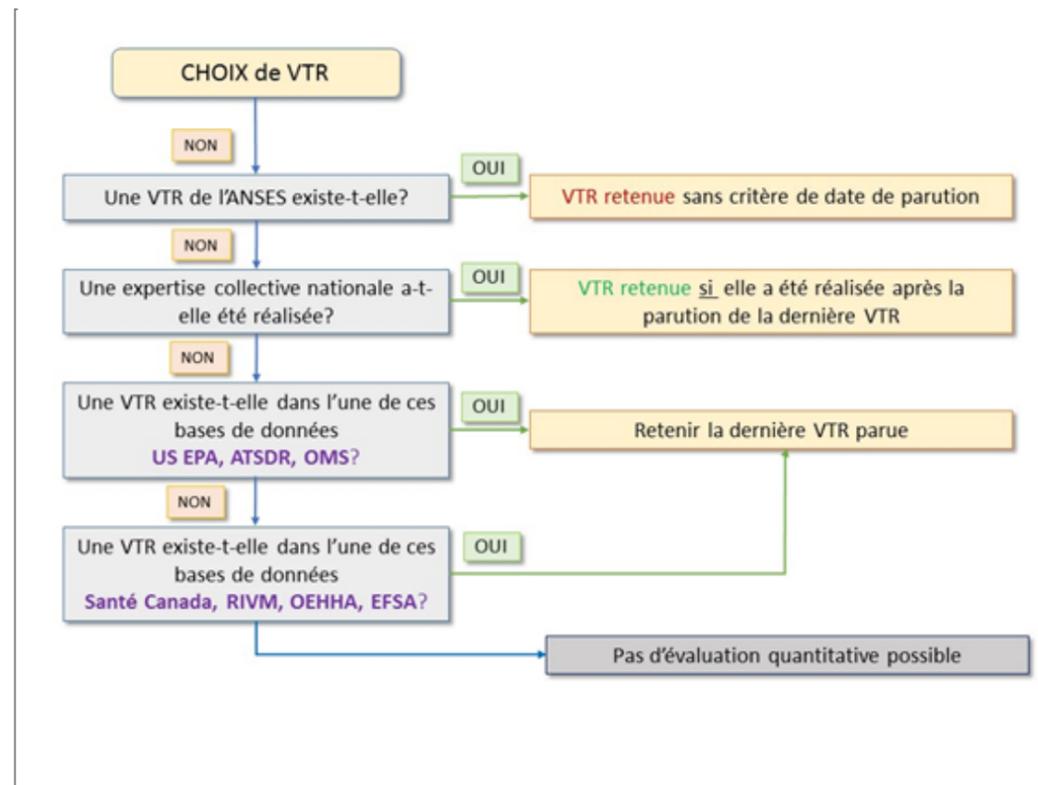


Figure 33 : Logigramme – Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Les VTR retenues pour l'étude des risques sanitaires sont présentées dans les tableaux immédiatement suivants.

Tableau 16 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour les effets à seuil – Exposition Chronique par inhalation

Substances	N°CAS	Voie d'exposition (durée)	Effet(s) critique(s)	VTR	Unité	Facteur d'incertitude	Source	Année de révision	Justification du choix de la VTR
<i>Benzène</i>	71-43-2	Inhalation (chronique)	Diminution du nombre des lymphocytes	<b>10</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anses	2008	VTR de l'Anses
<i>1,3-Butadiène</i>	106-99-0	Inhalation (chronique)	Atrophie ovarienne	<b>2,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	1 000	US EPA	2002 b	VTR retenue par l'Ineris
<i>Benzo(a)pyrène</i>	50-32-8	Inhalation (chronique)	Effets sur la survie du fœtus	<b>2,0E-03</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	US EPA	2017	Seule VTR disponible
<i>Arsenic</i>	7440-38-2	Inhalation (chronique)	Effets neurologiques et troubles du comportement	<b>0,015</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolation	OEHHA	2008	VTR retenue par l'Ineris
<i>Chrome VI</i>	7440-47-3	Inhalation (chronique)	Chrome IV sous forme particulaire - Modifications des niveaux de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage bronchioloalvéolaire	<b>3,0E-02</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	300	OMS CICAD	2013	VTR retenue par l'Ineris
<i>Nickel</i>	7440-02-0	Inhalation (chronique)	Lésions pulmonaires	<b>0,23</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	TCEQ	2011	VTR retenue par l'Anses
<i>Particules diesel</i>	-	Inhalation (chronique)	Irritations des voies respiratoires et effets cardiovasculaires	<b>5,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	US EPA	2003	Seule VTR disponible
<i>Particules PM10</i>	-	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Particules PM2,5</i>	-	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Dioxyde d'azote</i>	10102-44-0	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Dioxyde de soufre</i>	7446-09-5	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Monoxyde de carbone</i>	630-08-0	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Acénaphène</i>	83-32-9	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Acénaphylène</i>	208-96-8	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Anthracène</i>	120-12-7	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Benzo[a]anthracène</i>	56-55-3	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Benzo[b]fluoranthène</i>	205-99-2	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Benzo[k]fluoranthène</i>	207-08-9	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Chrysène</i>	218-01-9	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Dibenzo[a,h]anthracène</i>	53-70-3	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Fluorène</i>	86-73-7	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Fluoranthène</i>	206-44-0	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Indéno[1,2,3-cd]pyrène</i>	193-39-5	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Phénanthrène</i>	85-01-8	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Pyrène</i>	129-00-0	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Benzo[j]fluoranthène</i>	205-82-3	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						
<i>Benzo[ghi]pérylène</i>	191-24-2	Inhalation (chronique)	<i>Aucune VTR disponible</i>						

Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour les effets sans seuil par inhalation

Substances	N°CAS	Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)/Effet(s) critique(s)	VTR	Unité	Source	Année de révision	Justification du choix de la VTR
<i>Benzène</i>	71-43-2	Inhalation	Leucémies aiguës	<b>2,60E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	Anses	2013	VTR de l'Anses
<i>1,3-Butadiène</i>	106-99-0	Inhalation	Leucémies	<b>3,00E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	US EPA	2002	VTR retenue par l'Ineris
<i>Arsenic</i>	7440-38-2	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>1,50E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	TCEQ	2012	VTR retenue par l'Anses
<i>Chrome VI</i>	7440-47-3	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>4,00E-02</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	OMS	2000	VTR retenue par l'Ineris
<i>Nickel</i>	7440-02-0	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>2,60E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	OEHHA	2011	VTR retenue par l'Ineris
<i>Particules diesel</i>	-	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>3,40E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	OMS	1996	Seule VTR disponible
<i>Dibenzo[a,h]-anthracène</i>	53-70-3	Inhalation	Effets sur le foie, la peau, le système immunologique	<b>1,20E-03</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	OEHHA	2009	Seule VTR disponible
<i>Particules PM10</i>	-	Inhalation	<i>Aucune VTR disponible</i>					
<i>Particules PM2,5</i>	-	Inhalation	<i>Aucune VTR disponible</i>					
<i>Dioxyde d'azote</i>	10102-44-0	Inhalation	<i>Aucune VTR disponible</i>					
<i>Dioxyde de soufre</i>	7446-09-5	Inhalation	<i>Aucune VTR disponible</i>					
<i>Monoxyde de carbone</i>	630-08-0	Inhalation	<i>Aucune VTR disponible</i>					
<b>HAP – VTR basées sur les Facteurs d'Equivalence Toxique (FET) à partir de la VTR du Benzo[a]pyrène</b>								
<i>Benzo(a)pyrène</i>	50-32-8	Inhalation	Incidence des tumeurs (type non spécifié) du tractus respiratoire supérieur (cavités nasales, larynx et trachée) <b>Facteur d'Equivalence Toxique = 1 (référence)</b>	<b>1,10E-03</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	Dernière VTR parue
<i>Acénaphthylène</i>	208-96-8	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Acénaphthène</i>	83-32-9	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Anthracène</i>	120-12-7	Inhalation	FET : 0,01	<b>1,10E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Benzo[a]anthracène</i>	56-55-3	Inhalation	FET : 0,1	<b>1,10E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Benzo[b]fluoranthène</i>	205-99-2	Inhalation	FET : 0,1	<b>1,10E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Benzo[g,h,i]pérylène</i>	191-24-2	Inhalation	FET : 0,01	<b>1,10E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Benzo[j]fluoranthène</i>	205-82-3	Inhalation	FET : 0,1	<b>1,10E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Benzo[k]fluoranthène</i>	207-08-9	Inhalation	FET : 0,1	<b>1,10E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Chrysène</i>	218-01-9	Inhalation	FET : 0,01	<b>1,10E-05</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Fluoranthène</i>	206-44-0	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Fluorène</i>	86-73-7	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Indéno[1,2,3-cd]pyrène</i>	193-39-5	Inhalation	FET : 0,1	<b>1,10E-04</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Phénanthrène</i>	85-01-8	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		
<i>Pyrène</i>	129-00-0	Inhalation	FET : 0,001	<b>1,10E-06</b>	[µg/m³] <sup>-1</sup>	VTR induite d'après les FET de l'avis de l'Anses du 12/07/12		

❖ **Étape n°3 : Évaluation des expositions**

L'exposition d'une population à une substance toxique est dépendante de deux facteurs :

- La concentration de la substance dans les compartiments environnementaux et son comportement physico-chimique ;
- Les voies et conditions d'exposition des individus en contact avec cette substance.

En pratique, à partir des rejets du trafic, il s'agit d'établir un schéma décrivant les voies de passage des polluants depuis les différents compartiments environnementaux jusque vers les populations-cibles.

Il est ensuite identifié les voies de pénétration des polluants dans l'organisme. Celles-ci sont de trois types : ingestion, inhalation et contact cutané.

Les modes de transfert des polluants dans les différents compartiments environnementaux sont également identifiés.

Le devenir d'une substance dépend de ses propriétés physico-chimiques ainsi que des conditions environnementales.

À partir d'un compartiment donné, le composé considéré peut, soit :

- Être dispersé/transporté vers un autre compartiment ;
- Être transformé ;
- S'accumuler.

L'évaluation des expositions se déroule selon plusieurs étapes.

Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer les niveaux d'exposition à l'aide de mesures réalisées sur site ou à l'aide de la modélisation.

Ensuite, il s'agit de définir pour les cibles et/ou les populations identifiées, ainsi que pour les voies d'exposition identifiées, des scénarios d'exposition cohérents visant à considérer essentiellement : soit les expositions de type chronique, soit les expositions récurrentes ou continues correspondant à une fraction significative de la durée de vie.

Dans la situation étudiée, différents scénarios d'exposition sont considérés pour les résidents des secteurs étudiés, c'est-à-dire :

- **Résident de la zone d'étude** : ce scénario considère les habitants de la zone d'étude
- **Résident des îlots A1, A2, B1, B2, C1, C2, E1, E3, G1, G2, H1 et H2**. Ces scénarios considèrent les résidents du secteur Places Hautes / Oiseau
- **Résident de l'îlot R2** : ce scénario considère les résidents du secteur Méridien / Solstices.

L'étape suivante consiste à estimer les quantités de substance absorbées par les individus du domaine examiné.

Pour l'inhalation, la dose journalière est en fait une concentration inhalée. Comme on considère des expositions de longue durée, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée quotidiennement.

Celle-ci se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$CI = \left( \sum_i (Ci \times ti) \right) \times F \times \frac{T}{Tm}$$

CI	Concentration moyenne inhalée	[µg/m³]
ti	Fraction du temps d'exposition à la concentration CI pendant une journée	[Sans dimension]
F	Fréquence ou taux d'exposition => nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours	
T	Nombre d'années d'exposition	[année]
Tm	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée	[année]

Pour les polluants avec effets "à seuils", l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition, soit T = Tm.

Alors que pour les effets "sans seuils", Tm sera assimilé à la vie entière prise conventionnellement égale à 70 ans.

Les paramètres associés aux scénarios d'exposition retenus sont indiqués dans le tableau ci-après.

**Tableau 18 : Scénarios d'exposition**

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
<b>Résident de la zone d'étude</b>	Domicile	Vie entière : 70 ans 24 h/jour – 7 jours/semaine – 50 semaines/an Pas d'exposition pendant 2 semaines de congés annuels	Concentration correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
<b>Résident du projet (îlots A1, A2, B1, B2, C1, C2, E1, E3, G1, G2, H1, H2 et R2)</b>	Domicile	Vie entière : 70 ans 24 h/jour – 7 jours/semaine – 50 semaines/an Pas d'exposition pendant 2 semaines de congés annuels	Concentrations relevées au niveau de la zone étudiée

Pour les scénarios « Résident », il est considéré, de manière conservatrice, que **la personne vit exclusivement sur le secteur du projet étudié.**

Il est retenu qu'elle est exposée sans interruption aux teneurs calculées, excepté lors de deux semaines de vacances par an.

❖ **Étape n°4 : Caractérisation des risques**

La caractérisation des risques est réalisée à l'aide du calcul des indices de risques. Ces indices diffèrent selon que l'on examine les effets « à seuils » ou « sans seuils ».

➤ Pour les effets toxiques « à seuils », l'expression déterministe de la survenue d'un effet toxique dépend du dépassement d'une valeur : la Valeur Toxicologique de Référence [VTR].  
On calcule alors un Quotient de Danger [QD], qui correspond au rapport de la dose journalière exposition sur la VTR.

$$QD = CMI/CAA$$

CMI Concentration Moyenne Inhalée [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  
CAA Concentration Admissible dans l'Air / concentration de référence [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Lorsque le QD est inférieur à 1, cela signifie que la population exposée est théoriquement hors de danger, et ce, même pour les populations sensibles, compte tenu des facteurs de sécurité utilisés.  
Si, au contraire, le QD est supérieur ou égal à 1, cela signifie que l'effet toxique peut se déclarer sans qu'il soit possible de prédire la probabilité de survenue de cet événement.

➤ Pour les effets toxiques « sans seuils », on calcule l'excès de risque individuel [ERI] par inhalation, en rapportant l'excès de risque unitaire [ERU] à la concentration atmosphérique inhalée [CI] pour l'inhalation.

$$ERI = ERU_i \times CMI$$

CMI Concentration Moyenne Inhalée [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  
ERU<sub>i</sub> Excès de Risque Unitaire par inhalation [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]<sup>-1</sup>

L'interprétation des résultats s'effectue ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas bien entendu de seuil absolu d'acceptabilité, mais la valeur de 10<sup>-6</sup> (soit 1 cas de cancer supplémentaire sur 1 million de personnes exposées durant leur vie entière) est considérée aux Etats-Unis comme le seuil de risque négligeable et 10<sup>-4</sup> comme le seuil de l'inacceptable en population générale.

**En France, l'InVS utilise la valeur de 10<sup>-5</sup>.**

Ce seuil de 10<sup>-5</sup> est souvent retrouvé dans la définition des valeurs-guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air par l'OMS.

Cependant, le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP)<sup>4</sup> précise que cette lecture binaire est réductrice et que, compte tenu des précautions prises avec l'application de facteurs d'incertitude dans leur construction, **le dépassement d'une VTR ne signifie aucunement le risque d'apparition d'un effet délétère dans la population, sauf si ce dépassement est conséquent et gomme en partie les facteurs d'incertitude.** Ainsi, en matière de décision publique, pour les études de zones, la notion de « risque acceptable » doit être abandonnée pour utiliser celle « de seuils et d'intervalles de gestion ».

Le HCSP recommande l'utilisation des valeurs repères suivantes, après lecture critique des incertitudes attachées à l'exercice d'ERS :

- Un domaine d'action rapide pour un ERI >10<sup>-4</sup> et/ou un QD > 10
- Un domaine de vigilance active pour un 10<sup>-5</sup> < ERI < 10<sup>-4</sup> et/ou un 1 < QD < 10
- Un domaine de conformité pour un ERI < 10<sup>-5</sup> et/ou un QD < 1

Par ailleurs, les effets conjugués sont pris en considération dans l'EQRS car les individus sont rarement exposés à une seule substance.

Afin de prendre en considération les effets des mélanges, on procède comme suit :

- Pour les effets à seuils : les QD sont additionnés uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible ;
- Pour les effets sans seuils : la somme des ERI est effectuée, quel que soit l'organe cible.

**7.2.3. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets à seuils : Quotient de danger**

Les concentrations inhalées sont calculées sur la base des scénarios d'exposition (durée de vie passée sur le lieu) et des concentrations rencontrées.  
A partir des concentrations inhalées, les quotients de dangers sont ensuite déterminés par polluants et par organes-cibles.

Les quotients de dangers pour les scénarios étudiés sont présentés dans le tableau immédiatement suivant.

Pour tous les scénarios et horizons étudiés, les quotients de danger sont inférieurs à 1 (seuil d'acceptabilité), et cela, même en les additionnant par organe-cible. Par conséquent, et au regard des connaissances actuelles, les effets critiques n'apparaîtront pas *a priori* au sein de la population exposée suite à la mise en place du projet à l'horizon futur.

<sup>4</sup> Haut Conseil de la Santé Publique - « Evaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone » - Décembre 2010

Tableau 19 : Quotients de danger

Seuil d'acceptabilité : 1		QUOTIENTS de DANGER														
Polluants	Résident de la zone d'étude					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot A1					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot A2					
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	
Benzène	9,21E-03	3,35E-03	3,35E-03	2,47E-03	2,47E-03	5,26E-03	1,75E-03	1,74E-03	1,23E-03	1,23E-03	4,93E-03	1,64E-03	1,62E-03	1,15E-03	1,15E-03	
1,3-Butadiène	1,42E-02	5,55E-03	5,54E-03	4,07E-03	4,07E-03	8,70E-03	3,17E-03	3,13E-03	2,24E-03	2,24E-03	8,17E-03	2,96E-03	2,93E-03	2,10E-03	2,09E-03	
Benzo(a)pyrène	4,41E-02	3,57E-02	3,57E-02	3,15E-02	3,15E-02	2,74E-02	2,16E-02	2,14E-02	1,88E-02	1,88E-02	2,58E-02	2,04E-02	2,01E-02	1,77E-02	1,77E-02	
Arsenic	9,56E-05	8,88E-05	8,84E-05	8,44E-05	8,42E-05	5,82E-05	5,35E-05	5,29E-05	5,03E-05	5,02E-05	5,48E-05	5,02E-05	4,96E-05	4,73E-05	4,72E-05	
Chrome	1,01E-03	9,60E-04	9,57E-04	9,56E-04	9,55E-04	6,17E-04	5,78E-04	5,72E-04	5,69E-04	5,67E-04	5,81E-04	5,43E-04	5,37E-04	5,34E-04	5,33E-04	
Nickel	4,77E-05	4,41E-05	4,39E-05	4,14E-05	4,13E-05	2,90E-05	2,65E-05	2,62E-05	2,47E-05	2,46E-05	2,73E-05	2,49E-05	2,46E-05	2,32E-05	2,31E-05	
Particules diesel	4,27E-01	2,72E-01	2,71E-01	2,20E-01	2,19E-01	2,63E-01	1,69E-01	1,66E-01	1,39E-01	1,39E-01	2,47E-01	1,59E-01	1,57E-01	1,32E-01	1,31E-01	
Polluants	Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot B1					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot B2					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot C1					
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	
Benzène	4,90E-03	1,70E-03	1,69E-03	1,22E-03	1,22E-03	4,48E-03	1,55E-03	1,54E-03	1,11E-03	1,11E-03	4,76E-03	1,57E-03	1,55E-03	1,09E-03	1,09E-03	
1,3-Butadiène	7,85E-03	2,94E-03	2,92E-03	2,12E-03	2,11E-03	7,18E-03	2,69E-03	2,67E-03	1,93E-03	1,93E-03	7,91E-03	2,86E-03	2,82E-03	2,01E-03	2,01E-03	
Benzo(a)pyrène	2,41E-02	1,93E-02	1,92E-02	1,69E-02	1,69E-02	2,21E-02	1,77E-02	1,76E-02	1,55E-02	1,55E-02	2,52E-02	1,98E-02	1,95E-02	1,72E-02	1,72E-02	
Arsenic	5,21E-05	4,86E-05	4,82E-05	4,60E-05	4,59E-05	4,78E-05	4,45E-05	4,41E-05	4,21E-05	4,21E-05	5,32E-05	4,87E-05	4,81E-05	4,57E-05	4,57E-05	
Chrome	5,53E-04	5,26E-04	5,22E-04	5,20E-04	5,19E-04	5,07E-04	4,81E-04	4,78E-04	4,76E-04	4,76E-04	5,64E-04	5,26E-04	5,20E-04	5,17E-04	5,16E-04	
Nickel	2,60E-05	2,41E-05	2,39E-05	2,26E-05	2,25E-05	2,38E-05	2,21E-05	2,19E-05	2,07E-05	2,07E-05	2,65E-05	2,42E-05	2,39E-05	2,24E-05	2,24E-05	
Particules diesel	2,34E-01	1,49E-01	1,48E-01	1,22E-01	1,22E-01	2,14E-01	1,37E-01	1,36E-01	1,12E-01	1,12E-01	2,40E-01	1,55E-01	1,53E-01	1,28E-01	1,28E-01	
Polluants	Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot C2					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot E1					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot E3					
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	
Benzène	4,28E-03	1,48E-03	1,47E-03	1,06E-03	1,06E-03	4,11E-03	1,39E-03	1,38E-03	9,86E-04	9,86E-04	3,88E-03	1,32E-03	1,31E-03	9,41E-04	9,41E-04	
1,3-Butadiène	6,87E-03	2,56E-03	2,55E-03	1,84E-03	1,84E-03	6,68E-03	2,46E-03	2,44E-03	1,75E-03	1,75E-03	6,26E-03	2,32E-03	2,30E-03	1,65E-03	1,65E-03	
Benzo(a)pyrène	2,12E-02	1,70E-02	1,68E-02	1,49E-02	1,49E-02	2,09E-02	1,66E-02	1,65E-02	1,45E-02	1,45E-02	1,95E-02	1,56E-02	1,54E-02	1,36E-02	1,36E-02	
Arsenic	4,57E-05	4,25E-05	4,22E-05	4,02E-05	4,02E-05	4,47E-05	4,13E-05	4,09E-05	3,89E-05	3,89E-05	4,19E-05	3,88E-05	3,84E-05	3,66E-05	3,66E-05	
Chrome	4,85E-04	4,60E-04	4,57E-04	4,55E-04	4,55E-04	4,74E-04	4,47E-04	4,42E-04	4,40E-04	4,40E-04	4,44E-04	4,20E-04	4,16E-04	4,14E-04	4,14E-04	
Nickel	2,28E-05	2,11E-05	2,09E-05	1,97E-05	1,97E-05	2,23E-05	2,05E-05	2,03E-05	1,91E-05	1,91E-05	2,09E-05	1,93E-05	1,91E-05	1,80E-05	1,80E-05	
Particules diesel	2,05E-01	1,31E-01	1,30E-01	1,08E-01	1,08E-01	2,01E-01	1,29E-01	1,28E-01	1,06E-01	1,06E-01	1,89E-01	1,21E-01	1,19E-01	9,93E-02	9,93E-02	

Seuil d'acceptabilité : 1		QUOTIENTS de DANGER														
Polluants	Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot G1					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot G2					Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot H1					
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	
<i>Benzène</i>	4,06E-03	1,31E-03	1,30E-03	9,05E-04	9,04E-04	4,53E-03	1,41E-03	1,40E-03	9,55E-04	9,55E-04	3,57E-03	1,21E-03	1,21E-03	8,64E-04	8,64E-04	
<i>1,3-Butadiène</i>	6,76E-03	2,40E-03	2,37E-03	1,68E-03	1,67E-03	7,40E-03	2,56E-03	2,53E-03	1,75E-03	1,75E-03	5,70E-03	2,10E-03	2,09E-03	1,50E-03	1,50E-03	
<i>Benzo(a)pyrène</i>	2,19E-02	1,71E-02	1,69E-02	1,48E-02	1,48E-02	2,47E-02	1,90E-02	1,88E-02	1,64E-02	1,64E-02	1,79E-02	1,42E-02	1,41E-02	1,25E-02	1,25E-02	
<i>Arsenic</i>	4,59E-05	4,17E-05	4,12E-05	3,91E-05	3,91E-05	5,16E-05	4,62E-05	4,57E-05	4,32E-05	4,32E-05	3,84E-05	3,55E-05	3,53E-05	3,35E-05	3,35E-05	
<i>Chrome</i>	4,87E-04	4,51E-04	4,45E-04	4,42E-04	4,41E-04	5,47E-04	5,00E-04	4,94E-04	4,88E-04	4,87E-04	4,07E-04	3,84E-04	3,81E-04	3,79E-04	3,79E-04	
<i>Nickel</i>	2,29E-05	2,07E-05	2,04E-05	1,92E-05	1,92E-05	2,57E-05	2,30E-05	2,27E-05	2,12E-05	2,12E-05	1,92E-05	1,76E-05	1,75E-05	1,65E-05	1,65E-05	
<i>Particules diesel</i>	2,09E-01	1,35E-01	1,33E-01	1,12E-01	1,12E-01	2,40E-01	1,56E-01	1,54E-01	1,31E-01	1,31E-01	1,74E-01	1,11E-01	1,10E-01	9,18E-02	9,17E-02	
Polluants	Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot H2					Résident du secteur Méridien / Solstice – Îlot R2										
	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet						
<i>Benzène</i>	3,98E-03	1,29E-03	1,28E-03	8,97E-04	8,97E-04	8,04E-03	2,74E-03	2,73E-03	1,96E-03	1,94E-03						
<i>1,3-Butadiène</i>	6,30E-03	2,24E-03	2,22E-03	1,56E-03	1,56E-03	1,33E-02	4,92E-03	4,89E-03	3,55E-03	3,48E-03						
<i>Benzo(a)pyrène</i>	2,05E-02	1,60E-02	1,59E-02	1,39E-02	1,39E-02	4,00E-02	3,18E-02	3,16E-02	2,81E-02	2,75E-02						
<i>Arsenic</i>	4,36E-05	3,96E-05	3,93E-05	3,72E-05	3,72E-05	8,76E-05	8,09E-05	8,04E-05	7,72E-05	7,54E-05						
<i>Chrome</i>	4,63E-04	4,29E-04	4,25E-04	4,21E-04	4,20E-04	9,29E-04	8,75E-04	8,69E-04	8,72E-04	8,52E-04						
<i>Nickel</i>	2,18E-05	1,97E-05	1,95E-05	1,83E-05	1,83E-05	4,37E-05	4,02E-05	3,99E-05	3,79E-05	3,70E-05						
<i>Particules diesel</i>	2,02E-01	1,30E-01	1,29E-01	1,09E-01	1,09E-01	3,98E-01	2,54E-01	2,52E-01	2,12E-01	2,05E-01						

Les graphiques ci-dessous illustrent les quotients de danger par organes cibles pour les habitants de la zone d'étude ainsi que pour les résidents de l'îlot le plus exposé du secteur Places Hautes / Oiseau (îlot A1) et les résidents du secteur Méridien / Solstices.

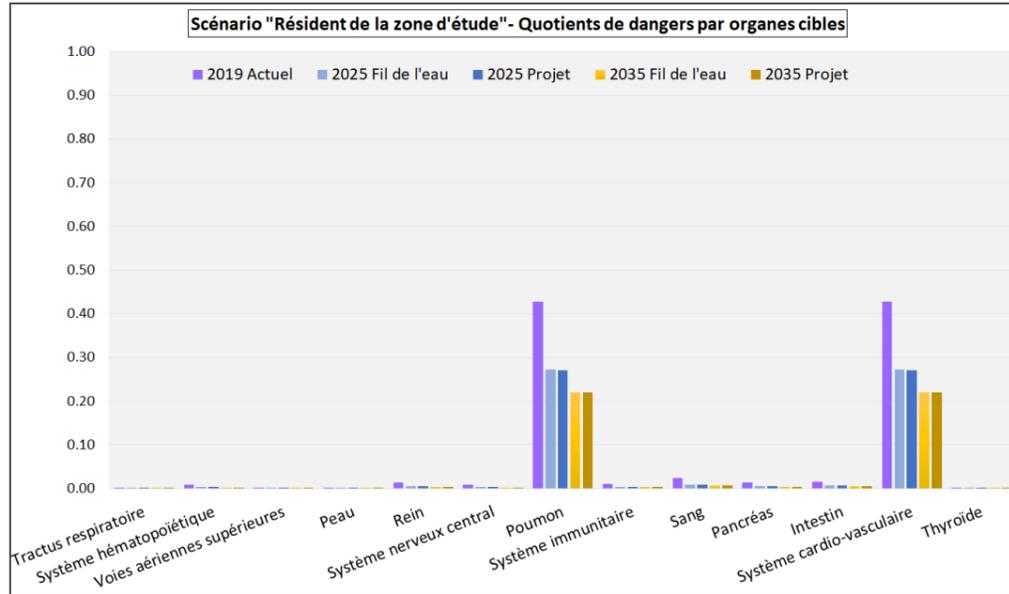


Figure 34 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident de la zone d'étude »

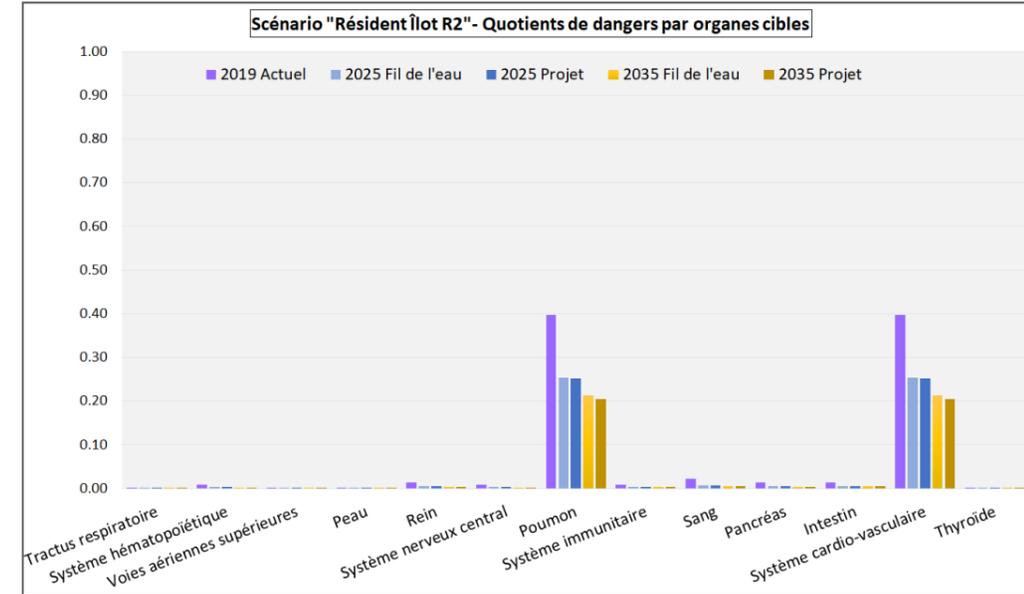


Figure 36 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident du secteur Méridien / Solstice – îlot R2 »

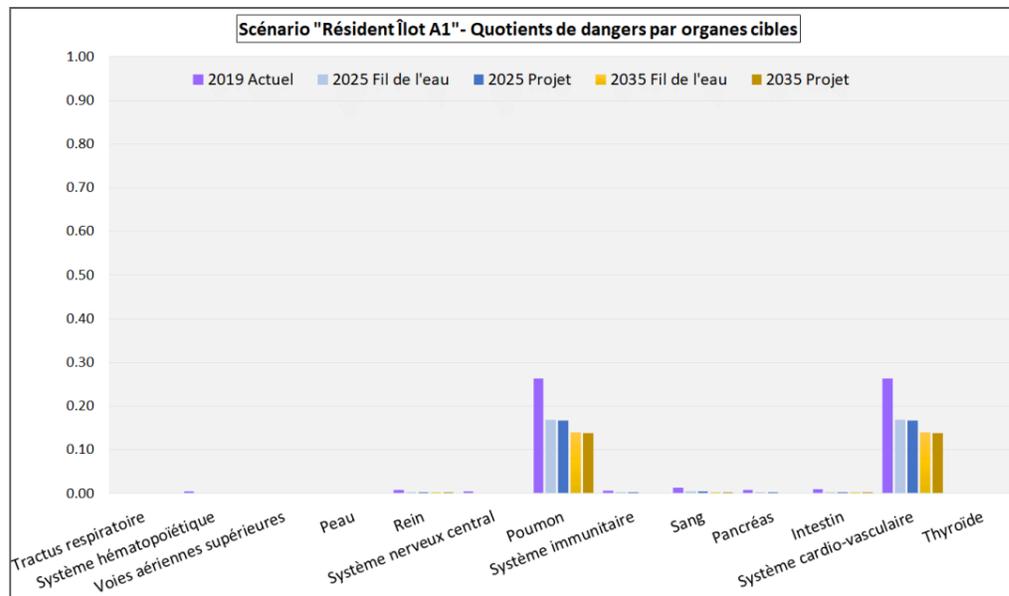


Figure 35 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Résident du secteur Places Hautes / Oiseau - îlot A1 »

#### 7.2.4. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets sans seuils : calcul de l'Excès de Risque Individuel (ERI)

Cet indicateur représente le nombre de cancers supplémentaires au sein d'une population exposée à un certain niveau de polluants par rapport à une population non exposée. C'est la raison pour laquelle on parle d'**excès de risque**.

L'interprétation des résultats s'effectue ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables.

En France, l'INVS utilise la valeur de  $10^{-5}$ , cette valeur est reprise dans la Circulaire du 09 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations soumises à autorisation. Ce seuil signifie que sur une population de 100 000 habitants exposée à un composé pour un niveau donné, il sera observé 1 cancer supplémentaire par rapport à une population de même effectif non exposée.

Le calcul des excès de risque individuel est effectué à partir des concentrations moyennes inhalées au niveau des secteurs étudiés.

Le tableau qui va suivre compare les ERI entre les situations avec et sans réalisation du projet pour les habitants de la zone d'étude et les futurs résidents du projet.

Les hypothèses d'exposition des résidents de la zone d'étude et du projet sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : Hypothèses d'exposition pour le calcul de l'ERI

	Résident de la zone d'étude	Résident du projet
2019 à 2024 0 à 5 ans	Exposition de 6 ans aux concentrations calculées pour 2019 (il est considéré que les futurs résidents de la ZAC ont toujours habité la zone d'étude avant d'emménager sur le projet)	
2025 à 2034 6 à 15 ans	Exposition de 10 ans aux concentrations du scénario « 2025 Fil de l'Eau »	Exposition de 10 ans aux concentrations du scénario « 2025 Projet »
2035 à 2088 16 à 70 ans (durée conventionnelle pour vie entière)	Exposition de 54 ans aux concentrations du scénario « 2035 Fil de l'Eau »	Exposition de 54 ans aux concentrations du scénario « 2035 Projet »

Les Excès de Risques Individuels les plus élevés sont obtenus pour les particules diesel, qui contribuent à environ 95 % des ERI cumulés.

Les taux de ce polluant entraînent des Excès de Risque Individuel supérieurs à la valeur recommandée de  $10^{-5}$  pour tous les scénarios étudiés.

La dangerosité des particules diesel sur la santé est d'ores et déjà reconnue. C'est pourquoi la Région Ile-de-France prévoit le bannissement progressif des véhicules diesel.

En tout état de cause, il convient de retenir que le dépassement du seuil recommandé n'est pas dû à la mise en place du projet, mais à la présence de l'autoroute A6 et de la RD445, qui accentue les concentrations de fond en polluants atmosphériques.

Dans le cas présent, selon les hypothèses considérées, les différences avec le Fil de l'Eau sont minimales.

En effet, la mise en place du projet entraînera pour la population exposée une diminution non significative de -1 à -10 cancers sur 10 millions de personnes.

Par ailleurs, il importe de rappeler que les hypothèses considérées pour ces scénarios sont majorantes (24 h/j à domicile), et que les ERI cumulés sont compris dans le domaine de vigilance active, et non pas dans le domaine d'action rapide tel que défini par le Haut Conseil de la Santé Publique.

La fréquentation des habitations des différents secteurs du projet ne semble pas de nature à occasionner de risque inacceptable de survenue de cancer au sein des populations exposées. **Cela d'autant plus que l'indice sanitaire ERI tend à évoluer à la baisse pour les scénarios futurs, par rapport à la situation actuelle.**

Tableau 21 : Excès de risque individuel

POLLUANTS	EXCES de RISQUE INDIVIDUEL													
	Résident de la zone d'étude		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot A1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot A2		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot B1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot B2		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot C1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot C2	
	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet
<i>Benzène</i>	8,25E-07	8,24E-07	5,18E-07	5,17E-07	4,97E-07	4,96E-07	5,13E-07	5,13E-07	4,85E-07	4,85E-07	4,83E-07	4,82E-07	4,72E-07	4,72E-07
<i>1,3-Butadiène</i>	3,09E-07	3,09E-07	2,04E-07	2,04E-07	1,96E-07	1,95E-07	1,96E-07	1,96E-07	1,86E-07	1,85E-07	1,91E-07	1,90E-07	1,80E-07	1,80E-07
<i>Benzo(a)pyrène</i>	7,30E-08	7,30E-08	4,71E-08	4,69E-08	4,48E-08	4,47E-08	4,31E-08	4,30E-08	4,02E-08	4,02E-08	4,38E-08	4,36E-08	3,89E-08	3,88E-08
<i>Arsenic</i>	1,93E-10	1,93E-10	1,23E-10	1,23E-10	1,17E-10	1,16E-10	1,14E-10	1,14E-10	1,06E-10	1,06E-10	1,13E-10	1,13E-10	1,02E-10	1,02E-10
<i>Chrome</i>	1,15E-06	1,15E-06	7,30E-07	7,27E-07	6,92E-07	6,90E-07	6,76E-07	6,75E-07	6,27E-07	6,27E-07	6,73E-07	6,71E-07	6,04E-07	6,04E-07
<i>Nickel</i>	2,53E-09	2,53E-09	1,61E-09	1,60E-09	1,53E-09	1,52E-09	1,49E-09	1,49E-09	1,39E-09	1,38E-09	1,49E-09	1,48E-09	1,34E-09	1,33E-09
<i>Particules diesel</i>	4,17E-05	4,16E-05	2,86E-05	2,85E-05	2,73E-05	2,72E-05	2,59E-05	2,58E-05	2,43E-05	2,42E-05	2,68E-05	2,67E-05	2,35E-05	2,35E-05
<i>Dibenzo[a,h]anthracène</i>	1,67E-08	1,67E-08	1,08E-08	1,08E-08	1,03E-08	1,03E-08	9,93E-09	9,91E-09	9,28E-09	9,27E-09	1,00E-08	1,00E-08	8,96E-09	8,96E-09
<i>Acénaphylène</i>	8,52E-10	8,07E-10	5,54E-10	5,26E-10	5,29E-10	5,02E-10	5,07E-10	4,83E-10	4,74E-10	4,52E-10	5,17E-10	4,91E-10	4,59E-10	4,37E-10
<i>Acénaphène</i>	1,08E-09	1,08E-09	7,06E-10	7,03E-10	6,73E-10	6,71E-10	6,46E-10	6,45E-10	6,05E-10	6,05E-10	6,58E-10	6,57E-10	5,85E-10	5,85E-10
<i>Anthracène</i>	2,23E-09	2,22E-09	1,40E-09	1,40E-09	1,33E-09	1,32E-09	1,28E-09	1,28E-09	1,19E-09	1,19E-09	1,29E-09	1,29E-09	1,15E-09	1,14E-09
<i>Benzo[a]anthracène</i>	1,28E-08	1,27E-08	8,21E-09	8,18E-09	7,82E-09	7,79E-09	7,53E-09	7,52E-09	7,03E-09	7,03E-09	7,63E-09	7,61E-09	6,79E-09	6,78E-09
<i>Benzo[b]fluoranthène</i>	1,09E-08	1,09E-08	7,01E-09	6,98E-09	6,65E-09	6,64E-09	6,47E-09	6,46E-09	6,02E-09	6,02E-09	6,48E-09	6,46E-09	5,81E-09	5,80E-09
<i>Benzo[g,h,i]pérylène</i>	1,58E-09	1,58E-09	1,01E-09	1,01E-09	9,63E-10	9,60E-10	9,24E-10	9,23E-10	8,61E-10	8,61E-10	9,41E-10	9,38E-10	8,32E-10	8,31E-10
<i>Benzo[j]fluoranthène</i>	1,13E-08	1,13E-08	6,85E-09	6,83E-09	6,47E-09	6,45E-09	6,40E-09	6,39E-09	5,92E-09	5,91E-09	6,26E-09	6,25E-09	5,69E-09	5,68E-09
<i>Benzo[k]fluoranthène</i>	9,12E-09	9,11E-09	5,83E-09	5,81E-09	5,53E-09	5,52E-09	5,41E-09	5,40E-09	5,03E-09	5,03E-09	5,39E-09	5,37E-09	4,86E-09	4,85E-09
<i>Chrysène</i>	2,62E-09	2,62E-09	1,69E-09	1,68E-09	1,60E-09	1,60E-09	1,56E-09	1,56E-09	1,46E-09	1,45E-09	1,56E-09	1,55E-09	1,40E-09	1,40E-09
<i>Fluoranthène</i>	1,26E-09	1,26E-09	8,10E-10	8,07E-10	7,70E-10	7,68E-10	7,42E-10	7,41E-10	6,92E-10	6,91E-10	7,52E-10	7,50E-10	6,68E-10	6,67E-10
<i>Fluorène</i>	2,30E-10	2,30E-10	1,37E-10	1,36E-10	1,29E-10	1,29E-10	1,30E-10	1,30E-10	1,21E-10	1,20E-10	1,25E-10	1,24E-10	1,16E-10	1,16E-10
<i>Indéno[1,2,3-cd]pyrène</i>	7,97E-09	7,95E-09	5,10E-09	5,08E-09	4,85E-09	4,83E-09	4,67E-09	4,66E-09	4,35E-09	4,35E-09	4,73E-09	4,72E-09	4,20E-09	4,20E-09
<i>Phénanthrène</i>	2,66E-09	2,66E-09	1,70E-09	1,69E-09	1,62E-09	1,61E-09	1,55E-09	1,55E-09	1,45E-09	1,44E-09	1,58E-09	1,57E-09	1,39E-09	1,39E-09
<i>Pyrène</i>	1,08E-09	1,08E-09	6,98E-10	6,95E-10	6,64E-10	6,62E-10	6,42E-10	6,41E-10	5,99E-10	5,99E-10	6,48E-10	6,46E-10	5,79E-10	5,78E-10
<b>Cumulé</b>	<b>4,41E-05</b>	<b>4,40E-05</b>	<b>3,02E-05</b>	<b>3,00E-05</b>	<b>2,88E-05</b>	<b>2,87E-05</b>	<b>2,74E-05</b>	<b>2,73E-05</b>	<b>2,57E-05</b>	<b>2,56E-05</b>	<b>2,82E-05</b>	<b>2,81E-05</b>	<b>2,48E-05</b>	<b>2,48E-05</b>

Seuil d'acceptabilité : 10 <sup>-5</sup>		EXCES de RISQUE INDIVIDUEL													
POLLUANTS	Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot E1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot E3		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot G1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot G2		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot H1		Résident du secteur Places Hautes / Oiseau – Îlot H2		Résident du secteur Méridien / Solstices – Îlot R2		
	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	Situation Fil de l'eau	Situation Projet	
Benzène	4,55E-07	4,54E-07	4,43E-07	4,43E-07	4,35E-07	4,35E-07	4,49E-07	4,49E-07	4,24E-07	4,23E-07	4,33E-07	4,33E-07	7,01E-07	6,96E-07	
1,3-Butadiène	1,75E-07	1,75E-07	1,70E-07	1,69E-07	1,71E-07	1,71E-07	1,76E-07	1,76E-07	1,61E-07	1,60E-07	1,65E-07	1,64E-07	2,80E-07	2,76E-07	
Benzo(a)pyrène	3,82E-08	3,81E-08	3,63E-08	3,63E-08	3,89E-08	3,88E-08	4,21E-08	4,21E-08	3,39E-08	3,39E-08	3,70E-08	3,69E-08	6,60E-08	6,49E-08	
Arsenic	9,93E-11	9,91E-11	9,45E-11	9,43E-11	9,97E-11	9,95E-11	1,08E-10	1,08E-10	8,81E-11	8,80E-11	9,58E-11	9,57E-11	1,78E-10	1,75E-10	
Chrome	5,89E-07	5,88E-07	5,60E-07	5,59E-07	5,90E-07	5,89E-07	6,41E-07	6,40E-07	5,21E-07	5,21E-07	5,67E-07	5,66E-07	1,06E-06	1,04E-06	
Nickel	1,30E-09	1,30E-09	1,24E-09	1,24E-09	1,31E-09	1,30E-09	1,42E-09	1,42E-09	1,15E-09	1,15E-09	1,26E-09	1,25E-09	2,34E-09	2,29E-09	
Particules diesel	2,33E-05	2,33E-05	2,22E-05	2,21E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,71E-05	2,71E-05	2,10E-05	2,09E-05	2,36E-05	2,36E-05	4,02E-05	3,92E-05	
Dibenzo[a,h]anthracène	8,79E-09	8,78E-09	8,37E-09	8,36E-09	8,92E-09	8,90E-09	9,61E-09	9,59E-09	7,83E-09	7,82E-09	8,47E-09	8,46E-09	1,51E-08	1,49E-08	
Acénaphthylène	4,51E-10	4,30E-10	4,30E-10	4,10E-10	4,61E-10	4,39E-10	5,02E-10	4,78E-10	4,03E-10	3,85E-10	4,41E-10	4,20E-10	7,70E-10	7,19E-10	
Acénaphthène	5,76E-10	5,75E-10	5,49E-10	5,48E-10	5,89E-10	5,87E-10	6,40E-10	6,39E-10	5,15E-10	5,14E-10	5,63E-10	5,62E-10	9,77E-10	9,61E-10	
Anthracène	1,12E-09	1,12E-09	1,06E-09	1,06E-09	1,13E-09	1,13E-09	1,22E-09	1,21E-09	9,82E-10	9,81E-10	1,06E-09	1,06E-09	2,02E-09	1,98E-09	
Benzo[a]anthracène	6,66E-09	6,65E-09	6,34E-09	6,33E-09	6,77E-09	6,75E-09	7,31E-09	7,30E-09	5,92E-09	5,91E-09	6,43E-09	6,42E-09	1,15E-08	1,13E-08	
Benzo[b]fluoranthène	5,67E-09	5,66E-09	5,40E-09	5,39E-09	5,70E-09	5,69E-09	6,08E-09	6,06E-09	5,02E-09	5,01E-09	5,37E-09	5,36E-09	9,98E-09	9,82E-09	
Benzo[g,h,i]pérylène	8,17E-10	8,16E-10	7,76E-10	7,75E-10	8,35E-10	8,33E-10	9,10E-10	9,08E-10	7,25E-10	7,24E-10	7,95E-10	7,94E-10	1,43E-09	1,40E-09	
Benzo[j]fluoranthène	5,49E-09	5,48E-09	5,22E-09	5,21E-09	5,37E-09	5,36E-09	5,55E-09	5,54E-09	4,79E-09	4,78E-09	4,95E-09	4,94E-09	1,01E-08	9,97E-09	
Benzo[k]fluoranthène	4,73E-09	4,72E-09	4,50E-09	4,49E-09	4,72E-09	4,71E-09	4,99E-09	4,98E-09	4,18E-09	4,17E-09	4,43E-09	4,42E-09	8,34E-09	8,21E-09	
Chrysène	1,37E-09	1,37E-09	1,30E-09	1,30E-09	1,37E-09	1,37E-09	1,45E-09	1,45E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,29E-09	1,28E-09	2,40E-09	2,36E-09	
Fluoranthène	6,55E-10	6,54E-10	6,23E-10	6,22E-10	6,66E-10	6,65E-10	7,21E-10	7,20E-10	5,81E-10	5,80E-10	6,32E-10	6,32E-10	1,14E-09	1,12E-09	
Fluorène	1,11E-10	1,11E-10	1,06E-10	1,05E-10	1,06E-10	1,05E-10	1,05E-10	1,05E-10	9,66E-11	9,64E-11	9,57E-11	9,56E-11	2,04E-10	2,02E-10	
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	4,12E-09	4,11E-09	3,91E-09	3,91E-09	4,19E-09	4,18E-09	4,54E-09	4,53E-09	3,65E-09	3,65E-09	3,97E-09	3,97E-09	7,20E-09	7,08E-09	
Phénanthrène	1,37E-09	1,37E-09	1,30E-09	1,30E-09	1,40E-09	1,39E-09	1,52E-09	1,52E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,33E-09	1,33E-09	2,40E-09	2,36E-09	
Pyrène	5,67E-10	5,66E-10	5,39E-10	5,39E-10	5,74E-10	5,72E-10	6,17E-10	6,15E-10	5,04E-10	5,03E-10	5,43E-10	5,43E-10	9,82E-10	9,66E-10	
Cumulé	2,46E-05	2,46E-05	2,34E-05	2,34E-05	2,55E-05	2,55E-05	2,85E-05	2,84E-05	2,21E-05	2,21E-05	2,49E-05	2,48E-05	4,24E-05	4,14E-05	

**7.2.5. Incertitudes relatives à l'EQRS**

L'évaluation quantitative des risques sanitaires est segmentée en quatre étapes qui sont chacune en ce qui les concerne sujettes à des incertitudes spécifiques [Hubert, 2003].

Le tableau qui va suivre résume de façon schématique les différentes étapes et les incertitudes qui leur sont associées.

**Tableau 22 : Etapes de l'EQRS et incertitudes associées**

<p><b>Étape 1 : Identification du danger</b></p> <p><i>Quels sont les effets néfastes de l'agent et son mode de contact ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaction de mélanges de polluants</li> <li>• Produits de dégradation des molécules mal connus</li> <li>• Données pas toujours disponibles pour l'homme ou même l'animal</li> </ul>
<p><b>Étape 2 : Choix de la VTR</b></p> <p><i>Quelle est la relation entre la dose et la réponse de l'organisme ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extrapolation des observations lors d'expérimentation à dose moyenne vers les faibles doses d'exposition de populations</li> <li>• Transposition des données d'une population vers une autre (utilisation de données animales pour l'Homme)</li> <li>• Analogie entre les effets de plusieurs facteurs de risques différents (analogie entre différents polluants)</li> </ul>
<p><b>Étape 3 : Estimation de l'Exposition</b></p> <p><i>Qui, où, combien et combien de temps en contact avec l'agent dangereux ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficulté à déterminer la contamination des différents médias d'exposition (manque ou erreur de mesure, variabilité des systèmes environnementaux, pertinence de la modélisation)</li> <li>• Mesure de la dose externe, interne et biologique efficace</li> <li>• Difficulté pour définir les déplacements, temps de séjours, activité, habitudes alimentaires de la population</li> </ul>
<p><b>Étape 4 : Caractérisation du risque</b></p> <p><i>Quelle est la probabilité de survenue du danger pour un individu dans une population donnée ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méconnaissance de l'action de certains polluants (VTR non validées)</li> <li>• Hypothèses posées en termes de dispersion des polluants influencent le résultat</li> <li>• Calcul de l'impact sanitaire qui rajoute un niveau d'incertitude</li> </ul>

❖ **Identification des dangers**

L'identification des dangers est une démarche qualitative qui est initiée par un inventaire des différents produits susceptibles de provoquer des nuisances d'ordre sanitaire.

A ce stade, les incertitudes sont liées au défaut d'information et aux controverses scientifiques.

Dans le cas présent, l'EQRS a porté sur les polluants dont les effets sont connus.

Les autres ont été exclus de la démarche car les substances ont été jugées non pertinentes, ou bien tout simplement car l'information n'existe pas.

Ces substances n'ont pas encore de facteurs d'émission, mais la proximité des valeurs de référence avec les teneurs ambiantes et/ou la sévérité des effets sanitaires conduisent les spécialistes à recommander des recherches sur leurs facteurs d'émission.

❖ **Évaluation des incertitudes sur l'évaluation de la toxicité**

L'identification exhaustive des dangers potentiels pour l'homme, le risque lié à des substances non prises en compte dans l'évaluation et la possibilité d'interaction de polluants tendent à sous-estimer le risque en raison du manque de connaissances et de données dans certains domaines.

Les études toxicologiques et épidémiologiques présentent des limites. Les VTR sont établies principalement à partir d'études expérimentales chez l'animal, mais également à partir d'études et d'enquêtes épidémiologiques chez l'homme. L'étape qui génère l'incertitude la plus difficile à appréhender est sans doute celle de la construction des relations dose-réponse, étape initiale de l'établissement des valeurs toxicologiques de référence [VTR]. Il est rappelé que pour le cas des produits cancérigènes sans effet de seuil, ces VTR sont considérées comme étant des probabilités de survenue de cancer excédentaire par unité de dose.

Lorsque les VTR sont établies à partir de données animales, l'extrapolation à l'homme se réalise en général en appliquant des facteurs de sécurité (appelés aussi facteurs d'incertitude ou facteurs d'évaluation) aux seuils sans effets néfastes définis chez l'animal. Lorsque la VTR est établie à partir d'une étude épidémiologique conduite chez l'homme (par exemple sur une population de travailleurs), l'extrapolation à la population générale se fait également en appliquant un facteur de sécurité afin de tenir compte notamment de la différence de sensibilité des deux populations.

Ainsi, les facteurs de sécurité ont pour but de tenir compte des incertitudes et de la variabilité liées à la transposition inter-espèces, à l'extrapolation des résultats expérimentaux ou aux doses faibles, et à la variabilité entre les individus au sein de la population.

Ces facteurs changent d'une substance à une autre. Pour certaines d'entre elles, il n'existe pas de facteur de quantification en l'état actuel des connaissances.

#### ❖ Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

Quatre types d'incertitudes peuvent être associés à l'évaluation de l'exposition :

- la définition des populations et des usages ;
- les modèles utilisés ;
- les paramètres ;
- les substances émises par les sources de polluants considérées.

Les phénomènes intervenant dans l'exposition des populations à une source de polluants dans l'environnement sont très nombreux. Le manque de connaissances et les incertitudes élevées autour de certains modes de transfert des polluants dans l'atmosphère amènent à utiliser des représentations mathématiques simples pour modéliser la dispersion. À noter que ces représentations mathématiques induisent des incertitudes difficilement quantifiables.

#### ❖ Caractérisation du risque

Dernière étape de l'EQRS : la caractérisation du risque, ce dernier étant défini ici comme une « éventualité » d'apparition d'effets indésirables.

Pour les produits cancérigènes sans effet de seuil, la quantification du risque consiste à mettre en relation - pour les différentes voies d'exposition identifiées - les VTR et les doses d'exposition, afin d'arriver à une prédiction sur l'apparition de cancers parmi une population exposée. Les incertitudes inhérentes à cette étape concernent, outre les modèles conceptuels utilisés pour estimer les doses pour les voies d'exposition considérées, les valeurs numériques des facteurs d'exposition qui influencent les résultats des calculs de dose (facteur d'ingestion, fréquence et durée d'exposition, poids corporel, etc.).

### 7.3. SYNTHÈSE – IMPACTS DU PROJET SUR LA SANTÉ

En comparaison avec le Fil de l'Eau, la création de la ZAC Grande Borne Ouest entraînera une diminution de l'indice IPP de -4 % avec les démolitions de logements prévues en 2025, et une légère augmentation avec la totalité des logements créés en 2035 (+1 %).

Les quotients de danger de tous les scénarios étudiés sont inférieurs à 1 (seuil d'acceptabilité), et cela, même en les additionnant par organe-cible.

Sous les hypothèses d'exposition considérées, les taux en particules diesel entraînent des Excès de Risques Individuels supérieurs à la valeur recommandée de  $10^{-5}$  pour tous les scénarios examinés.

En tout état de cause, cette situation n'est pas due à la mise en place du projet (les différences avec le Fil de l'Eau sont minimales) mais à la présence de l'autoroute A6 et de la RD445, qui accentue les concentrations de fond en polluants atmosphériques.

En outre, il convient de rappeler que les hypothèses considérées pour ces scénarios sont majorantes (24 h/j à domicile), et que les ERI cumulés sont compris dans le domaine de vigilance active, et non pas dans le domaine d'action rapide tel que défini par le Haut Conseil de la Santé Publique.

La fréquentation des habitations des différents secteurs du projet n'est donc pas susceptible d'occasionner de risque inacceptable de survenue de cancer au sein des populations exposées. Cela d'autant plus que l'indice sanitaire ERI tend à évoluer nettement à la baisse pour les scénarios futurs par rapport à la situation actuelle.

## 8. EVALUATION DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES

Le tableau suivant présente les consommations énergétiques moyennes (en Tonnes d'équivalent pétrole / jour), calculées à partir des trafics avec le logiciel COPERT V :

Tableau 23 : Consommation de carburant [Tep / jour]

	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Projet	2035 Fil de l'eau	2035 Projet
Consommation en carburant	10,01	8,72	8,59	8,32	8,26

L'histogramme suivant illustre graphiquement les consommations respectives pour chacun des scénarios considérés.

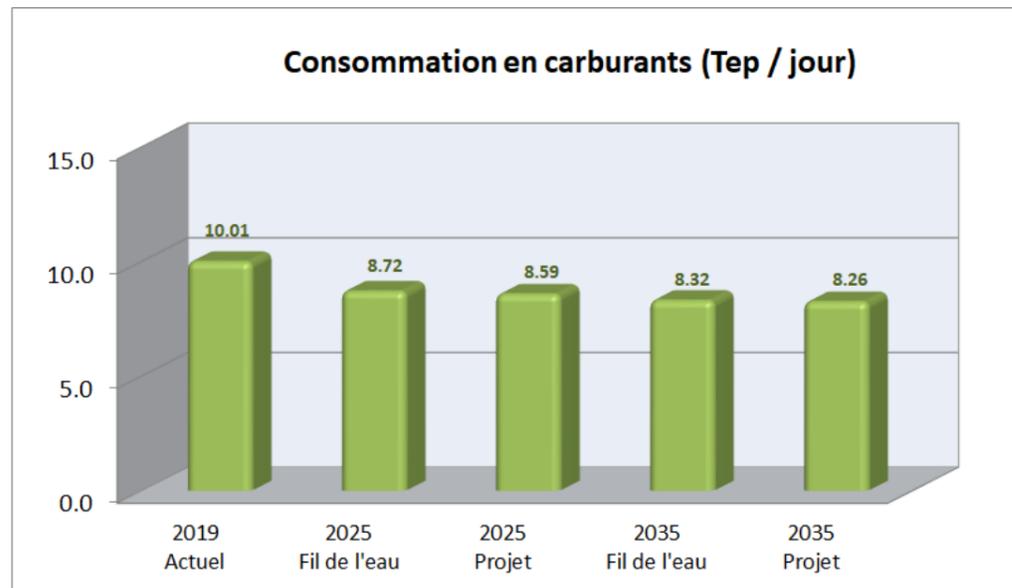


Figure 37 : Consommation moyenne de carburant par jour

Par rapport à l'état actuel, les consommations en carburant pour les scénarios avec projet varient de -14,2 % et de -17,5 % respectivement pour les horizons 2025 et 2035. Par rapport au Fil de l'Eau, la mise en place du projet génère une faible diminution de la consommation en carburant (-1,5 % en 2025 et -0,7 % en 2035).

## 9. COÛTS COLLECTIFS DE L'IMPACT SANITAIRE

### 9.1. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

Le décret n°2003-767 a introduit, à propos des infrastructures de transport, un nouveau chapitre de l'étude d'impact concernant une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances induits pour la collectivité.

La monétarisation des coûts s'attache à comparer avec une unité commune (l'Euro) l'impact lié aux externalités négatives (ou nuisances) et les bénéfices du projet.

Dans une fiche-outils du 03/05/2019 (« Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique »), le Ministère de l'Environnement recommande des valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique.

Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes, mais elles concernent néanmoins la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires. Ainsi, le rapport fournit, pour chaque type de trafic (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, interurbain, etc.), une valeur de l'impact - principalement sanitaire - de la pollution atmosphérique.

Le tableau ci-dessous explicite les valeurs recommandées.

Tableau 24 : Coûts unitaire de la pollution atmosphérique générée par le transport routier en 2010 (en €<sub>2010</sub> / 100 véhicules x km)

Type de véhicules	URBAIN Très dense	URBAIN Dense	URBAIN	URBAIN Diffus	Inter URBAIN
VL	13,5	3,8	1,6	1,3	1,0
PL	133,0	26,2	12,4	6,6	4,4

D'après la densité de population retrouvée dans la zone d'étude, les coûts utilisés sont ceux correspondant à un milieu de type « urbain très dense ».

La fiche-outils précise qu'il est nécessaire d'actualiser ces valeurs suivant l'évolution du parc automobile et du PIB par rapport à la population.

Sur la région Île-de-France, l'évolution du PIB par habitant à retenir est de 1,8 % par an.

Sur la dernière décennie, l'inflation a été en moyenne de 1,12 % par an (INSEE). Ce chiffre sera utilisé afin d'extrapoler les coûts aux horizons futurs.

L'application des valeurs recommandées et de leur règle d'évolution pour l'ensemble du trafic considéré conduit aux évaluations présentées dans le tableau immédiatement suivant (valeurs journalière et annuelle).

Tableau 25 : Estimation des coûts de la pollution atmosphérique générée par le transport routier

Type de véhicules	2019 Actuel (en € <sub>2019</sub> )	2025 Projet (en € <sub>2025</sub> )	2025 Projet (en € <sub>2025</sub> )	2035 Projet (en € <sub>2035</sub> )	2035 Projet (en € <sub>2035</sub> )
<b>Sur une journée</b>					
VL	19 845 €	15 911 €	15 679 €	16 049 €	15 969 €
PL	8 475 €	7 014 €	6 889 €	6 558 €	6 486 €
<b>Total</b>	<b>28 320 €</b>	<b>22 925 €</b>	<b>22 568 €</b>	<b>22 607 €</b>	<b>22 455 €</b>
<b>Sur l'ensemble de l'année</b>					
VL	7 243 k€	5 808 k€	5 723 k€	5 858 k€	5 829 k€
PL	3 093 k€	2 560 k€	2 515 k€	2 394 k€	2 367 k€
<b>Total</b>	<b>10 337 k€</b>	<b>8 368 k€</b>	<b>8 237 k€</b>	<b>8 252 k€</b>	<b>8 196 k€</b>

Les coûts de la pollution atmosphérique varient faiblement avec la mise en place du projet : -1,6 % en 2025 et -0,7 en 2035.

Le graphique ci-dessous illustre les résultats obtenus.

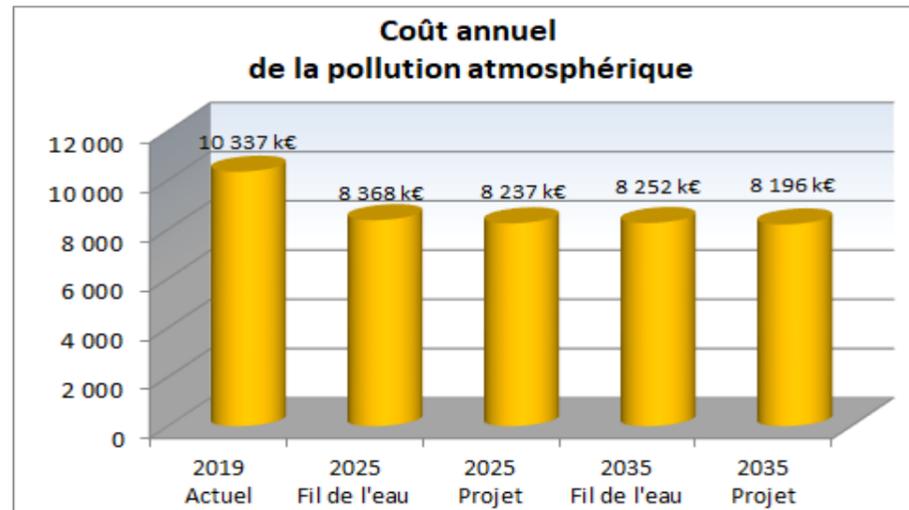


Figure 38 : Coût annuel de la pollution atmosphérique

Remarque importante : il est nécessaire de prendre en compte le fait que, à ce jour, lorsqu'elle est réalisée par les services instructeurs, l'estimation chiffrée des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique se base généralement sur les trafics sans retenir : ni la répartition spatiale de la population, ni les paramètres d'exposition. Il devrait être possible d'affiner l'estimation des coûts sanitaires en s'intéressant à l'exposition de la population, dès lors que l'on se base sur le principe d'un lien de proportionnalité entre le coût sanitaire et l'Indice Pollution Population. Des études sont actuellement menées sur ce sujet.

## 9.2. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Le coût social du carbone peut être considéré comme étant la valeur du préjudice qui découle de l'émission d'une tonne de CO<sub>2</sub>.

La monétarisation des conséquences de l'augmentation de l'effet de serre a été déterminée par une approche dite « tutélaire », dans la mesure où la valeur monétaire recommandée ne découle pas directement de l'observation des prix de marché mais relève d'une décision de l'État, sur la base d'une évaluation concertée de l'engagement français et européen dans la lutte contre le changement climatique.

Selon le document de France Stratégie intitulé « La valeur de l'action pour le climat » de février 2019, les valeurs à considérer pour une tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> émise sont de 54 €<sub>2018</sub> en 2018, de 250 €<sub>2018</sub> en 2030 et de 500 €<sub>2018</sub> en 2040.

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre (GES) a été réalisé à l'aide du logiciel COPERT V.

Le tableau suivant présente les rejets de gaz à effet de serre pour tous les scénarios considérés.

Tableau 26 : Estimation des coûts des GES générés par le transport routier

	2019 Actuel	2025 Fil de l'eau	2025 Cumulé	2035 Fil de l'eau	2035 Cumulé
<b>Sur une journée</b>	2 299 € <sub>2019</sub>	5 110 € <sub>2025</sub>	5 034 € <sub>2025</sub>	12 115 € <sub>2035</sub>	12 027 € <sub>2035</sub>
<b>Sur une année</b>	839 k€ <sub>2019</sub>	1 865 k€ <sub>2025</sub>	1 838 k€ <sub>2025</sub>	4 422 k€ <sub>2035</sub>	4 390 k€ <sub>2035</sub>

Le coût des émissions de Gaz à Effet de Serre augmente à l'horizon futur en raison de la valeur tutélaire du carbone qui croît de façon marquée.

Ces résultats sont représentés graphiquement ci-après, en valeur annuelle.

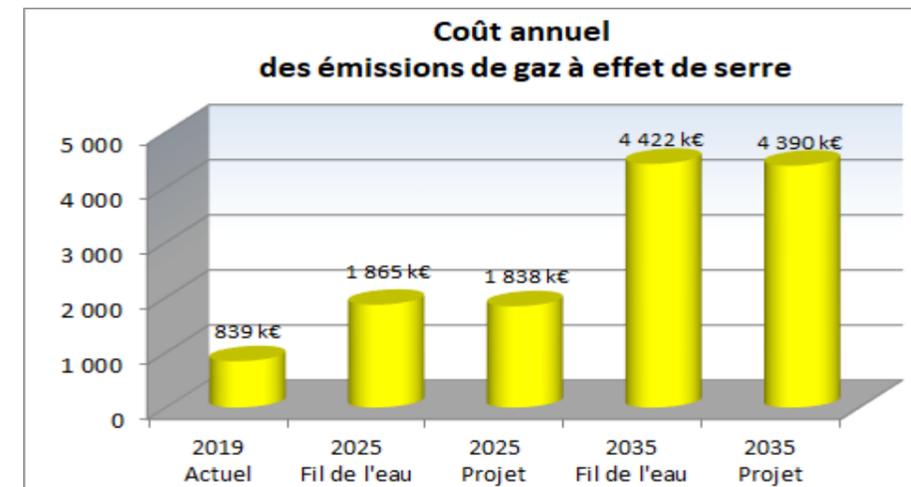


Figure 39 : Coût annuel des émissions de GES

## 10. MESURES DE PRÉVENTION ET DE PROTECTION CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

### 10.1. MESURES DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ISSUE DES TRANSPORTS

La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables.

Cependant, les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs, la généralisation des normes Euro 6 (7 dans les prochaines années) associée au renouvellement du parc roulant vont permettre une diminution des émissions, et donc une amélioration de la qualité de l'air.

Pour accompagner le réaménagement du secteur, une étude sur l'amélioration du réseau de transport en commun peut être engagée de façon à renforcer leur utilisation et permettre une moindre utilisation de véhicules personnels.

Afin d'encourager l'utilisation de véhicules propres, il est également possible d'envisager de mettre en place des stationnements et des bornes de recharge dédiés aux voitures électriques sur les voies réaménagées avec le projet.

Également, une réflexion sur les vitesses de circulation peut être menée sur les voies routières aux abords du projet. En effet, des vitesses moins importantes s'accompagnent généralement d'une plus grande fluidité du trafic et d'une diminution des émissions de polluants.

### 10.2. MESURES DE REDUCTION

#### ❖ Eloignement

L'éloignement consiste à distancer les populations des sources d'émissions - en particulier les populations sensibles - pour réduire autant que possible leur exposition aux polluants atmosphériques.

Les sources routières doivent faire l'objet d'une attention particulière car elles représentent une part importante des émissions de polluants.

Les mesures d'éloignement face aux sources routières peuvent être mises en œuvre en imposant, par exemple, un retrait des constructions par rapport à la voie. Un foncier suffisant est alors nécessaire, mais le gain attendu en termes d'exposition des personnes peut rapidement être important.

#### ❖ Adaptation de la morphologie urbaine

Lorsque les mesures d'éloignement ne peuvent être mises en place de manière satisfaisante (espace urbain trop contraint, peu de disponibilité foncière, etc.), il est possible d'agir sur la morphologie urbaine, l'objectif étant de modifier les conditions d'écoulement des masses d'air pour, soit :

- Favoriser la dispersion des polluants et éviter l'accumulation de polluants, responsable de l'augmentation des concentrations ;
- Limiter la dispersion (utilisation d'obstacles), afin que les zones à enjeux ou sensibles soient protégées des sources d'émission.

#### ❖ Mesures constructives sur les bâtiments et gestion au quotidien

Le recours aux mesures constructives peut être systématique, mais doit plutôt s'envisager comme intervenant en complément des autres mesures, ou lorsque celles-ci ne sont pas suffisantes pour réduire l'exposition à la pollution des populations ou encore impossibles à mettre en place. Elles visent essentiellement à limiter les transferts de polluants de l'extérieur vers l'intérieur.

Pour limiter la pénétration de la pollution provenant de l'extérieur, plusieurs recommandations peuvent être faites, visant :

- le positionnement et l'implantation des ouvrants : dans la mesure du possible, il faut privilégier le positionnement des pièces de vie, comportant des ouvertures généralement plus larges, sur cour, et les pièces de service (buanderie, salle de bain) sur la façade côté voirie. Dans la pratique, ces recommandations peuvent néanmoins être complexes à mettre en œuvre.
- le positionnement des bouches de prises d'air neuf : les règles de l'art applicables aux installations de ventilation mécanique contrôlée du secteur résidentiel sont exposées dans le document technique unifié NF-DTU 68.3. De manière générale, le positionnement des bouches de prise d'air neuf sur le côté le moins exposé du bâtiment sera préféré, loin des bouches d'air vicié, de parkings ou de garages ou d'une cheminée.
- la ventilation : mise en place d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) double-flux comprenant une filtration de l'air entrant. Deux types de filtres sont généralement installés : un filtre gravimétrique, retenant les pollens et un filtre retenant les poussières fines (taux d'abattement allant jusqu'à 30 % selon les filtres). Ces filtres doivent être changés très régulièrement pour maintenir l'efficacité du système (1 à 2 fois par an). Cependant, en fonction de la performance des filtres et de la localisation géographique (à proximité immédiate de routes très circulées), ces derniers peuvent vite s'encrasser et doivent être changés à une fréquence plus élevée (tous les 2 à 3 mois). Au-delà du changement de filtre, une VMC double-flux demande un entretien régulier pour éviter qu'elle ne s'encrasse et perde en efficacité (nettoyage des bouches d'extraction, dépoussiérage des bouches de soufflage, et entretien complet tous les trois ans par un professionnel). Les systèmes VMC double-flux sont intrinsèquement très efficaces. Cependant la qualité des installations est encore trop souvent négligée et le changement des filtres peut s'avérer délicat, voire impossible. La mise en œuvre de ces systèmes doit donc être anticipée dès la conception des bâtiments, pour permettre leur entretien.

### 10.3. AMÉNAGEMENTS DU TERRITOIRE

Les aménagements du territoire agissent non pas sur les émissions mais sur l'exposition des populations. Aussi, les activités polluantes, mais également les aménagements générant un trafic important (centres commerciaux, pôles tertiaires, centres de loisirs, ...) seront installés de préférence loin des populations et des équipements accueillant un public vulnérable.

À l'échelle de l'aménagement, plusieurs paramètres exercent une influence sur l'exposition des populations et sur la dispersion des polluants :

- La présence d'obstacles verticaux obstrue bien entendu les flux d'air, mais peut aussi être mise à profit *via* des bâtiments « masquants », par exemple, pour protéger des espaces vulnérables de voies au trafic soutenu ;
- La présence d'obstacles horizontaux influence fortement la vitesse du vent en fonction des inégalités de hauteur de la canopée urbaine ;
- Les configurations « en canyon » bloquent le flux d'air et limitent la ventilation ;
- La complexité des rues et leur obstruction (rapport entre l'écartement des immeubles et leur hauteur) sont des facteurs aggravants.

Les espaces ouverts (nature en ville, parcs, jardins, voire espaces agricoles et naturels) constituent des espaces permettant la circulation de l'air et la dispersion des polluants, contrairement à des bâtiments accolés les uns aux autres.

Ils peuvent aussi représenter un potentiel de fixation des polluants atmosphériques. L'impact sur la fixation ou la dispersion des polluants diffère selon les types de végétalisation et les espèces végétales, et sont à considérer dans le choix des espèces :

- Les toitures végétales captent les particules fines ;
- Les parcs et forêts urbains contribuent à la réduction des particules en suspension et autres polluants (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote...); selon les travaux conduits au sein du Laboratoire Image-Ville-Environnement de l'Université de Strasbourg, la végétation permet une réduction des niveaux de concentrations de l'ordre de 0,4 % pour le NO<sub>2</sub> et de 1 % pour les PM10 ;
- La végétation en bordure de route capte une partie des émissions liées à la circulation routière ;
- Les alignements d'arbres ont de fait une capacité de captation, mais limitent la ventilation des rues et la dispersion des polluants (notamment dans les rues « canyons » et/ou si le ratio entre le volume des arbres et le volume total de la rue est trop élevé) ;
- En revanche, certaines espèces sont émettrices de polluants (composés organiques volatils) ou allergisantes. Cela est à prendre en considération dans le choix des espèces.

## 11. QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

### 11.1. PRÉSENTATION

Le projet prévoyant la création de logements, la problématique de la pollution de l'air intérieur dans les habitations est donc un sujet à prendre en considération. En effet, en France, une personne passe en moyenne 80 à 90 % de son temps en milieu clos, que ce soit en habitat, au travail ou dans les transports. Chaque année en France, la pollution de l'air intérieur est responsable du décès d'environ 20 000 personnes et engendre un coût socio-économique évalué à 19,5 milliards d'euros<sup>5</sup>. Aussi, la question de la qualité de l'air intérieur est un sujet faisant l'objet de plus en plus d'études sanitaires et scientifiques.

Les polluants susceptibles d'affecter la qualité de l'air intérieur et la santé sont nombreux et de plusieurs types : composés toxiques (formaldéhyde, monoxyde de carbone, ...), biologiques (acariens, pollens, moisissures, ...), radioactifs (radon) ou physiques (particules fines, amiante).

L'origine de ces polluants est multiple. En effet, certains polluants proviennent de l'interaction avec l'air extérieur, mais la plupart sont émis à l'intérieur même des bâtiments, que ce soit par les équipements, les matériaux de construction ou les activités humaines.

La pollution de l'air intérieur peut avoir des effets sur la santé plus ou moins graves : toux, céphalées, irritation des yeux et de la gorge, fatigue, nausées, cancer.



Figure 40 : Principales sources de pollution de l'air intérieur en habitat (source : Ademe)

<sup>5</sup> ANSES (avril 2014) « Etude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur »

## 11.2. POLLUANTS

Dans les habitations, le **formaldéhyde** est un des polluants les plus répandus du fait des nombreuses sources potentiellement présentes en environnement intérieur : bois agglomérés et contreplaqués (meuble et matériaux de construction), colle, vernis, produits ménagers, cosmétiques, fumée de tabac, ... Le formaldéhyde est un irritant des voies respiratoires supérieures, classé cancérigène certain chez l'homme par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).

Le **monoxyde de carbone** provient de la combustion incomplète de matériaux carbonés, donc en général d'installations de chauffage mal réglées ou mal entretenues. Il est responsable de nombreuses morts par asphyxie en se liant à l'hémoglobine à la place du dioxygène, d'autant plus qu'il s'agit d'un gaz incolore et inodore.

Les **oxydes d'azote** (NOx) sont une famille de gaz formés d'azote et d'oxygène, comprenant principalement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Emis lors de combustions à haute température, la pollution intérieure provient essentiellement des appareils de chauffage ou de production d'eau chaude, des gazinières, du tabagisme ou de la circulation automobile (transfert de la pollution extérieure à l'intérieur des bâtiments).

Les **Composés Organiques Volatils** (COV) sont des substances pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Ils correspondent à plusieurs familles chimiques : alcanes, alcènes, aldéhydes, cétones, esters, alcools, terpènes... Les sources intérieures de COV sont les activités humaines (tabagisme, produits d'entretien, bricolage, utilisation de bougies, d'encens...), les matériaux de construction, l'ameublement (vernis, peinture, colles...) et les équipements (imprimantes, appareils de chauffage...).

Les **particules en suspension** sont des solides de nature très diverse qui restent longtemps dans l'air compte tenu de leur petite taille. Les particules sont considérées comme substances hautement prioritaires par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI). Elles peuvent provenir de la fumée de tabac, de la cuisson des aliments, de bougies, d'encens, de feux de cheminée, ...

Le **dioxyde de carbone** est issu principalement de la respiration. Il ne présente pas un grand danger sanitaire, mais peut être utilisé pour déterminer le niveau de confinement d'un local et l'efficacité de la ventilation.

Les **polluants biologiques** sont constitués de l'ensemble des micro-organismes et des vecteurs particulaires en suspension dans l'air. Ils sont omniprésents et très divers, il s'agit des bactéries (dont certaines produisent des endotoxines), des virus, des moisissures (dont certaines produisent des mycotoxines), des allergènes d'animaux (chats, chiens), d'insectes (blattes) ou d'acariens, ou des pollens. Les effets sanitaires de ces micro-organismes, pollens, ou résidus de micro-organismes pour les allergènes, vont dépendre des espèces présentes, de leurs concentrations et de la durée d'exposition et des personnes exposées. Outre le risque infectieux, il existe des risques allergiques et toxiques non négligeables.

## 11.3. RECOMMANDATIONS

La ventilation et l'aération jouent un rôle essentiel dans la lutte contre la pollution de l'air intérieur. En effet, elles permettent d'évacuer l'air chargé en pollution ou en humidité et d'apporter de l'air neuf. Le renouvellement de l'air d'un logement est la résultante de plusieurs facteurs : la perméabilité à l'air du bâtiment, l'ouverture des fenêtres et des portes et la présence de dispositifs spécifiques de ventilation (naturelle ou mécanique). Une maintenance régulière des systèmes de ventilation est donc primordiale pour réduire les problèmes de pollution intérieure.

Le taux d'humidité est un facteur important de la pollution de l'air intérieur. Un air trop humide tend à favoriser le développement de moisissures et bactéries dont les spores et toxines peuvent affecter la santé, tandis qu'un air trop sec fragilise les muqueuses respiratoires et les rend plus sensibles à la pollution. L'OQAI recommande un taux d'humidité relative compris entre 40 et 60 % pour une température de 18 à 22°C. Il est donc conseillé de maintenir une humidité aux alentours de 50 %, dans un premier temps par une bonne ventilation des locaux, et dans un second temps par l'installation d'un humidificateur ou déshumidificateur d'air.

Une attention particulière doit être appliquée dans l'aménagement des logements afin de limiter les matériaux, peintures et meubles dégageant de composés toxiques comme le formaldéhyde ou les COV. Les produits de construction et de décoration (matériaux d'isolation, peinture, papiers peints, colle, vernis, moquette, ...) doivent être choisis en fonction de leur niveau d'émissions de COV indiqué sur l'étiquette « émissions dans l'air intérieur » obligatoire depuis 2013.



Figure 41 : Etiquette des émissions en polluants volatils des produits de construction et de décoration

L'emploi de produits d'entretien doit respecter les dosages et les consignes d'utilisation indiquées sur l'étiquette et stockés, flacon fermé, dans une zone ventilée.

Les appareils de combustion (chauffage et gazinière) doivent être entretenues et vérifiées périodiquement.

Enfin, le tabagisme, ainsi que l'utilisation de bougies, d'encens et de parfums d'intérieur est déconseillé.

Afin de remédier à une pollution de l'air persistante, il existe des dispositifs de décontamination par effet photochimique, oxydation photocatalytique ou photoplasma. Ces appareils présentent cependant des inconvénients (efficacité en situation réelle, coût élevé, bruit, ...) et de ce fait, ne doivent être envisagés qu'après mise en place d'actions préventives.

## 12. ARTICULATION AVEC LE SRCAE

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) de la région Île-de-France fixe des objectifs concernant notamment la qualité de l'air et la lutte contre le réchauffement climatique.

Parmi les objectifs définis, « l'amélioration de la qualité de l'air pour la santé des franciliens » sera respecté avec la mise en place du projet.

En effet, par rapport à la situation actuelle de 2019, les émissions de polluants atmosphériques, dont le dioxyde d'azote et les particules, vont diminuer en moyenne de 27 % à l'horizon 2025 et de 36 % en 2035 pour les scénarios avec projet.

Ces diminutions entraîneront des concentrations moins élevées, d'où des effets moindres sur la santé, par rapport à l'année 2019.

Avec une diminution des émissions de gaz à effet de serre de -14 % en 2025 et -18 % en 2035 par rapport à l'état actuel, la mise en place du projet ira dans le sens de l'objectif de réduction des GES.

## ***CONCLUSION***

## 13. CONCLUSION

La présente étude Air et Santé s'inscrit dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) d'aménagement des communes de Grigny et Viry-Châtillon, dans le département de l'Essonne (91).

L'étude a été menée en prenant pour cadre la *Note technique NOR : TRET1833075N du 22 février 2019* relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières.

Concernant l'étude des impacts, plusieurs scénarios ont été examinés :

- La situation actuelle pour l'année 2019 ;
- L'horizon 2025 : situation sans projet (Fil de l'Eau) ;
- L'horizon 2025 : situation future avec réalisation du projet ;
- L'horizon 2035 : situation sans projet ;
- L'horizon 2035 : situation future avec projet.

D'une manière générale, le projet va entraîner une modification minimale des flux de véhicules sur le domaine d'étude par rapport à la situation au 'Fil de l'Eau'.

Par rapport à la situation actuelle, les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs, ainsi que la mise en application des normes Euro, associée au renouvellement du parc roulant vont permettre une diminution globale des émissions et des concentrations en polluants atmosphériques.

Du point de vue sanitaire, la création de la ZAC Grande Borne Ouest entraînera une diminution de l'indice IPP (Indice Pollution Population) avec les démolitions de logements prévues en 2025, et une légère augmentation avec la totalité des logements créés en 2035.

Également, une EQRS [Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires] a été réalisée au niveau des différents secteurs du projet.

Les Quotients de Danger calculés au niveau de tous les secteurs étudiés sont inférieurs au seuil d'acceptabilité.

En revanche, sous les hypothèses d'exposition considérées, les taux particules diesel entraînent des Excès de Risques Individuels supérieurs à la valeur recommandée pour tous les scénarios examinés. Cette situation n'est pas due à la mise en place du projet, - les différences avec le Fil de l'Eau étant minimales -, mais à la présence de l'autoroute A6 et de la RD445 qui accentue les concentrations de fond en polluants atmosphériques.

Il faut par ailleurs garder à l'esprit que les hypothèses considérées sont majorantes, et que les Excès de Risques Individuels ne sont pas compris dans le domaine d'action rapide tel que défini par le Haut Conseil de la Santé Publique.

La fréquentation des habitations des différents secteurs du projet ne devrait donc pas être de nature à occasionner de risque inacceptable de survenue de cancer au sein des populations exposées. Cela d'autant plus que l'indice sanitaire ERI tend à évoluer nettement à la baisse pour les scénarios futurs par rapport à la situation actuelle.

En somme, le projet ne va pas entraîner d'augmentation significative de risque de survenue d'une pathologie au sein de la population exposée par rapport à la situation au 'Fil de l'Eau'.

En conclusion, le projet n'aura aucun impact significatif sur la qualité de l'air ambiant, ni au niveau du domaine étudié, ni sur la santé des populations des différents secteurs du projet par rapport à la situation au 'Fil de l'Eau'.

THEMES	Avantages / Inconvénients
TRAFIC	D'après les hypothèses considérées, la circulation pour les scénarios futurs avec projet diminue légèrement par rapport au scénario 'Fil de l'eau' (-1,5 % en 2025 et -0,5 % en 2035).
CONSUMMATION DE CARBURANT	La consommation énergétique baisse faiblement avec le projet par rapport à la situation au Fil de l'Eau (-1,5 % en 2025 et -0,7 % en 2035).
ÉMISSIONS POLLUANTES	Par rapport à la situation au Fil de l'Eau, les émissions diminuent avec le projet de façon minime (-1,5 % en 2025 et -0,7 % en 2035).
ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	Par rapport à la situation au Fil de l'Eau, la mise en place du projet occasionne une faible diminution des émissions de GES (-1,5 % en 2025 et -0,7 % en 2035).
CONCENTRATION DANS L'AIR AMBIANT	D'après les hypothèses considérées, les concentrations sont globalement maximales pour l'horizon actuel 2019.
INDICE POLLUTION-POPULATION [IPP]	En comparaison avec la situation au Fil de l'Eau, la création de la ZAC <b>Grande Borne Ouest</b> entraînera une diminution de l'indice IPP de -4 % avec les démolitions de logements prévues en 2025, et une légère augmentation avec la totalité des logements créés en 2035 (+1 %).
ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES [EQRS]	La fréquentation des habitations du projet ne devrait pas entraîner de risque inacceptable de survenue de pathologie au sein des populations exposées. Cela d'autant plus que les indices sanitaires tendent à évoluer nettement à la baisse pour les scénarios futurs avec projet, par rapport à la situation actuelle.
COUT DES EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	Les coûts de la pollution atmosphérique varient peu avec la mise en place du projet : -1,6 % en 2025 et -0,7 en 2035.
COUT DES GAZ A EFFET DE SERRE	Par rapport à la situation au Fil de l'Eau, les coûts des émissions de gaz à effet de serre diminuent légèrement avec le projet (-1,5 % en 2025 et -0,7 % en 2035).
MESURE(S) COMPENSATOIRE(S)	La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Néanmoins, une réflexion sur les transports en commun, les véhicules électriques et la vitesse de circulation pourrait être envisagée.
EFFETS CUMULES AVEC D'AUTRES PROJETS	L'étude Air et Santé a considéré l'impact cumulé par rapport aux mêmes projets que ceux retenus dans l'étude trafic.

# Annexes

## ANNEXE N°1 : GLOSSAIRE

<b>AASQA</b>	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air	<b>HPM</b>	Heure de pointe du matin
<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie	<b>HPS</b>	Heure de pointe du soir
<b>AEE</b>	Agence Européenne de l'Environnement	<b>IFSTTAR</b>	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
<b>As</b>	Arsenic	<b>INRETS</b>	Institut de recherche sur les transports
		<b>INSEE</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>Ba</b>	Baryum	<b>InVS</b>	Institut de Veille Sanitaire
<b>B(a)P</b>	Benzo(a)Pyrène	<b>IPP</b>	Indice Pollution Population
<b>BPCO</b>	Broncho-pneumopathie chronique obstructive		
<b>BTEX</b>	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes	<b>Ni</b>	Nickel
		<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'azote
<b>Cd</b>	Cadmium	<b>NOx</b>	Oxydes d'azote
<b>CERTU</b>	Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques	<b>N<sub>2</sub>O</b>	Protoxyde d'azote
<b>CH<sub>2</sub>O</b>	Formaldéhyde	<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>CH<sub>4</sub></b>	Méthane	<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O</b>	Acétaldéhyde		
<b>C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O</b>	Acroléine	<b>Pb</b>	Plomb
<b>C<sub>4</sub>H<sub>6</sub></b>	1,3-Butadiène	<b>PDU</b>	Plan de Déplacement Urbain
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	Benzène	<b>PL</b>	Poids Lourd
<b>CITEPA</b>	Centre Interprofessionnel technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique	<b>PM</b>	Particulate Matter (particules fines en suspension)
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone	<b>PM10</b>	Particules de taille inférieure à 10 µm
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone	<b>PM2,5</b>	Particules de taille inférieure à 2,5 µm
<b>COPERT</b>	COmputer PRogramme to calculate Emissions from Road Transport	<b>PNSE</b>	Plan National Santé Environnement
<b>CORINAIR</b>	CORe INventories AIR	<b>PPA</b>	Plan de Protection de l'Atmosphère
<b>COV</b>	Composé Organique Volatil	<b>PRQA</b>	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
<b>COVNM</b>	Composé Organique Volatil Non Méthanique	<b>PRSE</b>	Plan Régional Santé Environnement
		<b>PSQA</b>	Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air
<b>Cr</b>	Chrome	<b>QD</b>	Quotient de danger
		<b>SETRA</b>	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
<b>DRIEE</b>	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie	<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre
<b>EIS</b>	Evaluation de l'Impact Sanitaire	<b>SRCAE</b>	Schéma Régional Climat, Air, Énergie
<b>ERI</b>	Excès de Risque Individuel		
<b>ERU</b>	Excès de risque Unitaire	<b>TCEQ</b>	Texas Commission on Environmental Quality
<b>EQRS</b>	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires	<b>TMJA</b>	Trafic Moyen Journalier Annuel
<b>FET</b>	Facteur d'équivalence Toxique	<b>US EPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>GES</b>	Gaz à Effet de Serre	<b>UVP</b>	Unité de Véhicule Particulier
<b>HAP</b>	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	<b>VK</b>	Véhicules-Kilomètres
<b>Hg</b>	Mercure	<b>VL</b>	Véhicule Léger
		<b>VTR</b>	Valeur Toxicologique de Référence

## ANNEXE N°2 : EFFETS SANITAIRES REDOUTÉS

Tableau 27 : Effets sanitaires redoutés avec seuil – Voie inhalation

<b>Benzène</b>	De nombreuses études ont mis en évidence des effets hématotoxiques et immuno-toxiques. La plupart des effets sanguins ont été associés à des expositions par inhalation.
<b>Butadiène (1,3)</b>	Chez l'homme, la toxicité s'observe essentiellement par inhalation. Des effets hématologiques minimes sont retrouvés et potentiellement des effets cardiovasculaires.
<b>Benzo(a)pyrène</b>	La littérature ne rapporte que des effets par contact cutané.
<b>Arsenic</b>	La grande majorité des informations disponibles, relatives à l'exposition par inhalation à l'arsenic, provient de situations professionnelles (fonderies, mines ou usines de produits chimiques) et rapporte des effets principalement au niveau de : - l'appareil respiratoire (emphysème, pneumoconiose), - du système cardiovasculaire (maladie de Raynaud) - de la peau (hyperkératose et hyperpigmentation) - du système nerveux périphérique (neuropathies, diminution de la conduction nerveuse).
<b>Chrome</b>	Les manifestations toxiques du chrome sont généralement attribuées aux dérivés hexavalents. Le chrome III est un composé naturel de l'organisme, mais il possède également une action toxique. Il n'y a pas d'étude rapportant les effets du chrome III seul chez l'homme, cependant il a été montré que lors d'exposition au chrome sous la forme hexavalente ce dernier est tout ou partiellement réduit en chrome trivalent. Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors de l'exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI.
<b>Nickel</b>	Les études chez l'homme (et l'animal) indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation. Une augmentation de l'incidence des décès par pathologie respiratoire a été trouvée chez des travailleurs exposés chroniquement au nickel. Les effets respiratoires étaient de type bronchite chronique, emphysème et diminution de la capacité vitale.
<b>Monoxyde de carbone</b>	Les signes d'appel d'une intoxication chronique sont les mêmes que dans le cas d'une intoxication subaiguë débutante : céphalées, vertiges et asthénie, parfois associés à des troubles digestifs. Les études conduites afin d'évaluer l'effet sur le myocarde indiquent que l'oxyde de carbone favorise le développement d'une ischémie myocardique à l'effort chez les sujets ayant une coronaropathie préexistante sans favoriser l'apparition de trouble du rythme. Ces effets ont été observés pour les expositions répétées à faibles doses.

<b>Particules diesel</b>	<p>Le dépôt des particules en suspension dans le système respiratoire dépend des propriétés physico-chimiques de l'aérosol (la taille, la forme, la surface, le caractère, ...). Après leur dépôt, les particules et particulièrement les particules inférieures à 0,1 µm semblent transloquer facilement vers des sites extrapulmonaires et atteignent alors différents organes cibles.</p> <p>Les effets des particules sont dus à la fois par leurs dépôts dans le système respiratoire, mais aussi par les polluants qu'elles transportent (imbrûlés, HAP, etc.). Elles peuvent en effet véhiculer sur leur surface des substances toxiques capables de passer la barrière air/sang au niveau des alvéoles pulmonaires.</p> <p>Les principaux effets toxicologiques des polluants, en particulier sur les mécanismes de stress oxydatif ainsi que sur l'appareil cardiovasculaire, sont mis en évidence par plusieurs études biologiques. D'autres études ont aussi montré que la fonction respiratoire diminuait lors d'une exposition chronique à long-terme aux particules. En augmentant le stress oxydatif, elles aggravent l'inflammation des BPCO (Bronco-Pneumopathies Chroniques Obstructives) et conduisent à leur exacerbation. De même, l'inflammation alvéolaire serait à l'origine d'une inflammation systémique contribuant à augmenter la coagulabilité sanguine elle-même responsable de l'initialisation et la progression de l'athérosclérose à l'origine de maladies cardiaques ischémiques aiguës et d'accidents vasculaires cérébraux. De plus, des lésions anatomo-pathologiques des bronches et des bronchioles, ainsi qu'un épaississement de la paroi artérielle ont été aussi associés à une exposition chronique aux particules. Les effets de la pollution aérienne sur la variabilité de la fréquence cardiaque ont été mis en évidence pour la pollution particulaire.</p>
<b>Oxydes d'azote</b>	<p>Chez l'homme, le monoxyde d'azote a une action toxique au niveau des plaquettes, et induit la formation de nitrosylhémoglobine et de méthémoglobine. Il a également des effets respiratoires.</p> <p>Les enfants exposés au dioxyde d'azote dans l'air intérieur ont des symptômes respiratoires plus marqués et des prédispositions à des maladies respiratoires chroniques d'apparitions plus tardives, sans pour autant qu'il y ait une augmentation de leur fréquence. Les études chez les adultes n'ont pas montré d'augmentation de la fréquence des symptômes respiratoires.</p> <p>Les enfants exposés au dioxyde d'azote dans l'air extérieur montrent un allongement de la durée des symptômes respiratoires. Pour les adultes, la corrélation entre exposition et pathologies respiratoires chroniques n'est pas claire.</p>
<b>Dioxyde de soufre</b>	Plusieurs études effectuées chez les humains ont démontré que des expositions répétées à de faibles concentrations de SO <sub>2</sub> (moins de 5 ppm) causent une insuffisance pulmonaire permanente. Cet effet peut sans doute être attribué à des crises répétées de bronchoconstriction

Tableau 28 : Effets sanitaires redoutés sans seuil – Voie inhalation

	Effets cancérigènes	Effets sur la reproduction et le développement
<b>Benzène</b>	Plus de 25 études ont rapporté une augmentation des taux de cancer au cours des expositions professionnelles au benzène. La leucémie aiguë est l'affection la plus souvent rapportée dans les études de cas mais l'épidémiologie retrouve une association significative avec les leucémies de tout type voire d'autres affections du tissu hématopoïétique comme les lymphomes non hodgkiniens.	Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère exposée par inhalation. Ependant les effets par inhalation sur la reproduction et le développement ne sont pas suffisants pour établir une relation causale.
<b>Butadiène (1,3)</b>	Chez l'homme, il semble qu'il existe un lien entre la survenue de leucémies et les expositions au 1,3-butadiène	Le 1,3-butadiène a été étudié par l'Union Européenne mais n'a pas été classé. Aucune information n'est disponible quant aux effets sur la reproduction et le développement du 1,3-butadiène chez l'homme
<b>Benzo(a)pyrène</b>	Les études rapportées dans la littérature ne permettent pas de conclure quant au caractère cancérogène du benzo[a]pyrène à lui seul chez l'Homme. Les études chez l'animal indiquent que le benzo[a]pyrène induit des tumeurs chez de nombreuses espèces animales par les trois voies d'exposition possibles : pulmonaire, orale et cutanée. Les effets rapportés correspondent , une action à la fois locale et systémique.	Il n'existe pas, en l'état actuel des connaissances, de preuves suffisantes permettant de conclure à la toxicité du formaldéhyde sur la reproduction et le développement embryofœtal. D'après la bibliographie, aucune étude n'a été, effectuée chez l'homme pour rechercher un éventuel effet du benzo[a]pyrène sur la reproduction. Le benzo[a]pyrène est embryotoxique chez la souris.
<b>Arsenic</b>	L'arsenic a été l'un des premiers composés chimiques reconnus comme cancérigène par : - le CIRC (groupe 1) - l'US EPA (classe A) - l'Union Européenne (quatre substances en catégorie 1). Les principaux cancers liés à une exposition à l'arsenic sont les cancers de la peau, de la vessie, des poumons, des reins et du foie.	Ces effets ont été très peu étudiés chez l'homme. Toutefois pour des doses très faibles, avortements spontanés, mortalités fœtale et infantile tardive et faibles poids de naissance ont été mis en évidence ces dernières années. De même, des effets sur le développement intellectuel ont été observés. Chez l'animal, aucun effet sur la reproduction n'est observé ; des

	Effets cancérigènes	Effets sur la reproduction et le développement
		effets sur le développement sont principalement mis en évidence par inhalation, avec des pertes post implantatoires et une diminution du nombre de fœtus viables. Seul l'arséniate de plomb est classé par l'Union Européenne en Catégorie 1 et 3.
<b>Chrome</b>	De nombreuses études épidémiologiques réalisées en Allemagne, en Italie, au Japon, au Royaume Uni ou aux Etats Unis sur des salariés de la production des chromates ont largement mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon.	Les seules données connues concernant les effets toxiques du chrome sur la fonction de reproduction sont issues d'études réalisées chez la femme exposée professionnellement aux dichromates. Les résultats montrent une augmentation de l'incidence des complications au cours de la grossesse et de la naissance, une toxicose pendant la grossesse ainsi qu'une augmentation des hémorragies post-natales (Shmitova, 1978, 1980). Bien qu'ayant été pratiquées en présence d'un groupe témoin, ces études sont d'une qualité médiocre et ne permettent pas de conclure quant à l'effet du chrome sur la reproduction humaine.
<b>Nickel</b>	Les différentes études épidémiologiques portant sur les effets cancérogènes du nickel ont été basées sur des études de cohorte de travailleurs de raffineries et ont mis en évidence une augmentation du risque de cancer du poumon et du nez.	Chez les femmes exposées, le taux de malformations était de 16,9 % contre 5,8 % chez les non-exposés. Les auteurs indiquent que la différence observée est statistiquement significative, cependant aucune précision supplémentaire n'est donnée.

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
<b>Particules diesel</b>	Des études épidémiologiques ont montré un risque accru de risque accru de cancers pulmonaires pour des populations professionnellement exposées aux émissions des moteurs à combustion. Ces effets semblent se confirmer également expérimentalement mais certains résultats sont parfois contradictoires comme en témoigne des études de cancérogenèse expérimentales qui ont été menées sur des rats. Ainsi, "il est couramment admis par la communauté scientifique que les particules diesel sont responsables de la cancérogénicité expérimentale des émissions diesel " (SFSP, 1996). De surcroît, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) classe les particules diesel comme étant probablement cancérogènes chez l'Homme.	Certaines études chez l'animal semblent montrer des atteintes possibles au niveau de la spermatogenèse. Ces données sont cependant trop partielles et ne peuvent pas être extrapolées actuellement chez l'homme.
<b>Oxydes d'azote</b>	Le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote n'ont pas été classés cancérogènes par l'UE, l'US EPA et l'IARC ; le monoxyde n'a pas été étudié par l'UE. Différentes études ont montré des résultats positifs quant à la génotoxicité du dioxyde d'azote, néanmoins il n'a pas été classé par l'UE. Le monoxyde d'azote n'a pas été étudié.	Le monoxyde d'azote n'a pas été étudié par l'UE, et le dioxyde d'azote n'est pas classé reprotoxique. Chez l'animal, le dioxyde d'azote induit des effets neuro-comportementaux, des signes d'embryotoxicité. En revanche, aucun effet tératogène ou sur la spermatogenèse n'est rapporté.

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
<b>Dioxyde de soufre</b>	Plusieurs études épidémiologiques ont évalué la possibilité que le dioxyde de soufre cause des cancers tels un cancer du poumon, un cancer de l'estomac ou des tumeurs cérébrales. Toutes les études comportaient des facteurs de confusion non contrôlés comme une exposition concomitante à d'autres produits chimiques. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a passé en revue ces études et décidé que les données actuelles ne permettent pas d'établir la cancérogénicité chez l'humain. Cependant, il y a quelques signes de cancérogénicité chez les animaux. Évaluation globale faite par le CIRC : Il est impossible de classer le SO <sub>2</sub> en fonction de sa cancérogénicité chez l'humain (groupe 3).	Un certain nombre d'études épidémiologiques ont indiqué qu'une exposition au SO <sub>2</sub> peut être reliée à des effets nocifs sur l'appareil reproducteur. Cependant, aucune de ces études n'a fourni des données indiquant clairement que le SO <sub>2</sub> soit responsable des effets observés. Aucune conclusion ne peut être tirée du peu d'information recueillie chez les animaux.
<b>Monoxyde de carbone</b>	Le monoxyde de carbone n'est pas classé par le CIRC.	L'oxyde de carbone ne modifie pas la fertilité et ne semble pas tératogène, mais il est nettement foetoxique. Lors d'une intoxication grave de la mère dans le coma, il peut y avoir mort du fœtus ou, sinon, de graves séquelles neurologiques. Si l'exposition est prolongée ou l'intoxication aigue moins importante, on peut observer un retard de croissance <i>in utero</i> et une augmentation de la mortalité néonatale. Si l'enfant survit, il ne semble pas y avoir de séquelles à long terme.

## Contact

### **TechniSim Consultants**

2 rue Saint-Théodore  
69003 LYON

Fixe : 04 72 33 91 67

Mél. : [technisim@wanadoo.fr](mailto:technisim@wanadoo.fr)

Le contenu de ce rapport est uniquement valable pour le projet faisant l'objet de cette étude.  
Toute utilisation à d'autres fins que celles du présent projet doit faire l'objet d'une autorisation d'exploitation.

**ADDENDA** : L'absence de remarques sous un mois à compter de la date de réalisation de l'étude vaut acceptation.  
Toute reprise mineure ou majeure ultérieure sera susceptible de faire l'objet d'un avenant financier spécifique.  
Nonobstant, le suivi administratif des services instructeurs régaliens est compris dans la prestation.

**ANNEXE 2 : ETUDE MOBILITE – TRANSITEC – JUIN 2020**

GPA – Grigny Viry-Châtillon / Juin 2020

# Etude d'impact volet mobilité

Grigny – Viry - Châtillon

**RAPPORT**



Nom du fichier	Version	Date	Objet des modifications	Directeur d'étude	Chef de projet	Ingénieur d'étude
1591_195-rap-1-mamV3.docx	1	30.01.20	-	R. Perrin	S. Simonnet	M. Amor
1591_195-rap-1-mam_diagnostic_Transitec.docx	2	11.02.20	Prise en compte remarques GPA	R. Perrin	S. Simonnet	M. Amor
1591_195-rap-1-mam_diagnostic_TransitecV2.docx	3	24.02.20	Prise en compte remarques GPA	R. Perrin	S. Simonnet	M. Amor
1591_195-rap-1-mam_rapport_complet.docx	4	28.04.20	Version provisoire	R. Perrin	S. Simonnet	M. Amor
1591_195-rap-2-mam_rapport_complet_Transitec.docx	5	05.06.20	Finalisation	R. Perrin	S. Simonnet	M. Amor

Contact : Mathilde Amor

Transitec Ingénieurs-Conseils  
 28, rue Sainte Foy · FR-75002 Paris  
 T +33 (0)1 43 48 36 59 · F +33 (0)4 72 37 88 59  
 Mathilde.amor@transitec.net · www.transitec.net



Table des matières	Page
1. Contexte et objectifs du projet.....	7
1.1 Contexte de l'étude .....	7
1.2 Présentation du secteur .....	8
2. Diagnostic de la situation actuelle.....	9
2.1 Population et pratiques de déplacement .....	9
2.1.1 Part modale des déplacements.....	9
2.1.2 Déplacements domicile-travail .....	10
2.2 Réseau routier, réseau de transports collectifs.....	11
2.2.1 Réseau viaire .....	11
2.2.2 Desserte en transports collectifs.....	16
2.3 Modes actifs (marche et vélo).....	19
2.4 Etat des lieux du stationnement.....	21
2.4.1 Offre de stationnement.....	21
2.4.2 Usages du stationnement .....	23
3. Le dynamisme du territoire.....	24
3.1 Les projets d'infrastructures routières .....	24
3.2 Les projets de transports collectifs .....	24
3.3 Les projets urbains .....	24
3.4 Les impacts attendus sur les déplacements .....	26
3.4.1 Impacts liés à la programmation urbaine.....	26
3.4.2 Impacts sur le réseau viaire et le stationnement.....	26
3.4.3 Impacts liés aux projets de transport en commun.....	29
3.4.4 Impacts sur le déplacement des modes actifs .....	29
4. L'évolution probable de l'environnement .....	30
4.1 Tendances.....	30
4.1.1 Evolution du taux d'occupation des voitures.....	30
4.1.2 Evolution du nombre de personnes par logement.....	30
4.1.3 Evolution des parts modales .....	31
4.2 Evolution des pratiques de déplacements en lien avec les projets connexes .....	31
4.2.1 Projets urbains.....	31
4.2.2 Situation projetée des trafics .....	32

5.	Situation de projet .....	35
5.1	Le projet Grand Borne Ouest .....	35
5.2	Réseau routier .....	36
5.3	Desserte en transports collectifs .....	38
5.4	Modes actifs (marche et vélo) .....	38
5.5	Bilan stationnement .....	39
5.6	Impacts du projet .....	41
6.	Annexes .....	42
6.1	Annexes 1 et 2 : Demande de trafic journalier 2019 avec sources .....	42
6.2	Annexes 3 et 4 : Descriptifs des projets de transports en commun .....	43

# Liste des figures

Page

Figure 1 : Périmètre du projet – ZAC Grande Borne Ouest (Source : Grand Paris Aménagement, 2020) .....	8
Figure 2 : Part modale actuelle des déplacements des communes de Grigny, Viry-Châtillon, Fleury-Merogis et Morsang-sur-Orge - Tous déplacements (à gauche), internes (à droite) - EGT 2010 .....	9
Figure 3 : Part modale actuelle des déplacements domicile-travail des résidents des communes de Grigny et de Viry-Châtillon - INSEE 2016.....	10
Figure 4 : Hiérarchie du réseau viaire actuel.....	11
Figure 5 : Demande de trafic journalier 2019 - Valeurs redressées (Trafic Journalier Moyen Annuel) .....	12
Figure 6 : Capacité utilisée actuelle des carrefours - Secteur Grande Borne.....	14
Figure 7 : Capacité utilisée actuelle des carrefours - Secteur ZAC Centre-Ville.....	15
Figure 8 : Saturation du réseau routier à l'heure de pointe du soir - Google Maps.....	15
Figure 9 : Desserte actuelle du site via le réseau ferré - Google Maps.....	16
Figure 10 : Couverture territoriale théorique du réseau de transport en commun.....	17
Figure 11 : Plan du réseau de transports en commun - Bassin d'Evry Secteur Nord - GPS 2019 .....	18
Figure 12 : Qualité des aménagements pour les modes actifs .....	19
Figure 13 : Offre de stationnement - Relevé le 23 novembre et le 3 décembre 2019.....	22
Figure 14 : Taux de congestion - Relevé le 3 décembre 2019 à 5h du matin.....	23
Figure 15 : Projets d'infrastructures routières à l'horizon 2025 - Etude de circulation à Grigny - CDVia 2019 .....	24
Figure 16 : Localisation et programmation des projets connexes (Source : GPA, 2020) .....	25
Figure 17 : Nouveaux réseau viaire - Projets connexes (Source : Etude ensemblière (groupement Made-in) - 2020) .....	27
Figure 18 : Stationnement projeté - Secteur Grande Borne (Source : Etude ensemblière (groupement Made-in) - 2020) .....	28
Figure 19 : Conditions de circulation pour les modes actifs à l'état de référence.....	30
Figure 20 : Parts modales actuelles et projetées à l'horizon 2025 et 2035.....	31
Figure 21 : Demande de trafic journalier lié à l'évolution probable de l'environnement – Projection à l'horizon 2025 (Trafic Journalier Moyen Annuel).....	33
Figure 22 : Demande de trafic journalier lié aux projets connexes - Projection à l'horizon 2035 (Trafic Journalier Moyen Annuel).....	34
Figure 23 : Projet de requalification de la RD445 (Source : RD445 – Esquisse – Rendu final, AMT, 2019) .....	35
Figure 24 : Demande de trafic journalier lié au projet - Projection à l'horizon 2025 (Trafic Journalier Moyen Annuel) .....	36
Figure 25 : Demande de trafic journalier lié au projet - Projection à l'horizon 2035 (Trafic Journalier Moyen Annuel) .....	37
Figure 26 : Sollicitation des carrefours de la RD445 entre l'état actuel (2019) et l'état à l'horizon 2035 .....	38

Figure 27 : Incidence de la requalification de la RD445 sur le déplacement des modes actifs .....39

Figure 28 : Stationnement projeté - Secteur Grande Borne (Source : Etude ensemble (groupement Made-in) - 2020) .....40

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison entre stationnement actuel et projeté.....27

Tableau 2 : Programmation du projet (source : Etude ensemble (groupement Made-in) - 2019) .....35

Tableau 3 : Comparaison entre stationnement actuel et projeté.....39

# 1. Contexte et objectifs du projet

## 1.1 Contexte de l'étude

Situées à 30 kilomètres au sud de Paris, les communes de Grigny et de Viry-Châtillon ont connu un fort développement industriel et démographique à la fin des années 60. Bien que les habitations d'origine se rapprochent du style pavillonnaire, elles cohabitent avec des quartiers monofonctionnels de grands ensembles résidentiels qui accueillent aujourd'hui plus de 70% des habitants, principalement situés sur la commune de Grigny. Du point de vue économique, la ZAC des Radars, située au sud de Grigny, regroupe l'essentiel des emplois de cette commune. Les emplois localisés sur Viry-Châtillon sont plus disparates. Ils se regroupent principalement au nord de cette commune, au sein de la ZAC SNCF et de la zone artisanale des Noues-de-Seine, mais également à l'extrémité Nord de la Grande Borne avec la zone industrielle du Président Kennedy (Cartoviz, 2019). Actuellement, aucun bassin d'emploi ne se trouve directement sur le périmètre du projet, à savoir au niveau de la ZAC Grande Borne Ouest.

Ce développement rapide a engendré de nombreux dysfonctionnements, notamment sociaux, urbains et économiques, obligeant les politiques publiques à s'investir considérablement dans ce secteur afin de remédier à ces problématiques.

Dans le cadre d'une Opération d'Intérêt National (OIN) et d'une ORCOD-IN visant respectivement une transformation durable des sites de la Grande Borne et de Grigny 2, de nombreux projets de développement urbain, de requalification des espaces publics et de transports publics sont à l'étude, modifiant inmanquablement l'accessibilité du secteur. Ainsi, la présente étude se chargera d'analyser aussi bien les impacts qui découleront de la réalisation de ces projets, que ceux engendrés par une évolution des pratiques de déplacement.

Les objectifs de cette étude sont :

- Objectiver les caractéristiques actuelles de la mobilité du projet et autour du projet ;
- Mesurer les impacts potentiels du projet défini sur le trafic, la mobilité tous modes et le stationnement à l'horizon 2025 et 2035 ;
- Etablir le cas échéant des préconisations pour minimiser les possibles impacts négatifs du projet et mieux l'insérer dans son environnement existant et futur.

Par ailleurs, le secteur analysé ici est sujet à une imbrication de plusieurs démarches lui conférant un cadre légal et réglementaire complexe. Parmi les principales, se trouvent :

- Nouveau Programme National de Rénovation Urbaine (NPNRU) ;
- Du fait de leur niveau de pauvreté avancé, ce programme a retenu les quartiers qualifiés de prioritaires de la Grande Borne, du Plateau et de Grigny II. Grand Paris Aménagement est ici signataire de ce protocole du fait de son statut d'aménageur de la ZAC Centre-Ville. Par ailleurs, une étude de requalification de la RD445 et de ses abords sera également traitée dans le cadre du NPNRU.
- Contrat d'Intérêt National (CIN) Porte Sud du Grand Paris ;

Signé par de nombreuses administrations publiques pour une durée de 5 ans renouvelables, ce contrat permet d'accélérer les projets de développement des territoires selon quatre axes, parmi lesquels figure la thématique des transports.

De plus, la feuille de route « Grigny 2030 » annexée à ce présent contrat s'appuie également sur les projets de transport en commun pour atteindre ses objectifs de développement de la commune de Grigny, d'un point de vue social, urbain et financier.

- Deux Opérations d'Intérêt National : ORCOD IN et OIN aménagement Grigny/Viry-Châtillon ;

L'ORCOD IN se focalise sur l'amélioration des conditions de logement de la copropriété Grigny 2, l'OIN Grigny/Viry définit une stratégie de développement pour le territoire qui s'intéresse notamment à la

question des transports. Cette OIN englobe les secteurs de la Grande Borne, de la ZAC des Radars, de la ZAC Centre-Ville ainsi que la RD445.

■ ZAC Centre-Ville de Grigny ;

L'aménagement de cette ZAC est piloté par Grand Paris Aménagement depuis 1998 dont la concession a été reconduite en 2016 pour quatre années supplémentaires. Du fait de sa localisation au croisement des quartiers de la Grande Borne et de Grigny 2, son développement est primordial pour assurer une cohérence du secteur.

En matière de mobilités durables, le projet de ZAC intègre l'arrivée de deux projets de transports en commun :

- Tramway T12 (« Tram-Train Massy-Evry ») ;
- Ligne TZen 4 qui reliera Viry-Châtillon à Corbeil-Essonnes.

## 1.2 Présentation du secteur

Dans le cadre de cette étude, le périmètre du projet sera celui de la ZAC Grande Borne Ouest, se focalisant uniquement sur les secteurs des Places Hautes et du Méridien, ainsi que le projet de requalification de la RD445. Par ailleurs, le périmètre d'étude s'inscrira dans le Périmètre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) en excluant la ZAC des Radars afin de veiller à bien inclure les franges susceptibles d'être impactées par le projet.

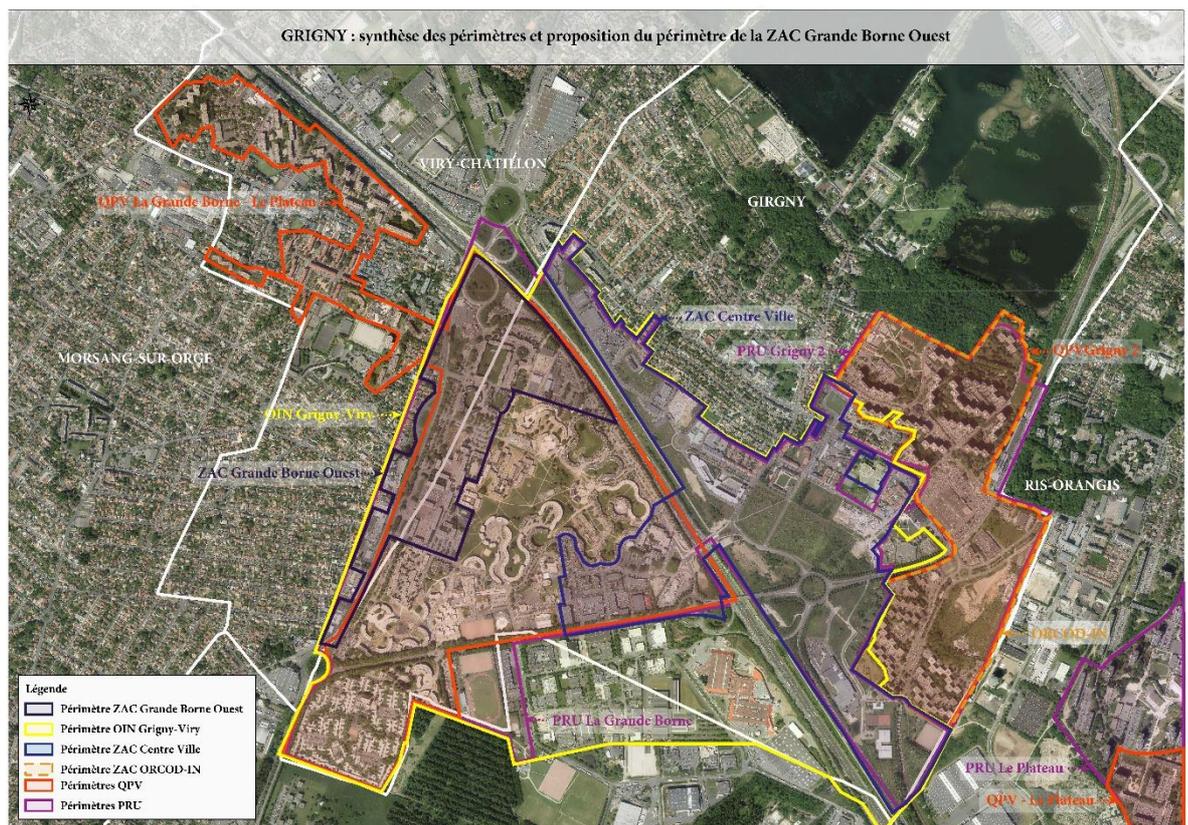


Figure 1: Périmètre du projet – ZAC Grande Borne Ouest (Source : Grand Paris Aménagement, 2020)

## 2. Diagnostic de la situation actuelle

### 2.1 Population et pratiques de déplacement

Le secteur d'étude est principalement constitué de quartiers d'habitat avec notamment la Grande Borne qui regroupe près de 35% des résidents. Par ailleurs, au sein du site d'étude, la part de la population active ainsi que le taux de personnes scolarisées y sont relativement faibles avec respectivement 65% et 14% (IRIS, 2016). A l'inverse, il est possible de relever un taux de chômage et un taux de pauvreté (seuil de 60% du revenu disponible) élevés avec respectivement 17% et 45% (dernier pourcentage uniquement disponible sur le secteur de la Grande Borne). Ces éléments sont à prendre en considération dans la suite des analyses étant donné des statistiques concernant les pratiques de déplacement disponibles uniquement sur la population totale des différentes communes.

#### 2.1.1 Part modale des déplacements

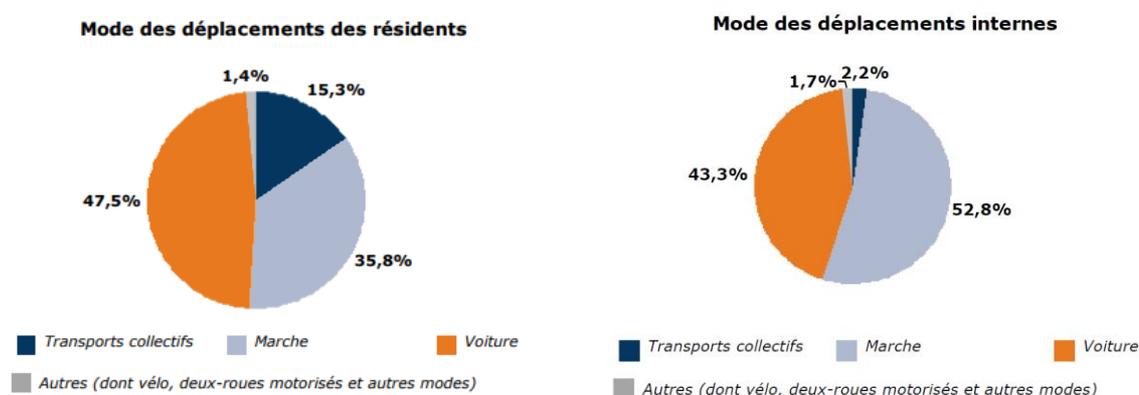


Figure 2 : Part modale actuelle des déplacements des communes de Grigny, Viry-Châtillon, Fleury-Merogis et Morsang-sur-Orge - Tous déplacements (à gauche), internes (à droite) - EGT 2010

L'Enquête Globale Transport (EGT) de 2020 étant en cours de réalisation, les résultats présentés ici sont repris en l'état de l'EGT 2010. L'appréhension des réalités sociales, démographiques et économiques sur le périmètre d'étude est délicate et rendrait difficile et/ou peu fiable un travail en ce sens. Les évolutions du système de desserte locale ont été de faible ampleur depuis 2010 (pas de création d'un transport lourd ou de requalification d'un axe routier structurant, par exemple) et les comportements de mobilité ont probablement assez peu été modifiés. Selon le découpage territorial de l'EGT, qui regroupe les communes de Grigny, Viry-Châtillon, Fleury-Merogis et Morsang-sur-Orge, la marche à pied représente environ 35% de la totalité des déplacements tandis que la part modale des transports en commun s'élève à environ 15%. En partant du principe qu'une majorité des résidents du secteur d'étude se déplacent peu en dehors du périmètre (faible part de la population active, faible scolarisation, taux élevé de pauvreté), la marche deviendrait alors le mode de déplacement le plus utilisé avec plus de 50% de part modale (Fiche territoriale 9110, EGT 2010).

En comparaison, à l'échelle de l'Essonne pour tous motifs de déplacement confondus, l'EGT 2010 indique une utilisation de la voiture située entre 60 et 65%, soit nettement supérieure à celle relevée sur les quatre communes précitées. A l'inverse, la marche y occupe une place plus importante étant donné un pourcentage d'environ 25% sur le territoire de l'Essonne. Concernant les transports en commun, les pourcentages restent similaires sur les deux périmètres de comparaison (entre 10 et 15%).

## 2.1.2 Déplacements domicile-travail

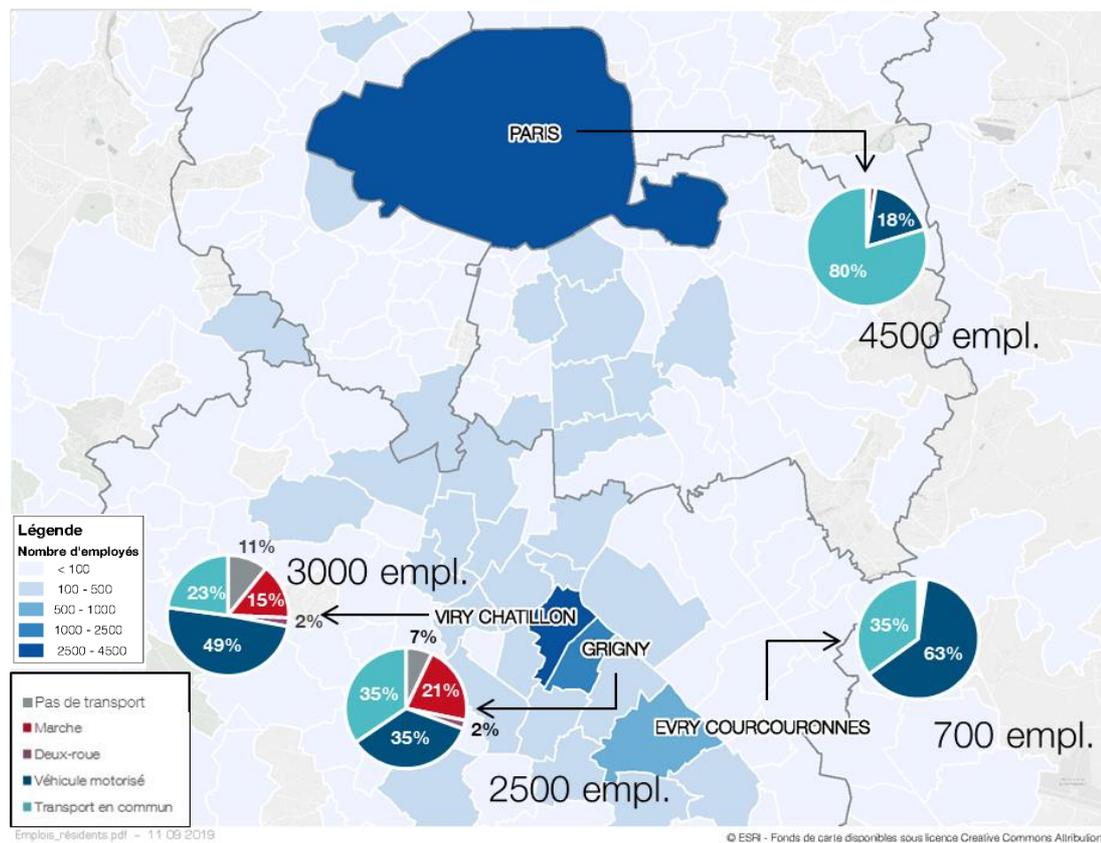


Figure 3 : Part modale actuelle des déplacements domicile-travail des résidents des communes de Grigny et de Viry-Châtillon - INSEE 2016

En considérant uniquement la population des communes de Grigny et de Viry-Châtillon pour les déplacements domicile-travail, il existe une quasi-parité entre l'utilisation des véhicules motorisés et des transports en commun, répartie cependant différemment selon le lieu de travail (INSEE 2016). A noter que la dénomination « Pas de transport » ne possède pas une définition bien précise. Compte tenu du contexte établi à Grigny et Viry-Châtillon, il peut s'agir de personnes dont le travail consiste en lui-même à se déplacer, tels que les prestataires de services de transport (Uber) par exemple.

Les résidents de ces deux communes se déplaçant à Paris utilisent en majorité les transports en commun. A l'inverse, les résidents travaillant à Evry-Courcouronnes se déplacent principalement en voiture bien que la part modale des transports en commun reste importante avec 35%. Concernant les déplacements effectués à l'intérieur même des deux communes, la voiture détient une part modale d'environ 40% tandis que les transports en commun et la marche atteignent à eux deux quasiment 50%. Par ailleurs, dans la totalité des déplacements domicile-travail, les deux-roues sont ici très peu utilisés.

Au vu des caractéristiques socio-économiques de la population du secteur d'étude, les déplacements domicile-travail ne sont pas les plus représentatifs. Ces analyses permettent cependant de mieux appréhender la répartition modale qui pourrait s'observer à la suite des différents projets de réaménagement qui visent à désenclaver ce secteur et ainsi augmenter la population active du périmètre étudié. Il est cependant important de noter qu'une augmentation du niveau de vie devrait engendrer une élévation du nombre de véhicules par ménage, aujourd'hui inférieur à 1 selon les données de l'INSEE 2016 et en tenant compte des caractéristiques socio-économiques du secteur d'étude. Ainsi, un plus fort pourcentage de personnes aura l'opportunité de se déplacer en voiture pour se rendre sur son lieu de travail. La mise en place de projets performants de transports en commun tels que le T12 express ou le TZen 4 devrait en partie contribuer à contrebalancer cette tendance.

Par ailleurs, les déplacements internes aux deux communes présentent une part quasi-nulle de deux roues non motorisées bien que les distances soient parfaitement adaptées puisqu'elles se concentrent

dans un rayon de 2.5 km. Un fort potentiel de développement peut donc être observé pour ce mode de déplacement.

## 2.2 Réseau routier, réseau de transports collectifs

### 2.2.1 Réseau viaire

#### Réseau routier disponible

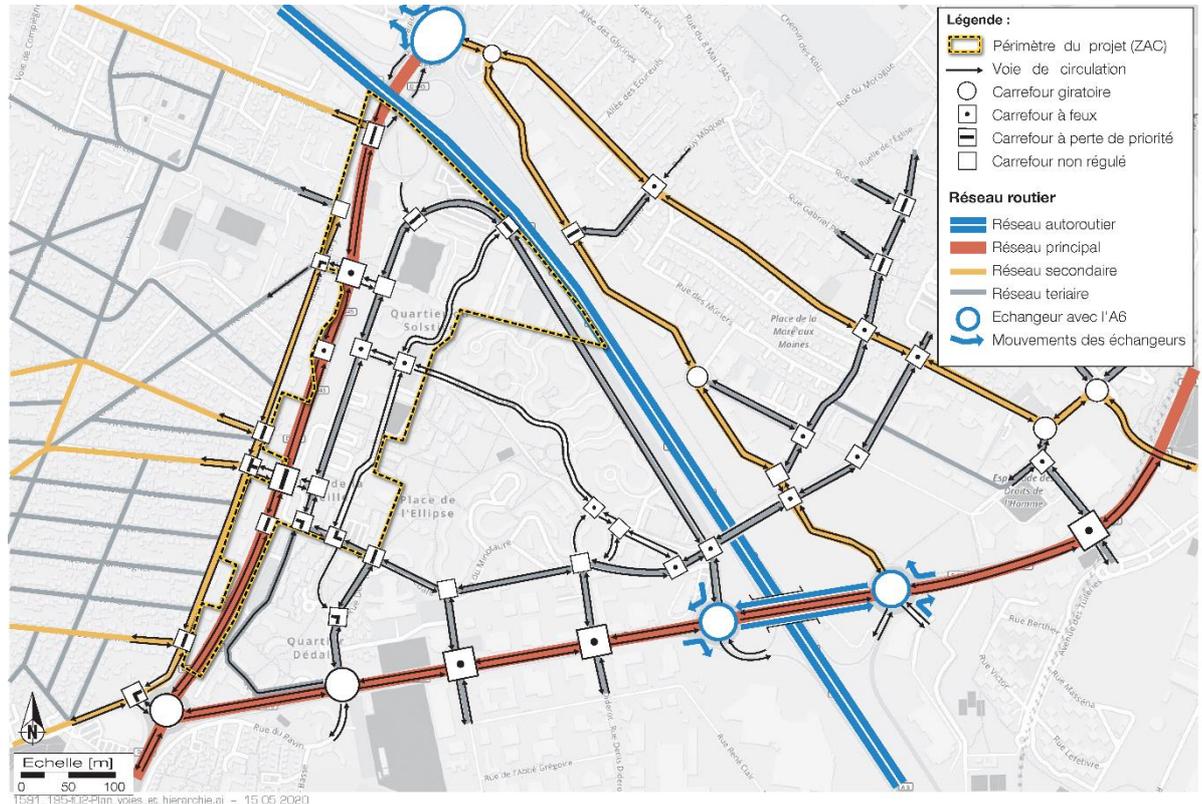


Figure 4 : Hiérarchie du réseau viaire actuel

Le secteur d'étude est traversé par des axes forts tels que l'autoroute A6 et les départementales RD310 et RD445, toutes deux en connexion avec la nationale N7 au nord. Ces itinéraires permettent de rejoindre Paris en 20-30 minutes lorsque les conditions de trafic sont fluides. Ainsi, ce secteur dispose d'une bonne accessibilité routière, renforcée par la Francilienne située à 5 km au sud. Par ailleurs, du côté du secteur de la ZAC Centre-Ville, l'accessibilité se fait via deux axes est-ouest structurants, la route de Corbeil et la rue des Carriers Italiens. Un réseau tertiaire se charge de relier ces deux axes en plusieurs points.

Cependant, ce réseau engendre de fortes coupures urbaines dues au dimensionnement important de ces axes (départementales à 2x2 voies et autoroute à 2x3 voies), en particulier au niveau de la Grande Borne qui se retrouve fortement enclavée. Ce phénomène d'isolement est renforcé par une absence d'axes transversaux structurants facilitant l'accessibilité à ce quartier. La situation est moins marquée au niveau de la ZAC Centre-Ville dont les axes routiers sont plus faiblement dimensionnés, et mieux connectés à l'Est, au Sud et au Nord. Ces axes facilitent également la circulation des modes alternatifs à l'intérieur même de ce secteur.

#### Flux de circulation automobile

Des comptages automatiques ont été réalisés sur une période de 7 jours consécutifs entre le mardi 10 septembre 2019 et le mardi 17 septembre 2019. Des comptages directionnels ont eu lieu le jeudi 12 septembre, aux heures de pointe du matin et du soir sur plusieurs intersections du périmètre. La bretelle de l'autoroute A6 permettant d'accéder à la RD445 étant fermée lors de la période de réalisation de ces enquêtes, les charges de trafic mesurées dans le sens Nord-Sud se sont révélées déséquilibrées et inférieures par rapport à celles mesurées dans le sens Sud-Nord. Ce constat était attendu et il a été

proposé de redresser les valeurs Nord-Sud pour les équilibrer globalement avec les valeurs Sud-Nord, conformément à ce qui a pu être observées au cours de précédentes études. Ces charges redressées seront présentées dans ce chapitre. Les valeurs « brutes » ainsi que les valeurs redressées avec sources sont présentées respectivement en annexe 1 et 2 du présent document.

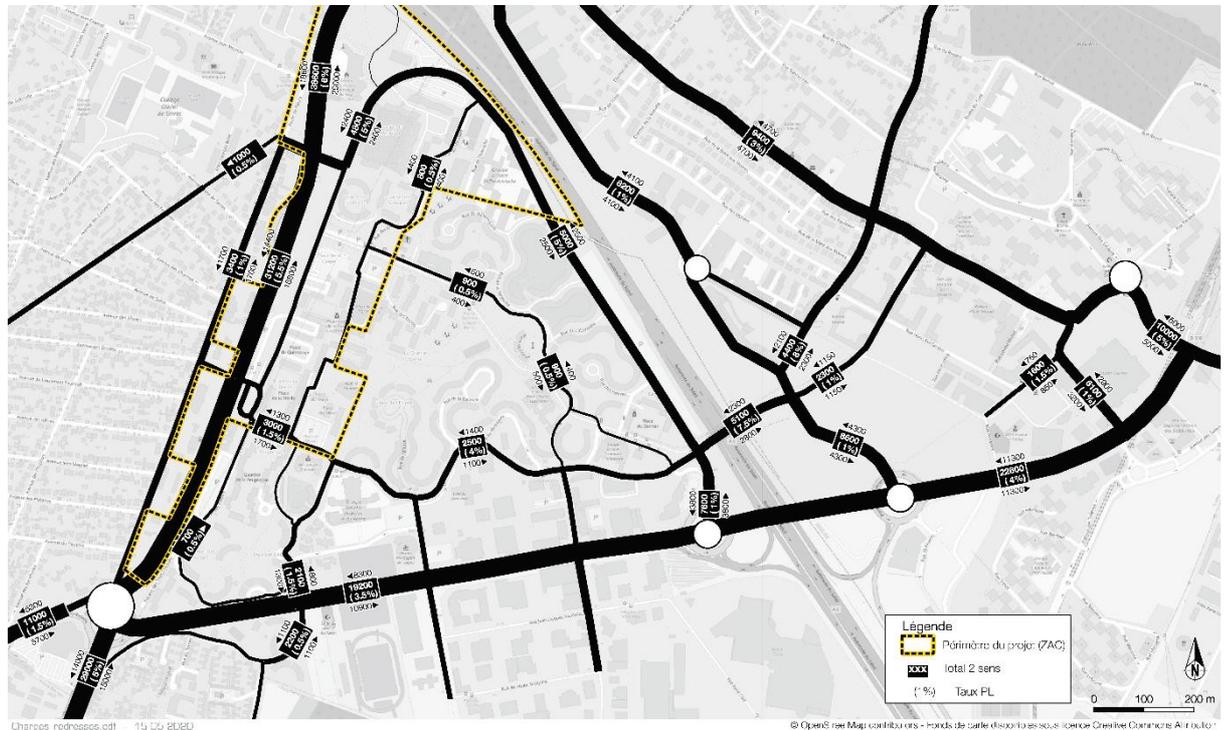


Figure 5 : Demande de trafic journalier 2019 - Valeurs redressées (Trafic Journalier Moyen Annuel)

Les charges de trafic mesurées sont conformes avec la hiérarchie du réseau présentée :

- Deux axes forts traversant le secteur d'étude (hors autoroute) que sont la RD445 (33'000 véh/j) et la RD310 (20'000) véh/j ;
- De faibles charges de trafic dans le quartier de la Grande Borne avec au maximum 5'000 véh/j par exemple sur la rue de la Grande Borne ;
- Deux axes structurants dans le secteur de la ZAC Centre-Ville que sont la route de Corbeil (10'000 véh/j) et la rue des Carriers Italiens (8'000 véh/j).

### Fonctionnement du réseau

La notion de capacité utilisée constitue un des indicateurs permettant de caractériser le fonctionnement du réseau routier. La capacité utilisée des carrefours représente un rapport entre la demande et l'offre pour un fonctionnement donné et une longueur de cycle définie. Elle est donc déterminée de manière différente selon qu'il s'agisse d'un carrefour à feux, d'un giratoire ou d'un carrefour à perte de priorité. Ce paragraphe synthétise les notions de capacité utilisée en fonction du type de carrefour et ce que cela induit pour l'appréciation de son fonctionnement.

- Carrefour à feux : Les volumes de trafic sont ramenés ici à un cycle de feux théorique (généralement 90 secondes). La demande consiste en l'addition des temps de vert nécessaires par cycle pour écouler les flux. L'offre est la longueur du cycle disponible soustrait des temps perdus (temps intervert).
- Giratoire : Ici la capacité utilisée du carrefour est calculée par branche, en mettant en relation plusieurs paramètres qui sont d'une part la géométrie et d'autre part les flux entrants et sortants pour chaque branche. En effet, la géométrie va permettre un écoulement plus ou moins fluide du trafic tandis que les charges de trafic vont définir un niveau de saturation plus ou moins important des différentes branches.

- *Carrefour à perte de priorité : Il s'agit ici de déterminer la capacité d'écoulement des mouvements secondaires par rapport aux mouvements avec lesquels ils sont en conflit.*

*Les capacités utilisées illustrent le fonctionnement aux heures de pointe. Les différentes catégories peuvent être ainsi définies :*

- *Un carrefour dont la capacité utilisée est inférieure à 75% satisfait largement la demande pendant la période de pointe, voire d'hyperpointe. La formation de files d'attente est très ponctuelle et ces dernières se résorbent majoritairement dans le cycle de feux en cours ;*
- *Un carrefour dont la capacité utilisée est située entre 75% et 100% peut être considéré comme satisfaisant la demande pendant la période de pointe. La formation de files d'attente est ponctuelle pendant les périodes d'hyperpointe et ces dernières se résorbent sur la période de pointe ;*
- *Un carrefour dont la capacité est supérieure à 100% peut être considéré comme étant saturé, c'est-à-dire que l'offre en temps de vert déterminant est inférieure à la demande prévue. La formation de files d'attente est probable pendant des périodes étendues, et leur résorption peut s'étendre dans le temps au-delà de l'heure de pointe. Dans ce cas, les hypothèses et le comportement « théorique » des usagers (tel que défini ci-avant) peuvent changer. Par exemple, les automobilistes auront davantage tendance à passer pendant la durée du temps jaune (période entre le passage du feu du vert au rouge) et les créneaux entre deux véhicules pourraient diminuer. L'expérience montre qu'il n'est pas rare d'observer des créneaux intervéhiculaires de l'ordre de 1,8 à 1,9 secondes à la place de l'hypothèse de 2 secondes retenue dans le calcul (soit environ 10% de gain « théorique » de capacité).*

*Dans ce contexte, il est clair qu'un dépassement de l'ordre de 10% à 15% de la capacité utilisée est tout à fait gérable en termes de fonctionnement. Toutefois, afin de garantir une bonne gestion de ces carrefours, des contrôles d'accès doivent être positionnés pour gérer les files d'attente générées par un système saturé.*

Les représentations ci-après proposent, pour une meilleure clarté, un focus sur le secteur « Grande Borne » et un autre sur le secteur « ZAC Centre-Ville »

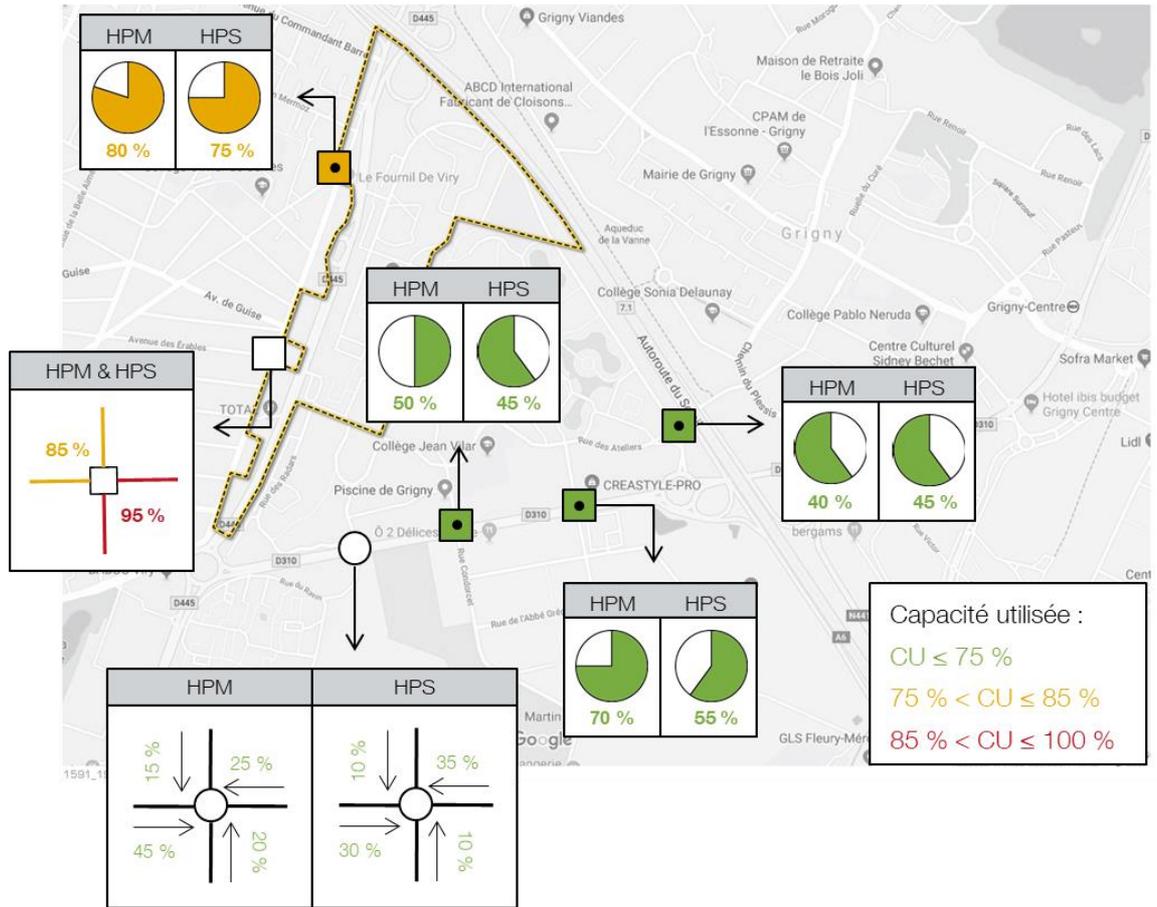


Figure 6 : Capacité utilisée actuelle des carrefours - Secteur Grande Borne

Les capacités utilisées des carrefours issues des comptages directionnels de septembre 2019 montrent un fonctionnement relativement satisfaisant de la totalité des carrefours à l'exception de ceux situés sur la RD445.

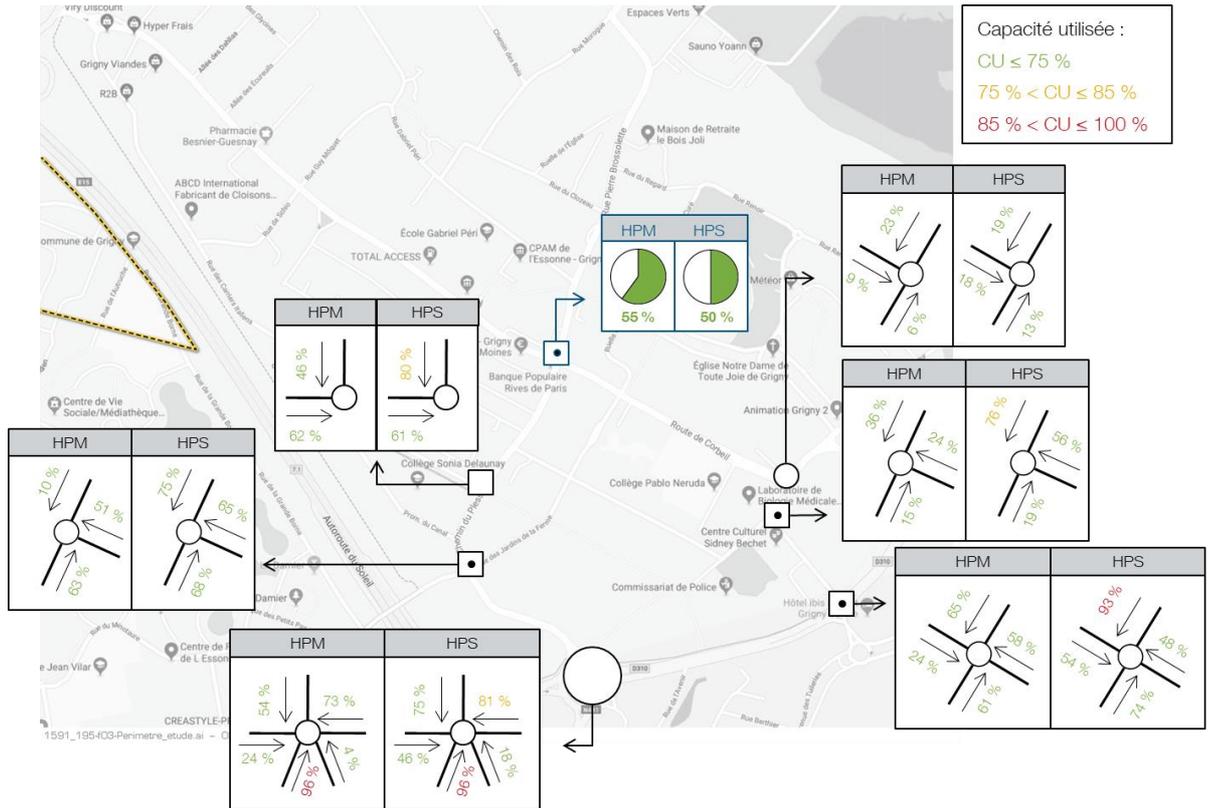


Figure 7 : Capacité utilisée actuelle des carrefours - Secteur ZAC Centre-Ville

Concernant les capacités utilisées des carrefours du secteur de la ZAC Centre-Ville, la plupart des axes présentent un fonctionnement satisfaisant, avec cependant une diminution des réserves de capacité dans le sens nord-sud, à l’HPS. Par ailleurs, la RN441 se retrouve avec un fonctionnement saturé au niveau de son intersection avec la RD310, aussi bien à l’HPM qu’à l’HPS.

### Niveau de service

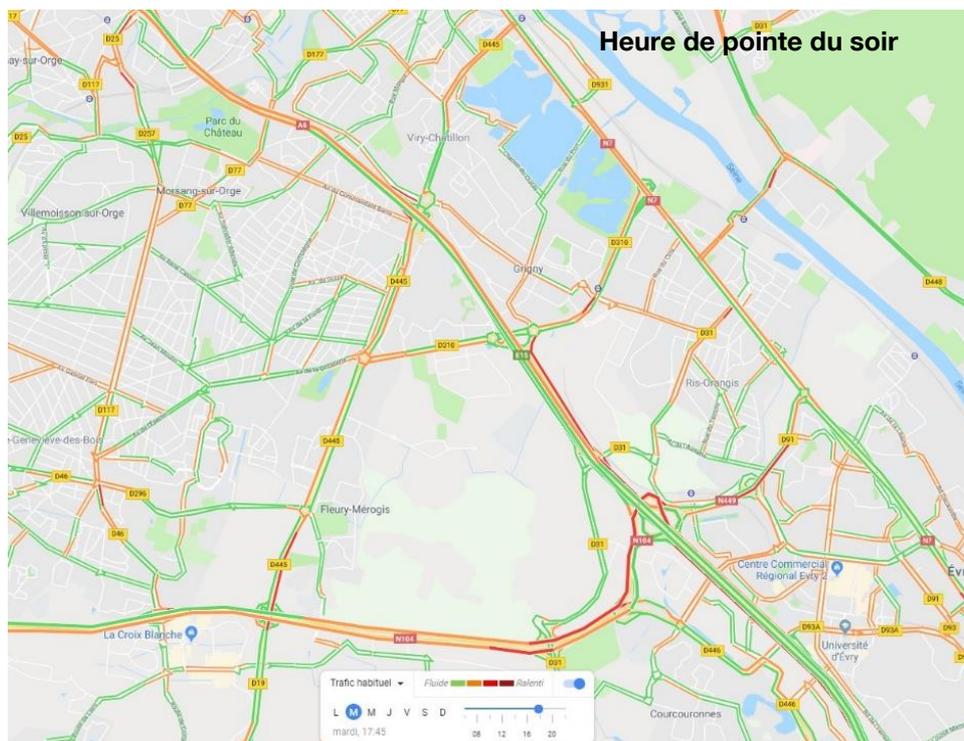


Figure 8 : Saturation du réseau routier à l'heure de pointe du soir - Google Maps

L'heure de pointe du matin est plus dimensionnante pour l'autoroute A6 tandis que le réseau structurant du secteur d'étude (notamment la RD445, la RD310 et la RN441) est davantage sollicité à l'heure de pointe du soir, tout comme la Francilienne. C'est pourquoi le volet circulation de l'étude d'impact étudie plutôt la saturation du réseau viaire à l'heure de pointe du soir.

Tout d'abord, il est possible d'observer un fort trafic en provenance de l'A6 qui s'écoule sur la RN441 justifiant d'importants mouvements pendulaires routiers Sud-Nord. Concernant la RD445 et la RD310, elles présentent un trafic dense mais qui parvient à s'écouler sans difficulté majeure, témoignant d'une certaine réserve de capacité. A plus large échelle, la Francilienne se retrouve fortement sollicitée, notamment au niveau de l'échangeur d'Évry. Il y a cependant peu de probabilités qu'un itinéraire parallèle se crée au travers du secteur d'étude compte tenu du détour que cela engendrerait (jusqu'à +30 minutes selon l'itinéraire Google Maps).

## 2.2.2 Desserte en transports collectifs

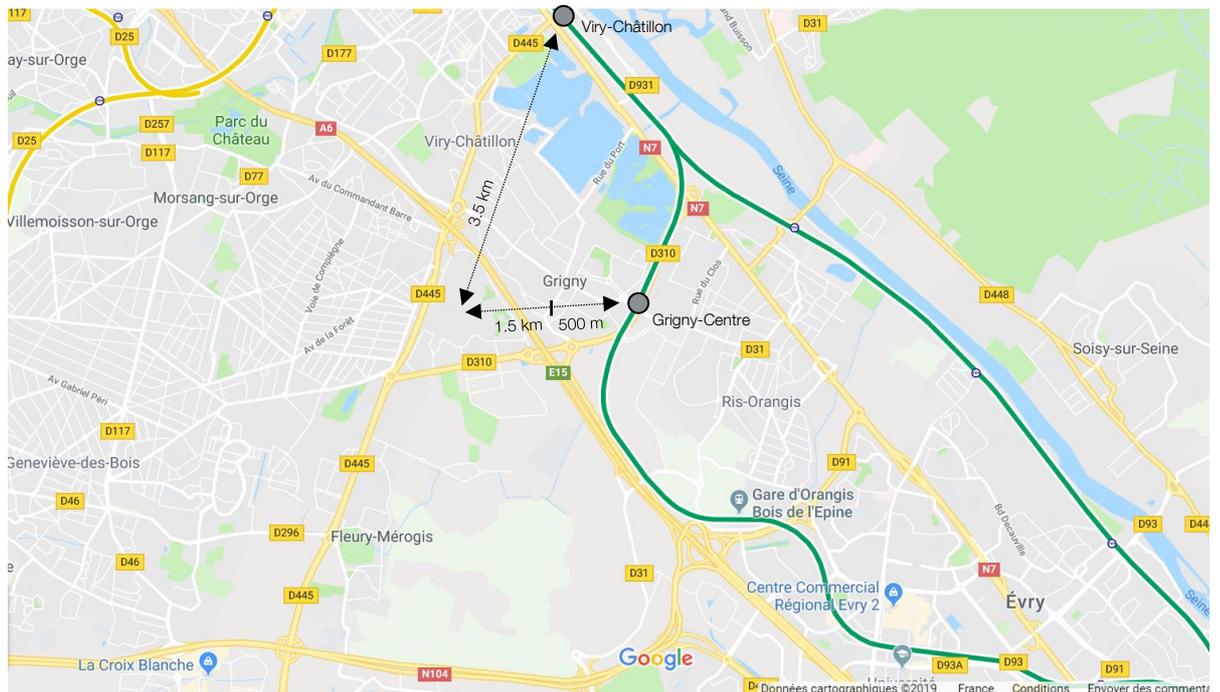


Figure 9 : Desserte actuelle du site via le réseau ferré - Google Maps

La RER D est l'unique ligne du réseau ferré d'Ile-de-France qui dessert les communes de Grigny et de Viry-Châtillon. A noter que la gare de Viry-Châtillon est située à environ 3.5 km du secteur d'étude. Ainsi, non seulement du fait de sa proximité avec le secteur d'étude mais également grâce à un plus grand nombre de RER en liaison avec Paris, la gare de Grigny-Centre devrait donc probablement être privilégiée par les usagers de la Grande-Borne et encore davantage par ceux de la ZAC Centre-Ville située à 500 m de la gare.

Concernant les fréquences, en semaine aux heures de pointe du matin et du soir, le RER D circule toutes les 5 à 10 minutes entre Paris et Grigny-Centre (contre 15 minutes entre Paris et Viry-Châtillon), avec un trajet d'environ 30-35 minutes. Aux heures creuses et les week-ends, cette fréquence se réduit au quart d'heure.

Par ailleurs, dans un rayon de 5-6 km au nord du secteur d'étude se trouve la gare de Juvisy qui possède une liaison directe jusqu'à Paris via le RER C et dont les fréquences sont élevées en heure de pointe (en moyenne, toutes les 5 minutes). Le RER C permet par ailleurs l'accès à plusieurs quartiers non desservis par le RER D, et notamment l'Ouest de Paris. Le manque d'aménagements cyclables rend la liaison avec cette gare difficile en modes actifs mais le RER C reste accessible via une correspondance avec le RER D.

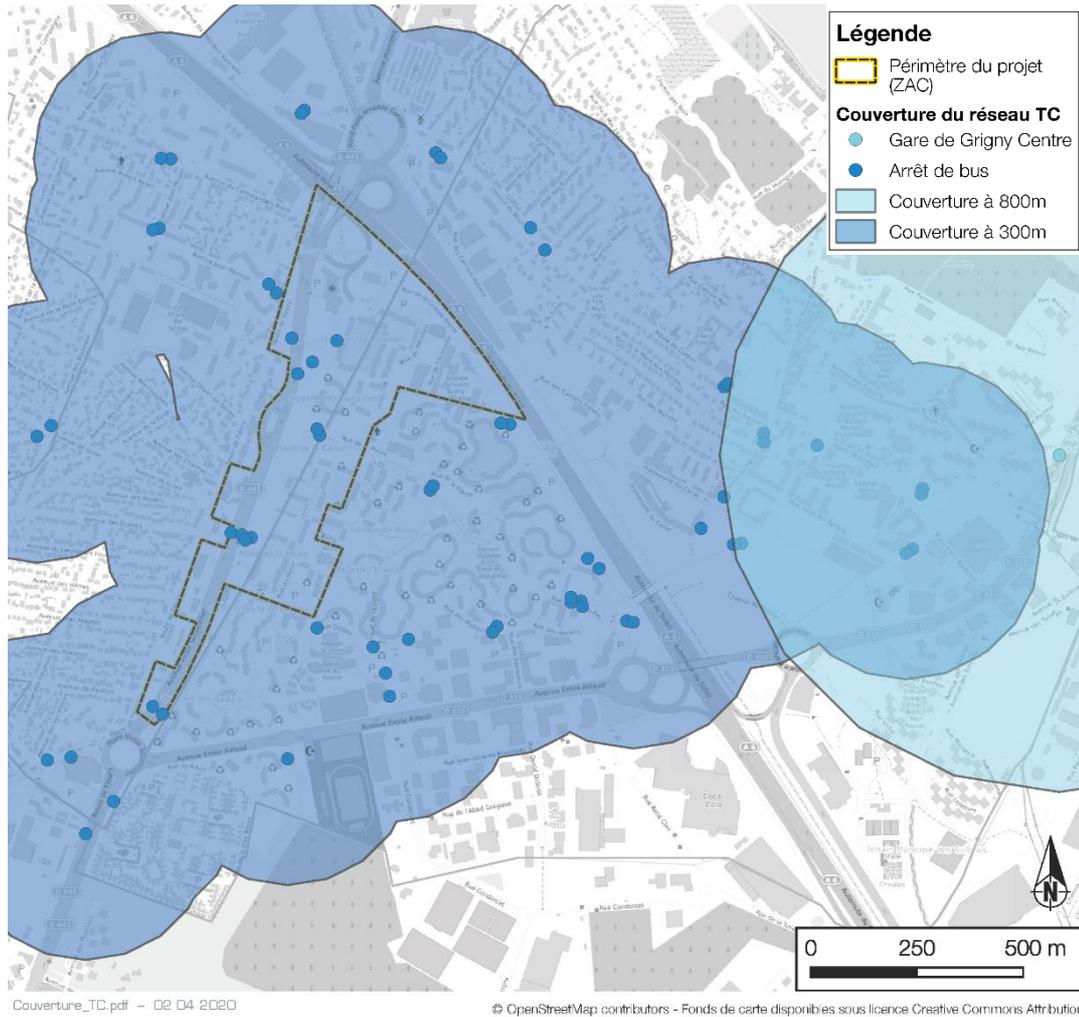


Figure 10 : Couverture territoriale théorique du réseau de transport en commun

Comme le montre la couverture du réseau de bus, celui-ci se trouve être étoffé avec la quasi-totalité du secteur d'étude à moins de 300 m d'un arrêt de bus. Seul le sud-est de Grigny se retrouve complètement dépourvu de station de transport en commun, probablement dû à l'importante présence d'axes routiers (bretelles de l'A6) sur ce secteur.



Figure 11 : Plan du réseau de transports en commun - Bassin d'Evry Secteur Nord - GPS 2019

Ce réseau ne propose pas de meilleure connexion au centre de Paris que le RER D, en matière de temps de trajet. :

- Connexion au RER C :
  - Gare de Juvisy : lignes DM4 (20'), et DM5 (20')
  - Gare de Savigny-sur-Orge : ligne DM22 (25')
  - Gare d'Epina-sur-Orge : ligne 420 (35')
- Connexion à la gare d'Evry : ligne 402 (25')
- Connexion à la Porte de l'Essonne : ligne DM8 (30')
- Connexion à la ligne 109 (Terminus Porte d'Orléans en 40') : ligne 510 (15')

Par ailleurs, la gare de Grigny-Centre est desservie par les lignes 402 (futur TZen 4), 420 et 510 qui permettent de rejoindre le centre de la Grande Borne en moins de 10 minutes.

## 2.3 Modes actifs (marche et vélo)

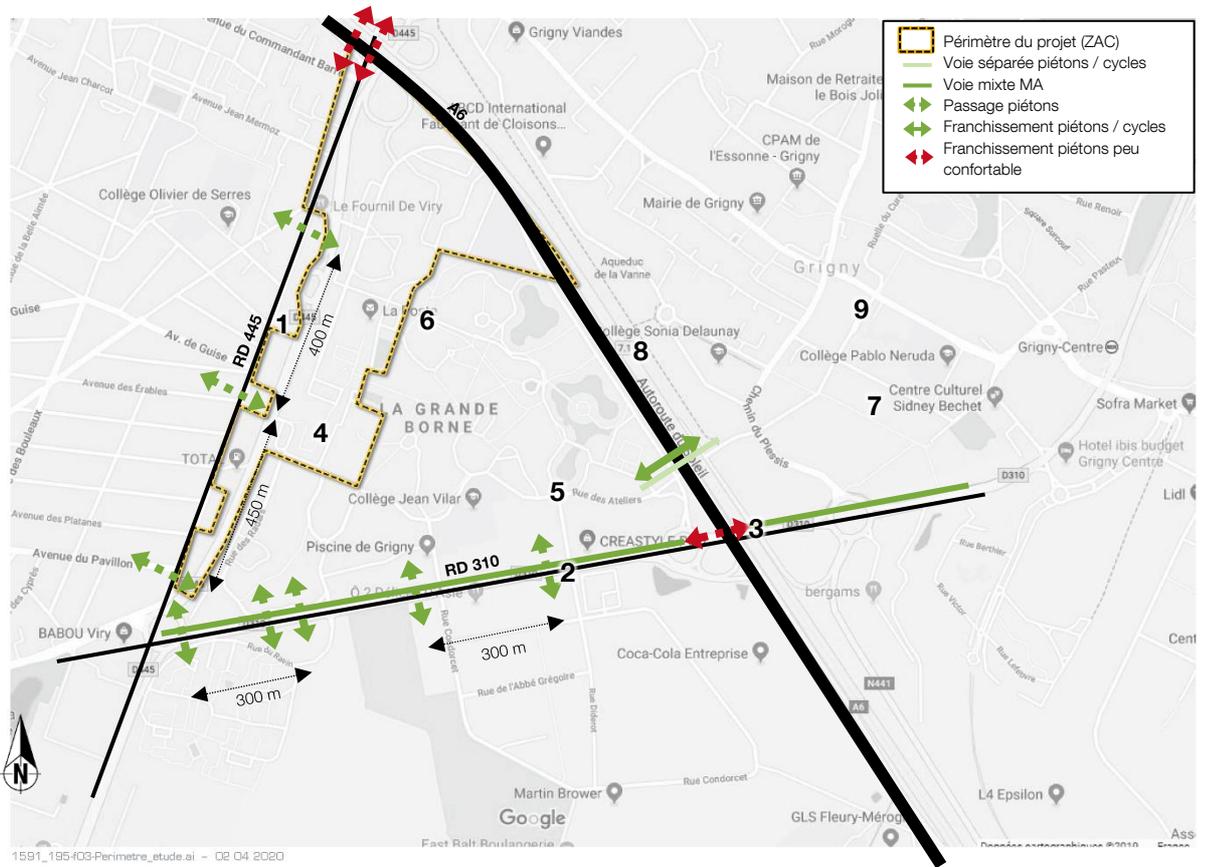


Figure 12 : Qualité des aménagements pour les modes actifs



1 – Trottoir dégradé et encombré le long de la RD445



2 – Fortes emprises des voiries sur la RD310



3 – Franchissement de l'A6 sans aménagement cyclable le long de la RD310

Le secteur d'étude est soumis à de fortes coupures urbaines.

- L'autoroute A6 constitue la barrière principale avec uniquement quatre franchissements possibles, dont trois d'entre eux se trouvent être peu confortables au vu des trottoirs relativement étroits. Ainsi, une seule connexion de qualité permet de relier les secteurs de la Grande Borne et de la ZAC Centre-Ville.
- La RD445 peut être franchie uniquement en trois points avec des passages piétons séparés de 400-450m, témoignant d'une faible perméabilité à l'ouest, avec le quartier pavillonnaire situé aux alentours de la route de Fleury.
- Côté Sud, 5 passages piétons sont implantés irrégulièrement sur la RD310. Trois d'entre eux sont concentrés à l'ouest de cet axe, sur environ 300 m, et permettent la connexion avec le quartier du Ravin. Ainsi, les deux tiers de la RD310 peuvent être franchis uniquement en deux points séparés d'environ 300m.

### La Grande Borne



4 – De larges espaces dédiés aux piétons à l'intérieur même de la Grande Borne



5 – Une forte emprise du stationnement et peu d'espace pour les modes doux à la rue des Ateliers



6 – Un trottoir confortable le long de la rue de la Plaine

A l'intérieur de la Grande Borne se trouvent d'importants espaces dédiés aux piétons, avec la présence de peu de voiries. Ces places se retrouvent cependant la plupart du temps enclavées, au centre des résidences, leur conférant un caractère peu convivial, voire un sentiment d'insécurité. Par ailleurs, le long des voies de circulation, le stationnement est souvent prédominant sur la place laissée aux modes doux. Exception faite de la rue de la Plaine qui présente un aménagement confortable le long de la voie de bus en site propre. En effet, cet axe réalise dans le cadre du PNRU a eu pour impact de participer au désenclavement de la Grande Borne.

## ZAC Centre-Ville



7 – Trottoir de largeur confortable mais encombré et peu matérialisé à la rue du Henri Rol-Tanguy



8 – Espace confortable attribué aux piétons sur la promenade du Canal



9 – Trottoir étroit le long de la route de Corbeil

De manière générale, la ZAC Centre-Ville offre de bonnes conditions de circulation pour les piétons avec toutefois des améliorations à effectuer au niveau de la matérialisation des trottoirs (largeur, délimitation, revêtement, etc).

## 2.4 Etat des lieux du stationnement

### 2.4.1 Offre de stationnement

L'enquête de stationnement réalisée pour l'étude d'impact vise à analyser prioritairement les zones où le stationnement sera impacté par le projet ainsi que par les projets connexes. Il sera ainsi présenté une estimation de l'offre totale avec une description quantitative et précise uniquement sur les secteurs qui ont été enquêtés en termes d'offre et de demande. Les autres secteurs, présentant moins d'enjeux, font l'objet d'une expertise qualitative basée sur des données et des études plus anciennes, ainsi que sur les observations in situ.

Par ailleurs, les conditions de sécurité des enquêteurs ayant été délicates à assurer, le relevé de l'occupation a été effectué sur un créneau unique, le 3 décembre 2019 à 5h du matin. Etant donné l'importante part de résidents parmi les usagers du stationnement dans le secteur d'étude, l'occupation durant la nuit devrait être la plus dimensionnante.

De manière générale, peu d'études de stationnement ont été menées sur ce secteur d'étude, notamment du côté de la ZAC Centre-Ville. Une enquête menée au cours de l'étude ensemble recense environ 2'630 places de stationnement sur le secteur de la Grande Borne. La totalité de ces places se situe en surface et sont majoritairement publiques. En effet, seulement 76 d'entre elles sont réservées à l'usage d'activités ou de bureaux privés. Par ailleurs, une enquête menée en 2006 (Transitec pour le compte du GIP Grigny – Viry-Chatillon) indique que seul le quartier du Ravin possède du stationnement sous forme

de boxes privés avec environ 200 places en ouvrage. L'enquête de stationnement effectuée en automne 2019 a été réalisée sur 2244 places selon le plan exposé sur la figure 11.

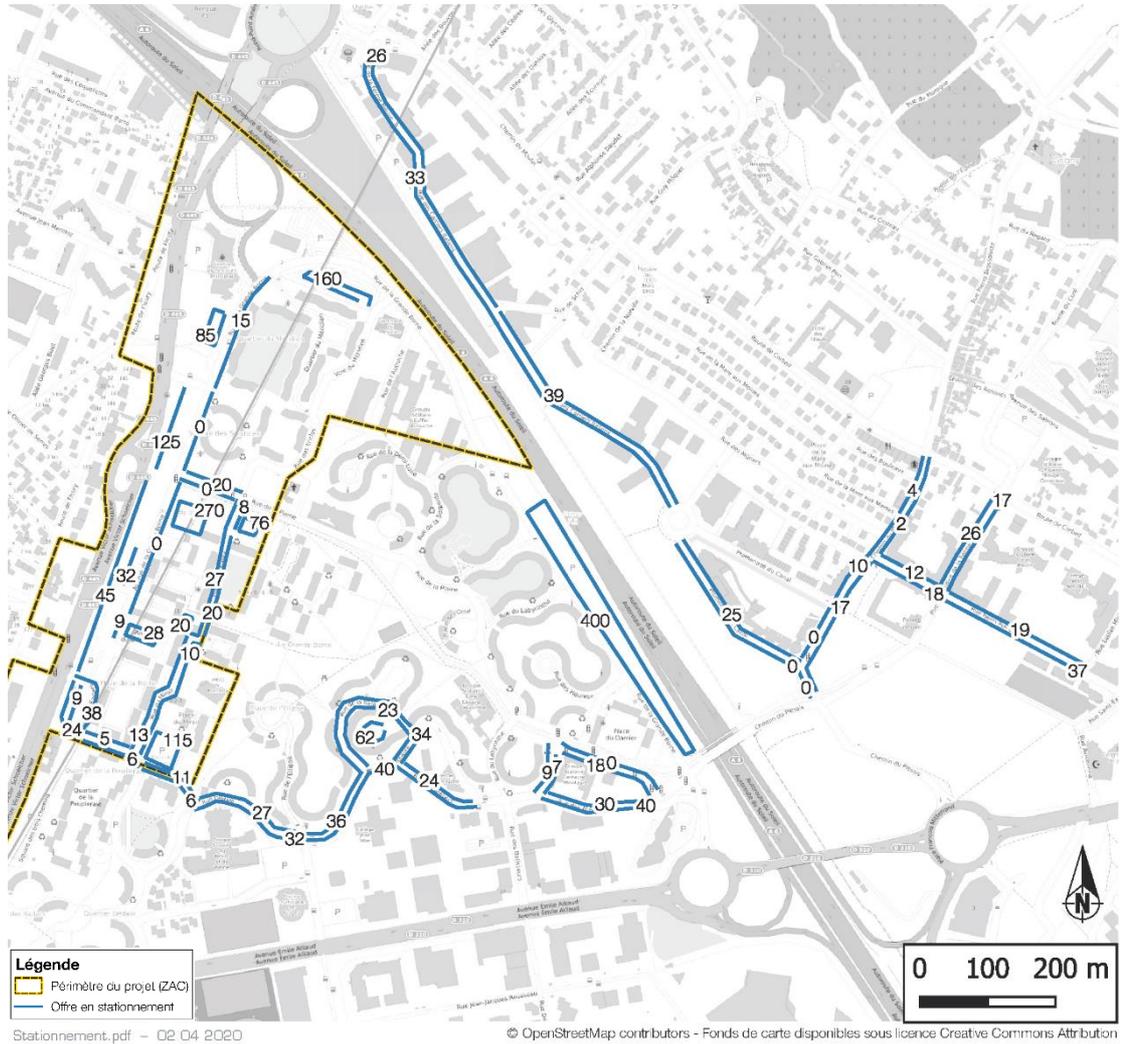


Figure 13 : Offre de stationnement - Relevé le 23 novembre et le 3 décembre 2019



## 3. Le dynamisme du territoire

Dans un but d'amélioration du cadre de vie des habitants, de nombreux projets urbains et de transports devraient voir le jour dans un futur relativement proche. Ceux-ci vont avoir un impact sur les pratiques de déplacement des résidents du secteur et il est donc important de les prendre en considération afin d'intégrer les changements qu'ils apporteront au secteur en parallèle du projet.

### 3.1 Les projets d'infrastructures routières

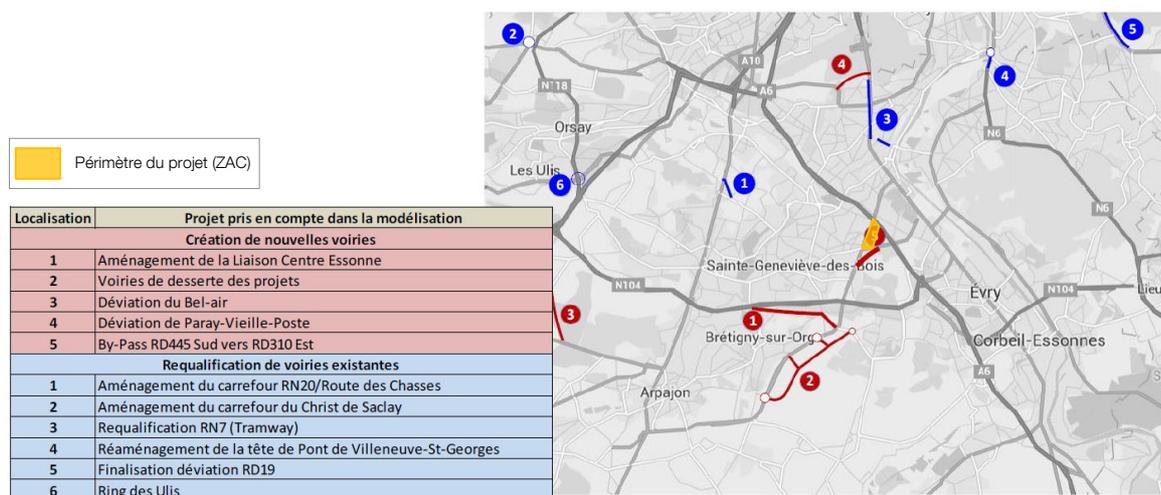


Figure 15 : Projets d'infrastructures routières à l'horizon 2025 - Etude de circulation à Grigny - CDVia 2019

A l'horizon 2025, le projet d'infrastructure le plus impactant pour le secteur d'étude se trouve être le by-pass reliant la RD445 sud à la RD310. Cela va ainsi contribuer à soulager le rond-point RD445/RD310/Avenue de la Gribelette pour les utilisateurs souhaitant se rendre sur la RD310 depuis le sud mais cela n'aura pas d'impacts significatifs sur l'évolution tendancielle des charges de trafic qui s'écoulent sur la RD310. A l'horizon 2035, aucun projet majeur d'infrastructure n'est programmé autour du secteur d'étude et il ne sera donc pas pris en compte d'évolution du réseau routier.

### 3.2 Les projets de transports collectifs

Deux projets majeurs de transports en commun sont prévus à l'horizon 2022, le tram-train Evry-Massy (TTME ou T12 Express) et le TZen 4. Le premier reliera Massy à Evry-Courcouronnes et desservira les stations de Grigny et de Viry-Châtillon tandis que le second reprendra le tracé de la ligne 402 entre le terminus de la Treille et la gare de Corbeil-Essonnes :

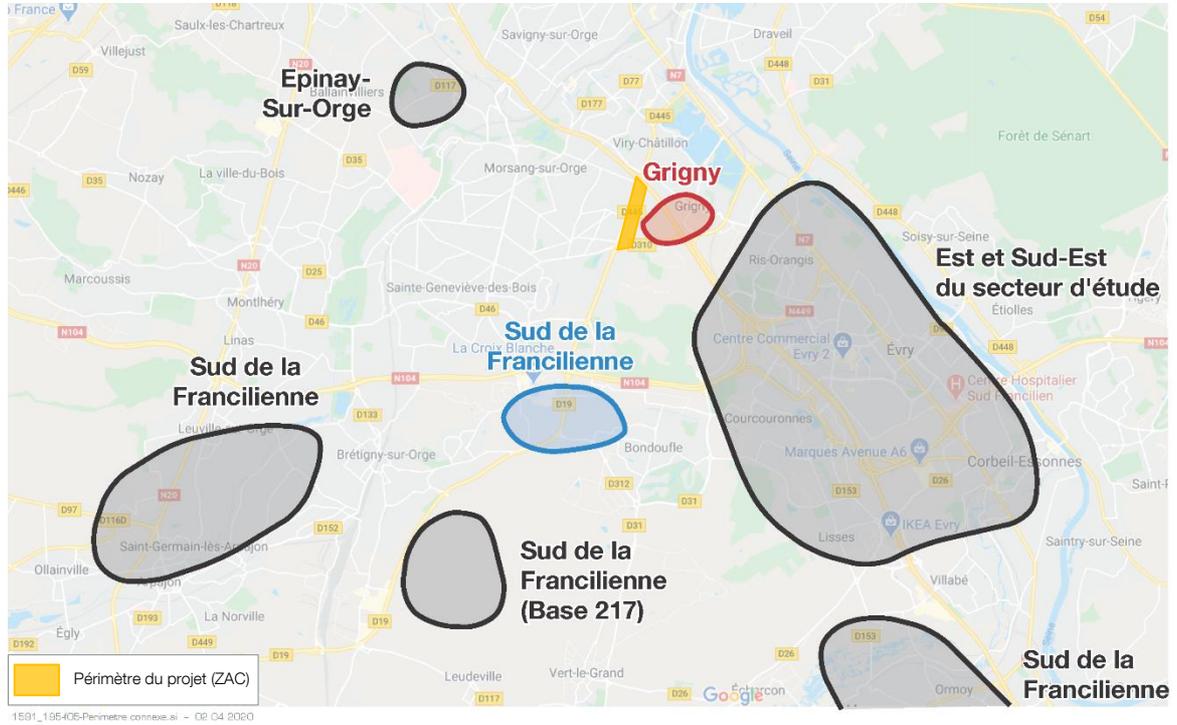
- La fréquentation du T12 Express à l'HPM est estimée à 3'100 usagers entre Epinay et Evry-Courcouronnes et 800 usagers sur le périmètre de réflexion ;
- La fréquentation du TZen 4 à l'HPM est estimée à 5'200 voyageurs sur l'ensemble du tracé, tandis que la fréquentation à l'état de référence est estimée à 3'900 usagers.

### 3.3 Les projets urbains

#### Programmation urbaine

Le projet se situe au sein d'un territoire en pleine mutation. Le tableau ainsi que la figure ci-après présentent les différents projets susceptibles d'impacter la mobilité du secteur. Cependant, bien qu'évoqués ici, les projets grisés n'ont pas été pris en compte dans cette étude étant donné leurs impacts très faibles sur le périmètre d'étude. En effet, au vu de leur localisation, l'A6 reste l'itinéraire le plus direct

pour les desservir. Par ailleurs, certains projets de développement au sud de la Francilienne et notamment la Base 217 ont aujourd'hui une programmation inconnue et les impacts sur la mobilité n'ont pas pu être estimés. La livraison s'effectuera cependant probablement au-delà de 2035. Concernant l'horizon 2025, seuls les projets de ZAC Valvert et Cœur de Ville de la ZAC Centre-Ville de Grigny seront livrés.



Localisation	Projets	Logements 2020	Logements 2025	Logements 2035	Commerces 2020 (m²)	Commerces 2025 (m²)	Commerces 2035 (m²)	Activités 2020 (m²)	Activités 2025 (m²)	Activités 2035 (m²)	Equipements 2020 (m²)	Equipements 2035 (m²)
Sud Francilienne	ZAC Val Vert					90000			68000			
	Dame	58								7382		-2780
Grigny	Cœur de ville		387	583		12 634	17 201					
	Les Châteaux		86							6 169		
	Mail des Droits de l'Homme			102								-1000
	Résidence Girard			49								
	Tangour			91								
	Grigny 2 La Folie			162							2 910	
	Grigny 2 Bois Bateau			62				1 287			16 920	
Sud Francilienne	ZAC Bois Bateau	1050	730									
	Libère d'or							50 000				
	ZAC Belles Vues		1000			3500			110000			
	Moulin Sabot											
Epinay-sur-Orge	Montban 2				99 000				116 000			
	ZAC des Haies Blanches								352 000			
Est et Sud-Est du secteur d'étude	ZAC des Haies Blanches	900	700						40 000	68 000		
	ZAC Montagne des Glacis	900	1028						1900	268000		
	Parc tech. Léonard de Vinci							13 704	150000	268000		
	La Grande Parc	1000	1500	2 000		3000						
	Hippodrome									60000		
	Ferme Oranges		100	600								
	Docks de H&M	950	1000					6 000				
	Bois Blanc		300				15000			20000		
	Canal Europe		500	1 600						10000		
	Parc aux Livraies et Bras de Fer	397		1 800								
Les Auroches			400							20000		
Centre Urbain		2000	2 500		3000				15000			
Bois Sauvage	200											
Airone de l'Agreste												

Figure 16 : Localisation et programmation des projets connexes (Source : GPA, 2020)

### Requalification d'axes structurants

Afin d'accompagner le passage de la ligne T12 Express, la rue de la Grande Borne sera entièrement requalifiée afin d'en améliorer son attractivité. Sa partie Sud sera détachée du projet de la présente étude et sera donc considérée en tant que projets connexes. Cependant, le maintien du calibrage de cette voirie en 2x1 voie ainsi que l'absence de création de nouveau carrefour n'aura pas de conséquence sensible sur les déplacements dans le secteur d'étude.

## 3.4 Les impacts attendus sur les déplacements

### 3.4.1 Impacts liés à la programmation urbaine

Du point de vue de la mobilité, le développement au sud de la Francilienne engendrera des déplacements supplémentaires, notamment sur la RD445 et la RD310. En se basant sur les données INSEE de 2016, environ 25% des déplacements domicile-travail à destination du sud de la Francilienne proviennent du Nord et seraient ainsi susceptibles de transiter par le secteur d'étude. Il a été pris comme hypothèse que, sur ces 25%, 10% se répartiront sur la RD445 étant donné qu'il s'agit de l'itinéraire le plus direct. S'agissant d'un axe structurant, 5% emprunteront la RD310 depuis l'A6, tandis que les 10% restants se répartiront sur le reste du réseau routier. Ces déplacements seront intégrés aux charges de trafic de l'état de référence à l'horizon 2025 et par conséquent 2035.

Les déplacements liés aux projets connexes à proximité immédiate de la ZAC Grande Borne Ouest vont également générer des flux automobiles supplémentaires qui vont se distribuer sur l'ensemble du périmètre de réflexion. Des hypothèses concernant l'affectation de ces flux sur le réseau routier ont ainsi été établies afin de quantifier les impacts occasionnés. Ces déplacements seront uniquement intégrés aux charges de trafic de l'état de référence à l'horizon 2035, à l'exception de la programmation réalisée en 2025 au niveau du secteur Cœur de Ville.

### 3.4.2 Impacts sur le réseau viaire et le stationnement

Tout d'abord, bien que les cartes issues de l'étude ensemblière présentent uniquement l'évolution prévue sur le secteur de la Grande Borne, les impacts de la totalité des projets connexes du périmètre de réflexion seront abordés et analysés dans ce chapitre.

Concernant le réseau viaire, celui-ci ne sera que très faiblement impacté par les projets connexes. Tout d'abord, le projet du TZen 4 engendrera le passage à 2x1 voie de la route de Corbeil. L'impact de ce changement ne sera que très minime sur le fonctionnement du réseau et sera davantage explicité dans le paragraphe 3.4.3. Par ailleurs, le projet Balance/Ellipse crée deux nouvelles voies et supprime une impasse tandis que le projet Damiers crée également une nouvelle voie. Certains axes de desserte verront également leur sens de circulation modifié. Ainsi, les voies de desserte qui supportent une faible circulation automobile (de l'ordre de 2000 véh/j) seront impactées par les projets connexes, sans incidence sensible sur le fonctionnement du réseau routier.

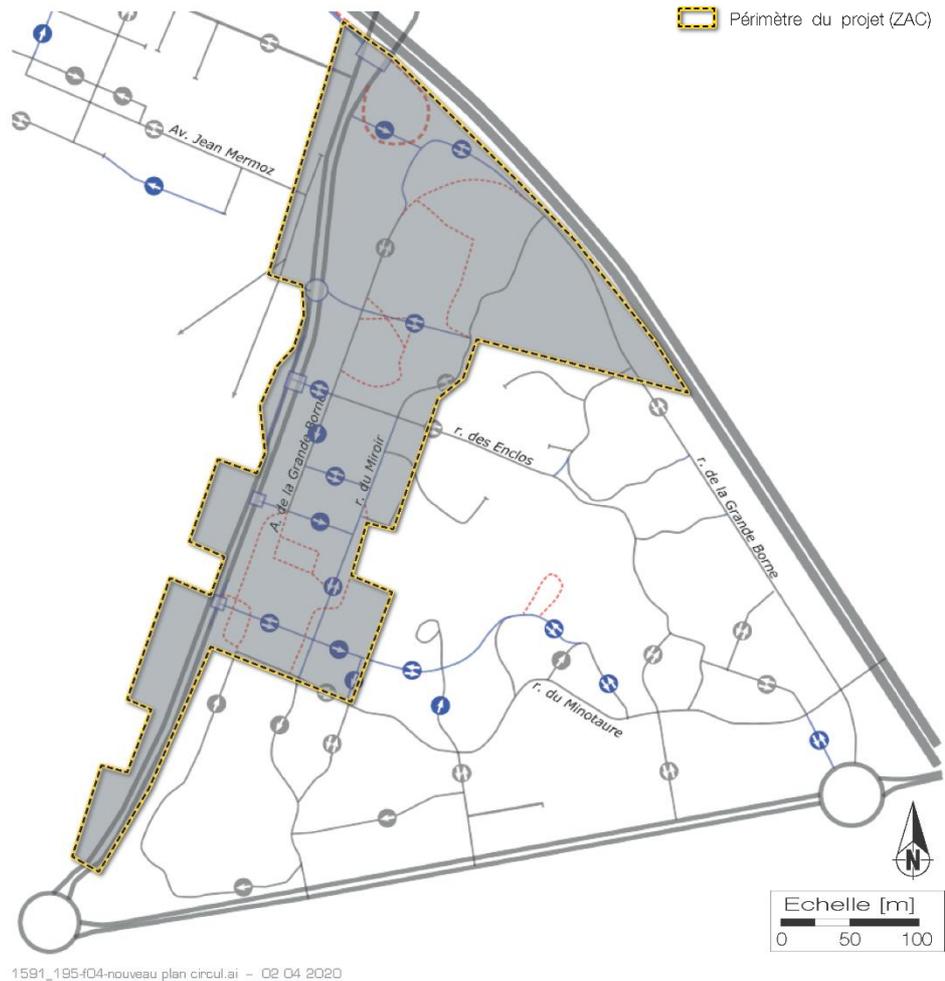
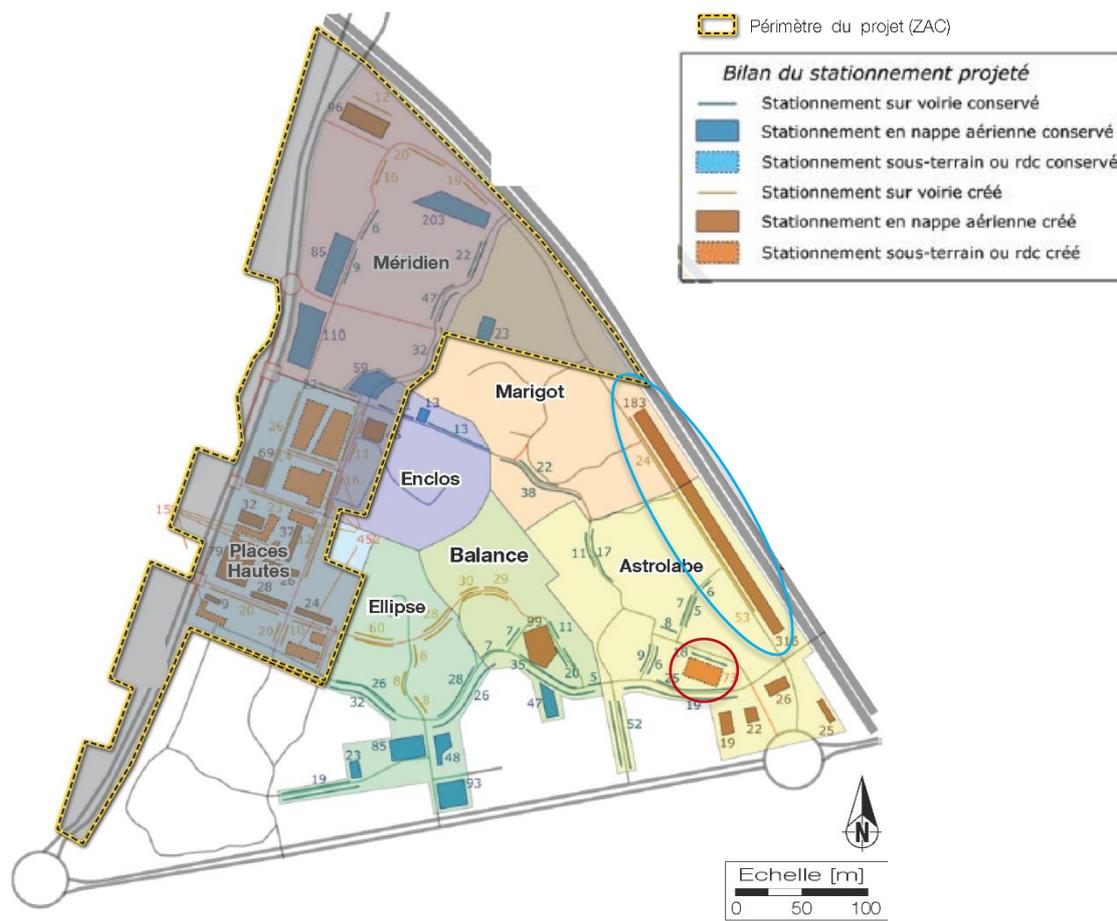


Figure 17 : Nouveaux réseau viaire - Projets connexes (Source : Etude ensemble (groupement Made-in) - 2020)

83% des places de stationnement du secteur Cœur de Ville seront réalisées en 2025 et la totalité des places programmées seront mises en place à l'horizon 2035.

Secteur	Stationnement actuel	Stationnement projeté	Différence (proj-actu)	Places créés 2025	Places créés 2035	Demande crée 2035
Enclos	33	33	0	0	0	
Balance / Ellipse	671	782	111	0	111	-59
Astrolabe	442	717	275	0	275	57
Marigot	238	257	19	0	19	
Cœur de ville		1427	1427	1229	198	568
Tanguy		103	103	0	103	89
Les Chaulais		151	151	0	151	84
Mail des Droits de l'Homme		151	151	0	151	99
Route de Corbeil		100	100	0	100	

Tableau 1 : Comparaison entre stationnement actuel et projeté



1591\_195-f06-stationnement\_projeté.ai - 08 04 2020

Figure 18 : Stationnement projeté - Secteur Grande Borne (Source : Etude ensemble (groupement Made-in) - 2020)

Au total, ce seront 2'337 places qui seront créées par les projets connexes. En 2025, la demande en stationnement diminuera grâce à la baisse de la part modale voiture ainsi que celle du nombre de habitants, étant donné que les projets connexes ne seront pas encore réalisés à cet horizon. En 2035, le mécanisme de décreue tendancielle se poursuivra, mais une nouvelle demande sera créée par la programmation. Dans l'ensemble, la création de places de stationnement absorbera la nouvelle demande. Par ailleurs, concernant les secteurs les plus sollicités :

■ Secteur Balance / Ellipse :

- En 2019, ce secteur atteignait une demande maximale comparée à l'offre disponible. En 2025 la situation restera inchangée en termes d'offre mais la demande diminuant, la pression sur le stationnement sera déjà être réduite.
- En 2035, la demande diminuera non seulement grâce à la baisse de la part modale voiture ainsi que du nombre de personnes par logement, mais également avec la démolition de 60 logements, tandis que l'offre augmentera avec la création de 85 places. Etant donnée la sollicitation actuelle du secteur autour de 100%, la diminution de la demande aurait suffi à réduire la pression sur le stationnement sur la période nocturne notamment. L'augmentation de la capacité stationnement pourrait inciter au report modal de la voiture vers les transports en commun (plus de facilité à laisser son véhicule en journée), mais ces comportements sont assez peu contraints aujourd'hui. Au contraire, l'abondance de l'offre pourrait valoriser le mode automobile comme moyen de déplacement principal. Globalement, le projet devrait avoir peu d'incidence sur les comportements mais devrait permettre de simplifier les conditions de stationnement.

- Le stationnement du secteur Damier est aussi fortement sollicité avec une demande maximale comparée à l'offre disponible.

- La situation restera globalement inchangée en 2025, avec une faible baisse tendancielle de la demande ;
  - En 2035, ce seront 73 places (en rouge sur la Figure 18) qui seront créées directement sur le secteur avec une demande supplémentaire estimée à 57 voitures. La pression du stationnement dans le quartier du Damier devrait donc être résolue à terme. Par ailleurs, bien que la majorité du stationnement créé par les projets connexes soit en surface, la création d'un parking en souterrain dans le secteur du Damier permettra de libérer de l'espace qui sera alors disponible pour la construction de logements ainsi qu'un espace public. De plus, ce parking sera dédié au logement tandis que la quasi-totalité des parkings du secteur seront à usage mixte, exception faite des places situées au sud de la RD310 qui seront réservées aux activités et bureaux.
- Du côté de la ZAC Centre-Ville, le stationnement subit actuellement une demande conséquente >100%, principalement dans le secteur du projet Tanguy. Ce phénomène est notamment dû à la neutralisation des places de stationnement souterraine de Grigny 2.
- Tout comme précédemment sur le secteur Tanguy, la situation restera inchangée en 2025 mais la pression devrait être moindre grâce à la baisse très progressive de la demande. En 2035, la création de 103 places supplémentaires absorbera la demande créée par les 89 voitures liées à la programmation en logement du projet.
  - Concernant le projet Cœur de Ville, les places créées en 2025 répondront d'une part à la demande des 387 nouveaux logements, d'autre part à la création des 12'634 m<sup>2</sup> de commerces. A termes, les 1'427 places créées seront d'une part réservées aux habitants (583 places) et d'autre part aux commerces (842 places). La demande de 568 voitures générée par les logements s'équilibre donc théoriquement avec les places produites. Concernant l'offre réservée aux commerces, cela va permettre de répondre en partie aux voitures générées par les 17'000 m<sup>2</sup> de commerces créés mais également à la démolition du parking du centre commercial Barbusse qui comptabilise plus de 500 places.
- La création des 167 places le long de la rue de la Grande Borne (en bleu sur la Figure 18) n'apparaît pas nécessaire puisque ce secteur relevait d'un taux d'occupation inférieur à 85%. Il pourra accueillir des reports d'autres secteurs (mais a priori aucun n'est déficitaire), ou constituer une réserve pour de futurs projets de récupération d'espace publics sur les secteurs voisins (non identifiés à ce stade).

### 3.4.3 Impacts liés aux projets de transport en commun

Les projets du T12 Express et du TZen 4 vont contribuer à faire évoluer les pratiques de déplacement des usagers du secteur favorisant l'utilisation des transports en commun au détriment de la voiture. Outre ses performances techniques, le T12 Express va permettre un accès à de nouvelles destinations, encourageant l'usage de modes alternatifs à la voiture individuelle. Ce ne sera pas le cas du TZen 4 qui reprendra le même tracé que l'actuelle ligne 402 mais verra ses performances nettement améliorées par la qualité du matériel roulant mis en place ainsi qu'un itinéraire majoritairement en site propre assurant une desserte régulière. En termes d'emprise au sol, ces deux projets ne vont pas modifier les conditions de circulation à l'exception du passage en 2X1 voie de la route de Corbeil. Etant donné les charges de trafic relevées sur cet axe (4'700 véh/jour soit environ 500 véh en HP) ainsi qu'une faible sollicitation des carrefours (max 55% de capacité utilisée), les conditions de circulation ne devraient pas en être impactées.

Par ailleurs, il est prévu en accompagnement de projet du T12 Express, la réalisation d'itinéraires continus pour les modes actifs entre les stations d'Epinais-sur-Orge et d'Evry-Courcouronnes, participant d'autant plus au report modal et améliorant considérablement les conditions de déplacements des modes actifs sur le secteur d'étude.

Le report modal ainsi observé est pris en compte dans l'estimation des charges de trafic de l'état de référence à l'horizon 2025 et 2035 et sera détaillé ultérieurement.

### 3.4.4 Impacts sur le déplacement des modes actifs

Les projets connexes vont peu modifier les conditions de circulation pour les modes actifs puisque les traversées de la RD310 resteront les mêmes. L'unique mais non négligeable amélioration réside en la

création d'une voie réservée aux modes actifs sur la passerelle franchissant l'A6 et dédiée au passage de la nouvelle ligne du T12 Express. Par ailleurs, les places et parvis seront réaménagés afin d'améliorer la qualité des espaces publics dédiés aux modes actifs.

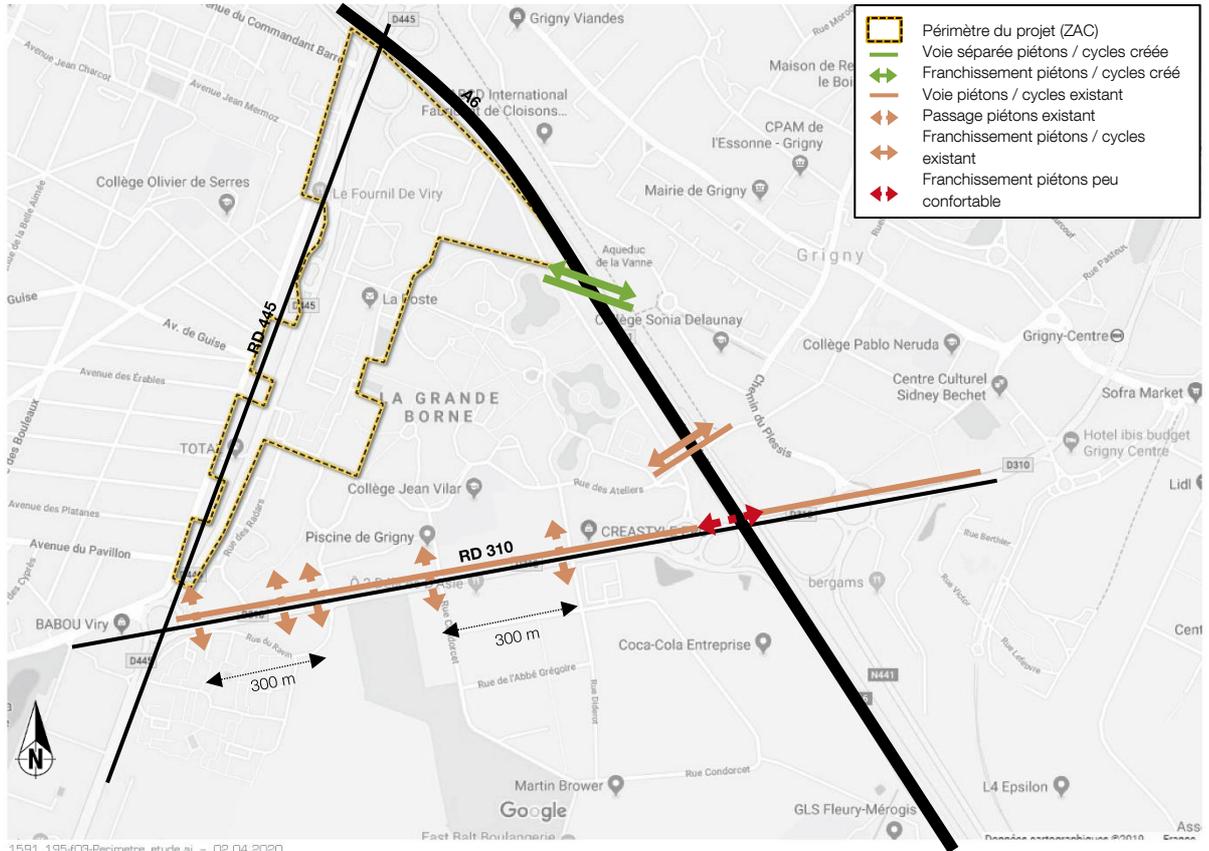


Figure 19 : Conditions de circulation pour les modes actifs à l'état de référence

## 4. L'évolution probable de l'environnement

### 4.1 Tendances

#### 4.1.1 Evolution du taux d'occupation des voitures

Etant donné une faible évolution du taux d'occupation des voitures ces dernières années (EGT 2010), un taux similaire à l'actuel, soit 1,1 pers/véh a été considéré à l'horizon 2025 et de 1,15 pers/véh à l'horizon 2035.

#### 4.1.2 Evolution du nombre de personnes par logement

Selon les données de l'INSEE (IRIS, 2016), le nombre de personnes par logement sur le périmètre de réflexion s'élève à 3. Au vu de la connaissance empirique du territoire qui recense un taux important de personnes vivant en situation irrégulière, il a été considéré à l'horizon actuel que 3,5 personnes résident par logement dans le secteur d'étude.

Les futurs projets d'aménagement du territoire qui visent à désenclaver ces quartiers d'habitations et à régulariser la situation des résidents, un nombre de 3 personnes/logement a été considéré en 2025 et de 2,5 personnes/logement en 2035.

### 4.1.3 Evolution des parts modales

L'évolution des parts modales tient compte de plusieurs paramètres :

- L'évolution tendancielle des pratiques de déplacement avec une diminution de la part modale VP de -3% dans les déplacements domicile-travail entre 2006 et 2016 ;
- La mise en service du T12 express et du TZen 4 à l'horizon 2022 engendrant un report modal de 10% vers les transports en commun, notamment pour les déplacements domicile-travail (distances à parcourir généralement importantes) ;
- Une augmentation du niveau de vie des habitants du secteur d'étude engendrant un plus fort taux de motorisation.

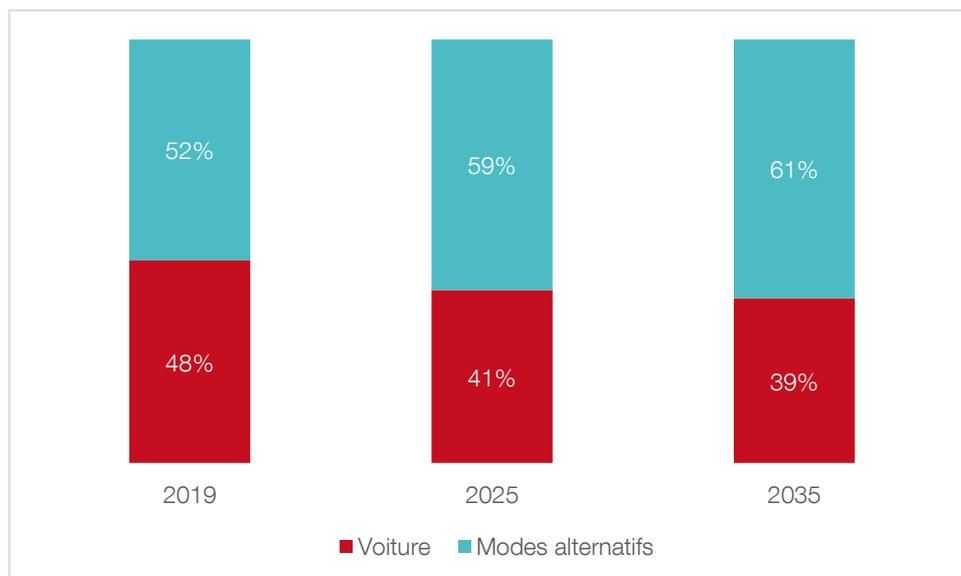


Figure 20 : Parts modales actuelles et projetées à l'horizon 2025 et 2035

Ainsi, compte tenu de ces prévisions, une diminution de 7% de la part modale VP a été prise en considération à l'horizon 2025 et de 2% supplémentaires à l'horizon 2035.

## 4.2 Evolution des pratiques de déplacements en lien avec les projets connexes

### 4.2.1 Projets urbains

Comme évoqué précédemment, il a également été considéré pour la totalité des projets urbains connexes, un taux d'occupation des voitures de 1,1 pers/véh pour l'horizon 2025 et de 1,15 pers/véh pour l'horizon 2035.

#### Développement au Sud de la Francilienne

La part modale VP de ce secteur s'élève aujourd'hui à 71% pour la totalité des déplacements (IRIS, 2016) avec une évolution inférieure à  $\pm 1\%$  entre 2006 et 2016. Etant donné une absence de projets structurants en matière de transport en commun sur ce secteur (IAU IDF), il est attendu un faible report modal à l'horizon 2025 et 2035. Ainsi, la même répartition modale a été conservée aux deux horizons étudiés.

Par ailleurs, les données INSEE (IRIS 2016) indiquent que le secteur présente actuellement 2,5 personnes par logement. Peu d'évolution devrait être observée à terme sur ce secteur et la valeur de 2,5 a été conservée aux deux horizons considérés dans cette étude.

#### Développement à proximité immédiate de la ZAC Grande Borne Ouest

Etant donné la localisation des projets des secteurs Damier, Les Chaulais, Mail des Droits de l'Homme, Cœur de Ville, Balance/Ellipse, Tanguy et Grigny 2, les mêmes hypothèses d'évolution des parts modales

et du nombre de personnes par logement indiquées pour le secteur d'étude ont été appliquées. Par ailleurs, concernant les équipements, la programmation n'étant pas encore définie et, au vu du secteur dans lesquels ceux-ci se trouvent, il a été considéré qu'il s'agissait d'équipements de proximité générant des flux principalement portés par les modes alternatifs à la voiture (marche, à pied, transports collectifs, vélos), ou des flux de véhicules déjà comptabilisés dans les flux en échange pour les flux domicile-travail (déplacement mutualisé, arrêt de courte durée, dépose-reprise, etc.). Ainsi, une hypothèse très faible de génération de flux motorisés en échange a été considérée ici.

#### 4.2.2 Situation projetée des trafics

Afin d'estimer les flux générés par les projets connexes, les hypothèses suivantes ont été considérées :

	Horizon 2025	Horizon 2035
Nombre de personne/logements (Grigny/Viry)	3	2,5
Nombre de personne/logements (Sud Francilienne)	2,5	2,5
Surface SDP/emp	25	25
Surface SDP/emp/commerce	50	50
Surface SDP/emp-équipement	100	100
Visiteurs/m <sup>2</sup>	0,01	0,01
Taux de présence	85%	85%
PM VP projetée (Grigny/Viry)	41%	39%
PM VP projetée (Sud Francilienne)	71%	71%
Taux d'occupation des voitures	1,1	1,15
Nombre de déplacements/jour/personne (EGT 2018)	3,80	3,80

Etat de référence – Horizon 2025

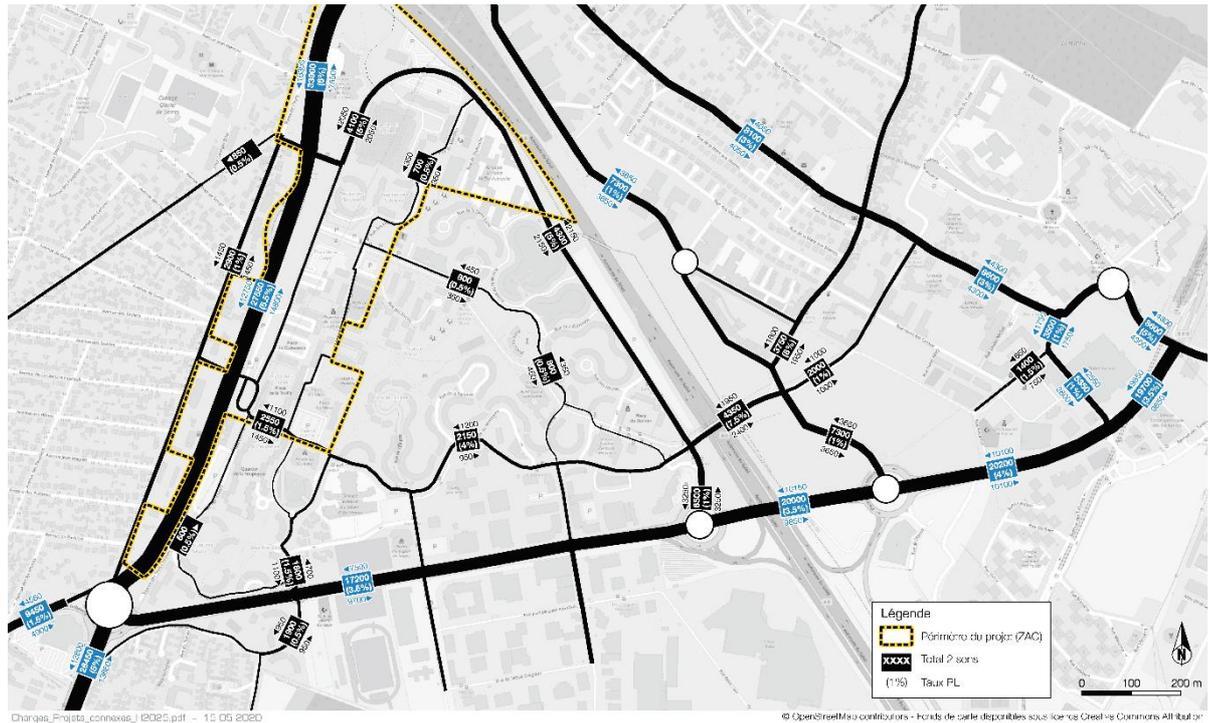


Figure 21 : Demande de trafic journalier lié à l'évolution probable de l'environnement – Projection à l'horizon 2025 (Trafic Journalier Moyen Annuel)

La figure ci-dessus présente le trafic projeté à l'horizon 2025 en prenant uniquement en considération les projets connexes ainsi que le report modal lié aux projets de transports en commun et à l'évolution des pratiques de déplacement présentée précédemment. A ce stade, seul le développement du sud de la Francilienne ainsi que du secteur Cœur de Ville contribue sensiblement à l'évolution des charges de trafic avec de manière générale, une réduction des flux liée à une diminution de 7% la part modale VP. Il a été considéré ici les mêmes pourcentages de flux poids-lourds par rapport aux flux totaux que dans la situation actuelle. En effet, au vu de l'affectation des projets connexes sur le réseau routier ainsi que de leur programmation, peu d'évolution de ces flux devrait être observée pour les horizons 2025 et 2035 ( $\leq 0,5\%$ ).

Etat de référence – Horizon 2035

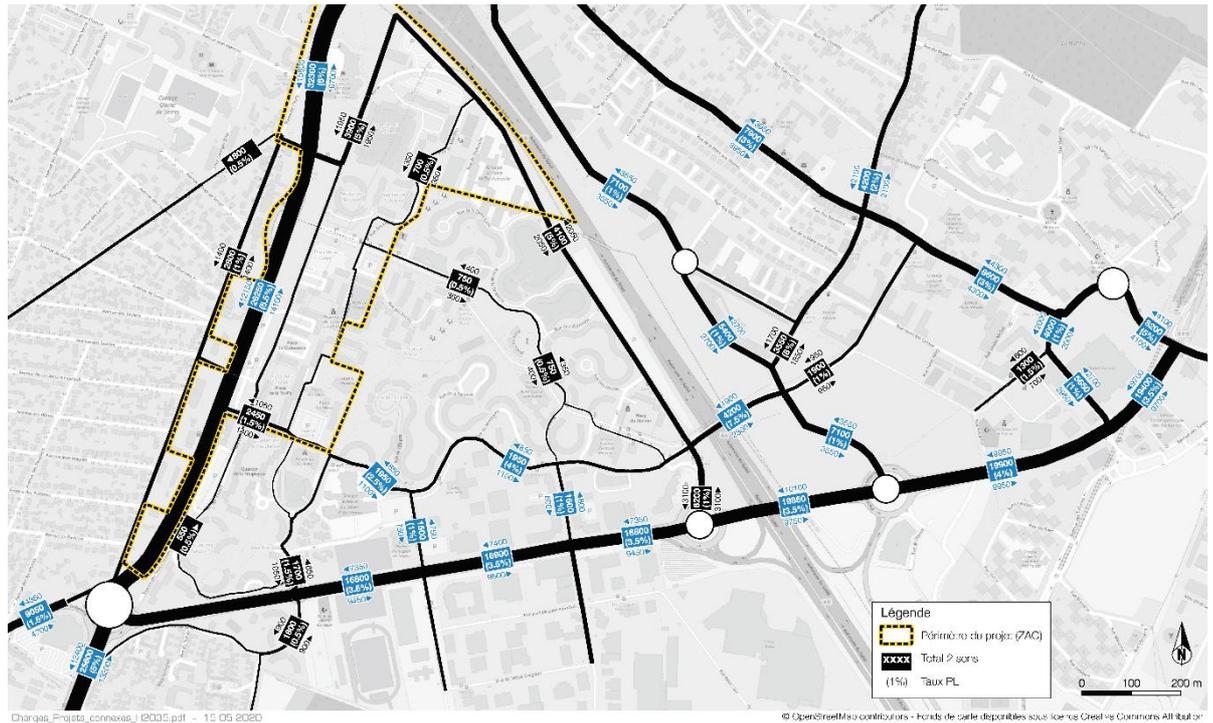


Figure 22 : Demande de trafic journalier lié aux projets connexes - Projection à l'horizon 2035 (Trafic Journalier Moyen Annuel)

A l'horizon 2035, les projets connexes situés directement à proximité du secteur d'étude seront sortis de terre en totalité contribuant à une augmentation des flux, contrebalancée par une diminution de la part modale VP de 2% supplémentaires, soit une diminution de 9% au total par rapport à 2019. Ici aussi, les charges de trafic sont dans l'ensemble inférieures à celles présentées pour la situation actuelle. Par ailleurs, tout comme pour les projets connexes, les mêmes pourcentages de flux poids-lourds que ceux présentés pour la situation actuelle ont été pris en compte ici.

## 5. Situation de projet

### 5.1 Le projet Grand Borne Ouest

#### Programmation urbaine

Le tableau ci-dessous présente la programmation pour le projet. A l'horizon 2025, seulement 400 logements démolis seront pris en compte. Par ailleurs, la même hypothèse exposée pour les équipements des projets connexes du secteur a été retenue ici.

Secteur	Logements 2025 (nbre)	Logements neufs 2035 (nbre)	Commerces 2025 (m²)	Commerces 2035 (m²)	Activités 2025 (m²)	Activités 2035 (m²)	Equipements 2025 (m²)	Equipements 2035 (m²)
Places Hautes	-400	365	0	1 585	0	8 328	0	2 998
Méridien	0	59	0	0	0	0	0	0

Tableau 2 : Programmation du projet (source : Etude ensemble (groupement Made-in) - 2019)

Les hypothèses suivantes ont ainsi été considérées :

	Horizon 2025	Horizon 2035
Nombre de personne/logements (Grigny/Viry)	3	2,5
Surface SDP/emp	25	25
Surface SDP/emp-commerce	50	50
Surface SDP/emp-équipement	100	100
Visiteurs/m²	0,01	0,01
Taux de présence	85%	85%
PM VP projetée (Grigny/Viry)	41%	39%
Taux d'occupation des voitures	1,1	1,15
Nombre de déplacements/jour/personne (EGT 2018)	3,8	3,8

#### Requalification de la RD445

Le projet relatif à la requalification de la RD445 vise à transformer cet axe aujourd'hui très routier en boulevard urbain. Par ailleurs, celui-ci accueillera le terminal de la Treille planifié pour l'arrivée du TZen 4. En matière de mobilité, ce projet n'aura pas un impact très sensible sur les conditions de circulation étant donné que le gabarit des voies reste similaire (2x2 voies). Avec la création de plusieurs accès avec le quartier de la Grande Borne, ce projet participera au désenclavement de ce secteur et permettra de diffuser plus efficacement les flux qui se concentrent aujourd'hui sur 2 accès.

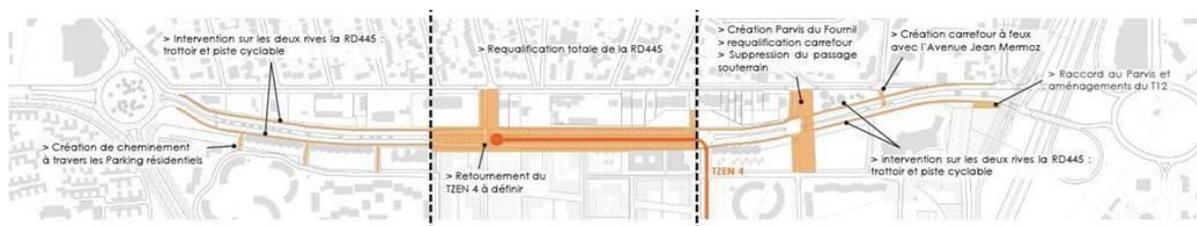


Figure 23 : Projet de requalification de la RD445 (Source : RD445 – Esquisse – Rendu final, AMT, 2019)

## 5.2 Réseau routier

### Réseau routier disponible

La hiérarchie du réseau ne va pas être fortement modifiée par le projet mais celui-ci va permettre de remailler le réseau viarie grâce à la création de voies de desserte.

### Flux de circulation automobile : Etat avec projet – Horizon 2025

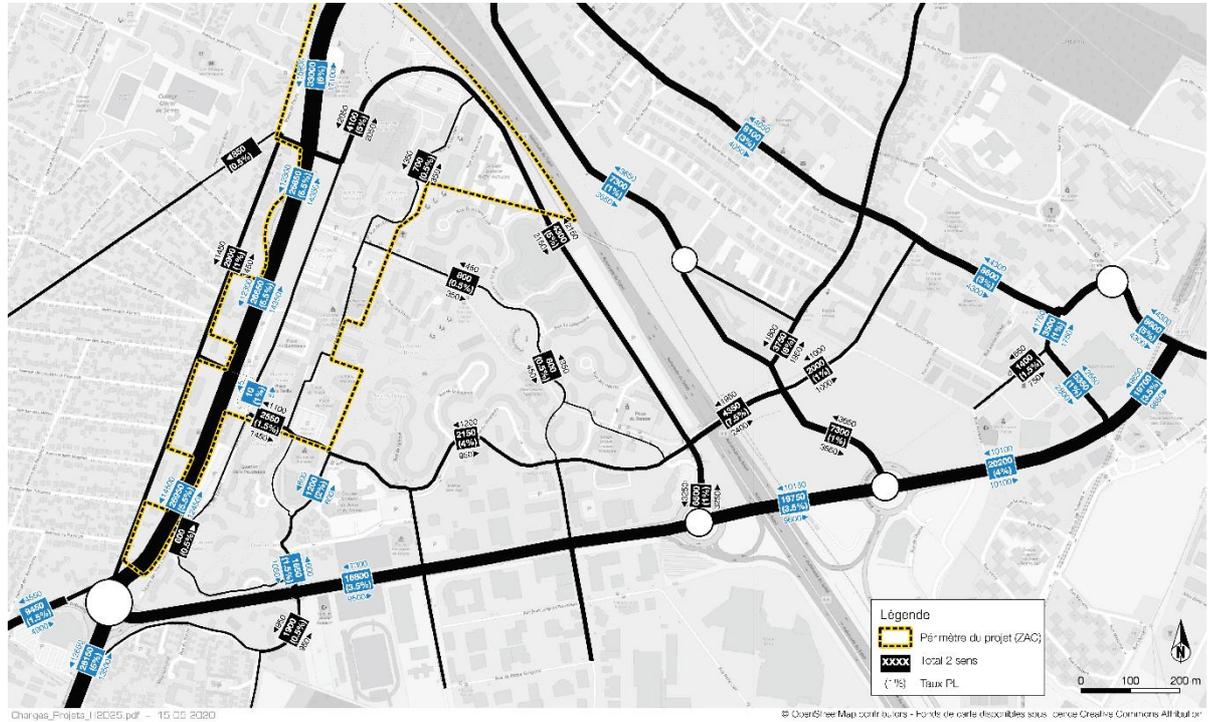


Figure 24 : Demande de trafic journalier lié au projet - Projection à l'horizon 2025 (Trafic Journalier Moyen Annuel)

Par rapport à l'état de référence à l'horizon 2025, uniquement la démolition de 400 logements des Places Hautes est prise en compte en plus du développement du sud de la Francilienne. Une diminution des charges de trafic par rapport à la situation actuelle est prévisible. Celle-ci est d'une part liée au report modal issu des projets connexes de transports en commun et à l'évolution des pratiques de déplacements, et d'autre part, à la démolition des logements évoquée plus haut.

**Flux de circulation automobile : Etat avec projet – Horizon 2035**

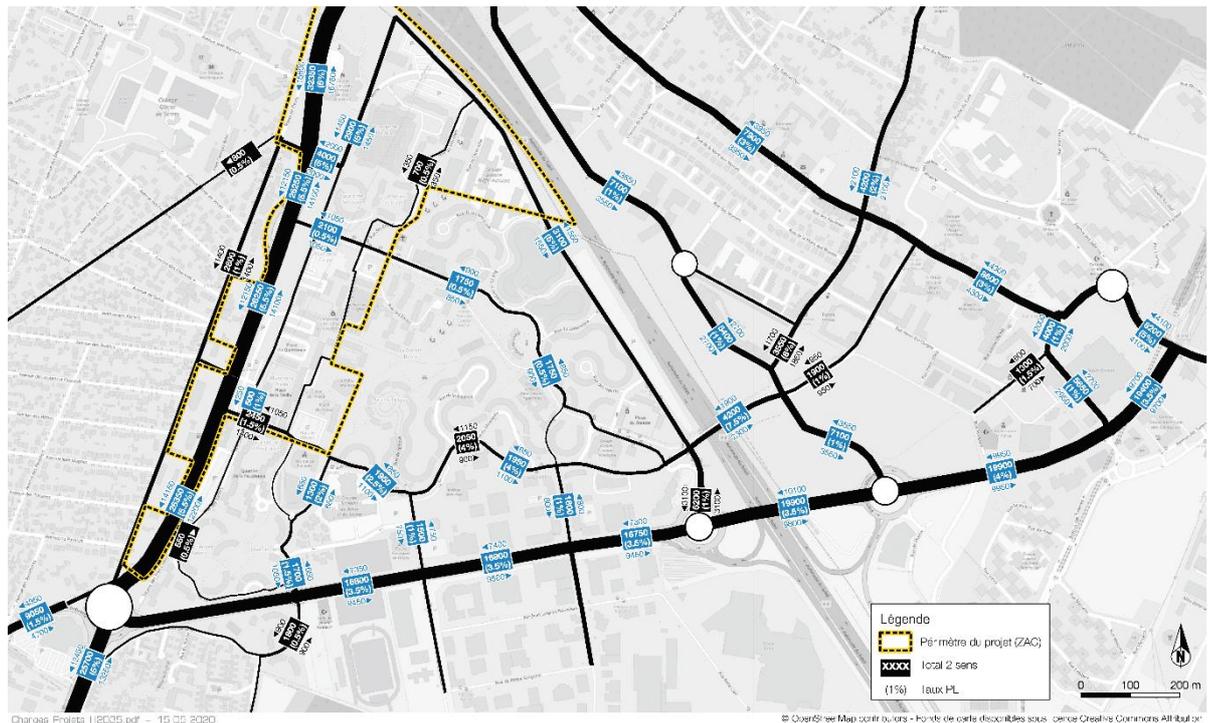


Figure 25 : Demande de trafic journalier lié au projet - Projection à l'horizon 2035 (Trafic Journalier Moyen Annuel)

La totalité du projet sera réalisée en 2035 mais les flux routiers sur le réseau restent globalement stables par rapport à 2019 du fait de la diminution tendancielle évoquée au chapitre précédent (notamment diminution de 9% de la part modale VP). Concernant les flux des poids-lourds, le projet ne prévoit qu'une faible surface de commerces (1'500m<sup>2</sup>) et ne modifiera pas significativement le pourcentage poids-lourds sur le réseau ( $\leq 0,5\%$ ).

**Fonctionnement du réseau**

Etant donnée une diminution généralisée des flux sur le périmètre du projet ainsi que sur le périmètre de réflexion, couplée majoritairement à d'importantes réserves de capacité en l'état actuel, la sollicitation des carrefours ne devraient être que très peu impactée voire améliorée (CU  $\leq 85\%$  sur le périmètre du projet et de la RD310 et  $\leq 50\%$  sur le périmètre de réflexion). Par ailleurs, la création d'un nouveau carrefour à feux sur la RD445 permettra d'autant plus lisser la demande.

Par ailleurs, le by-pass qui sera mis en place au niveau du carrefour entre le sud de la RD445 et la RD310 permettra d'améliorer son fonctionnement. Les mouvements provenant du sud de la RD445 seront ainsi allégés de leurs tourner-à-droite, permettant une insertion fluidifiée des flux en provenance de la RD310 dans le carrefour ainsi que des flux provenant de la RD445 Nord et de l'Avenue de la Gribette sur la RD310.

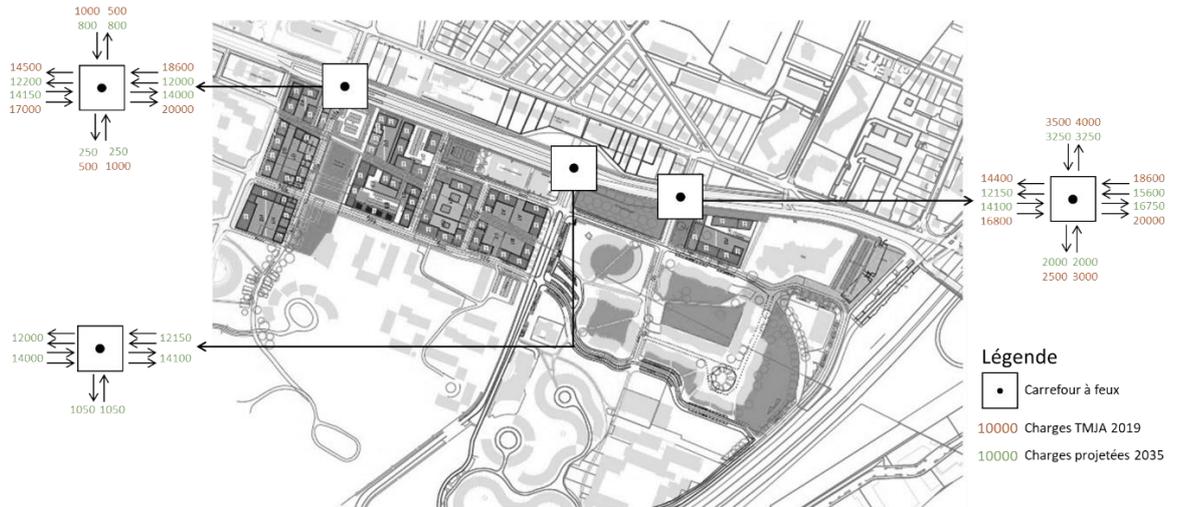


Figure 26 : Sollicitation des carrefours de la RD445 entre l'état actuel (2019) et l'état à l'horizon 2035

NB : pour des questions de lisibilité, l'orientation de la carte ci-dessous présente le Nord à droite

### 5.3 Desserte en transports collectifs

Le projet ne prévoit pas de modification au niveau de la desserte en transports collectifs et les améliorations observées seront uniquement liées aux projets connexes.

### 5.4 Modes actifs (marche et vélo)

Le projet prévoit d'améliorer la circulation des modes actifs grâce à la création de nouveaux axes notamment sur la RD445. Des nouveaux franchissements vont participer à désenclaver le quartier de la Grande Borne et ainsi contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des habitants de ce quartier. La circulation des modes actifs sera privilégiée à l'intérieur des Places Hautes et du Méridien avec la création de places et parvis, tels que la place du Marché sur les Place Hautes ou encore l'aménagement d'espaces végétalisés, en particulier sur le secteur du Méridien. La totalité de ces modifications ne seront pas effectuées en 2025 mais seront effectives en 2035.



Figure 27 : Incidence de la requalification de la RD445 sur le déplacement des modes actifs

NB : pour des questions de lisibilité, l'orientation de la carte ci-dessous présente le Nord à droite

## 5.5 Bilan stationnement

Secteur	Stationnement actuel	Stationnement projeté	Différence (proj-actu)	Places créés 2025	Places créés 2035	Demande crée 2035
Enclos	135	158	23	0	23	
Marigot	23	23	0	0	0	
Places Hautes	642	1080	438	0	438	356
Méridien	536	699	163	0	163	58

Tableau 3 : Comparaison entre stationnement actuel et projeté

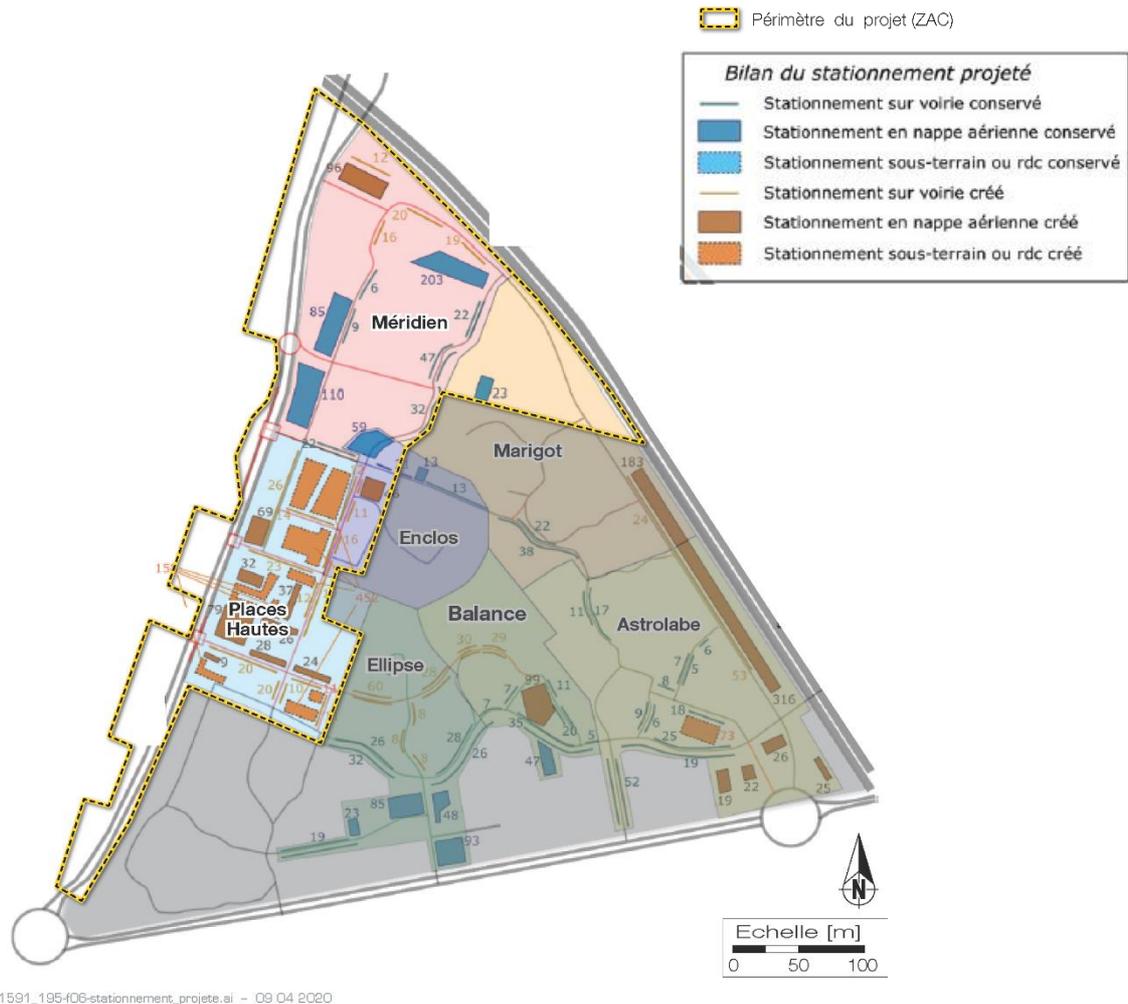


Figure 28 : Stationnement projeté - Secteur Grande Borne (Source : Etude ensemblière (groupement Made-in) - 2020)

Comme évoqué pour les projets connexes, la demande en stationnement diminuera en 2025 due à la diminution de la part modale voiture ainsi que la diminution du nombre de personne par logement. Par ailleurs, la démolition de 400 logements sur les Places Hautes contribuera à diminuer considérablement cette demande (-492 voitures estimées).

L'occupation relevé lors de l'enquête du 3 décembre 2019 ne présentait pas de pression de stationnement sur les Places Hautes. Ainsi, en 2025, cette pression sera d'autant plus faible. L'absence de contrainte n'encouragera pas un report modal de la voiture vers les transports en commun. En 2035, la création de nouveaux logements engendrera la demande de 356 voitures supplémentaires. Les 461 places créées à terme (Places Hautes et Enclos) permettront d'accueillir cette demande. Cependant, le fait que la sollicitation du stationnement ne soit pas très forte dès le départ laisse penser que l'utilisation du stationnement ne sera pas totale. Par ailleurs, à l'inverse de l'état actuel, des parkings souterrains seront créés, permettant de libérer de l'espace pour la création de logements et d'espaces publics. La totalité de ces parkings seront réservés, essentiellement pour les logements mais aussi pour les activités et bureaux, notamment autour de la future place du Marché.

Côté Méridien, le stationnement présentait un taux d'occupation supérieur à 100%. Cette suroccupation devrait se résorber à terme étant donné la création de 163 places de stationnement d'une part, couplée à une demande supplémentaire de 58 voitures seulement. Cependant, à l'horizon 2025 et ce malgré la baisse de de la demande, le stationnement devrait rester fortement sollicité du fait qu'aucune place ne soit créée. Des réserves de capacités sont cependant présentes sur les secteurs voisins (rue de la Grande Borne par exemple)

## 5.6 Impacts du projet

**A l'horizon 2025**, peu de changements auront lieu à l'exception de la démolition de 400 logements sur le secteur des Places Hautes ainsi que la création de 387 logements, de 12'634 m<sup>2</sup> de surface de commerces et de 1'229 places de stationnement sur le secteur Cœur de Ville. Cependant, avec la diminution de la part modale VP, peu d'impacts circulatoires sont à prévoir sur le secteur d'étude.

**A l'horizon 2035**, la totalité du projet sera sorti du sol et contribuera à améliorer la qualité de vie des habitants de la Grande Borne du point de vue de la mobilité. Tout d'abord, l'aménagement de la RD445 en boulevard urbain permettra le désenclavement de ces quartiers, notamment grâce à la création de nouveaux franchissements. Le déplacement des modes actifs sera par ailleurs amélioré grâce à l'aménagement de places et parvis.

Concernant le trafic automobile, le projet ne va pas détériorer la circulation des véhicules motorisés étant donné une diminution importante de la part modale VP due au report modal engendré par la mise en service du TZen 4 et du T12 Express. L'offre de stationnement créée peut apparaître excédentaire sur certains secteurs, ce qui peut nuire à la qualité des espaces publics et présente un risque (très modéré) de limiter les reports vers les modes de déplacements alternatifs à la voiture.

Transitec

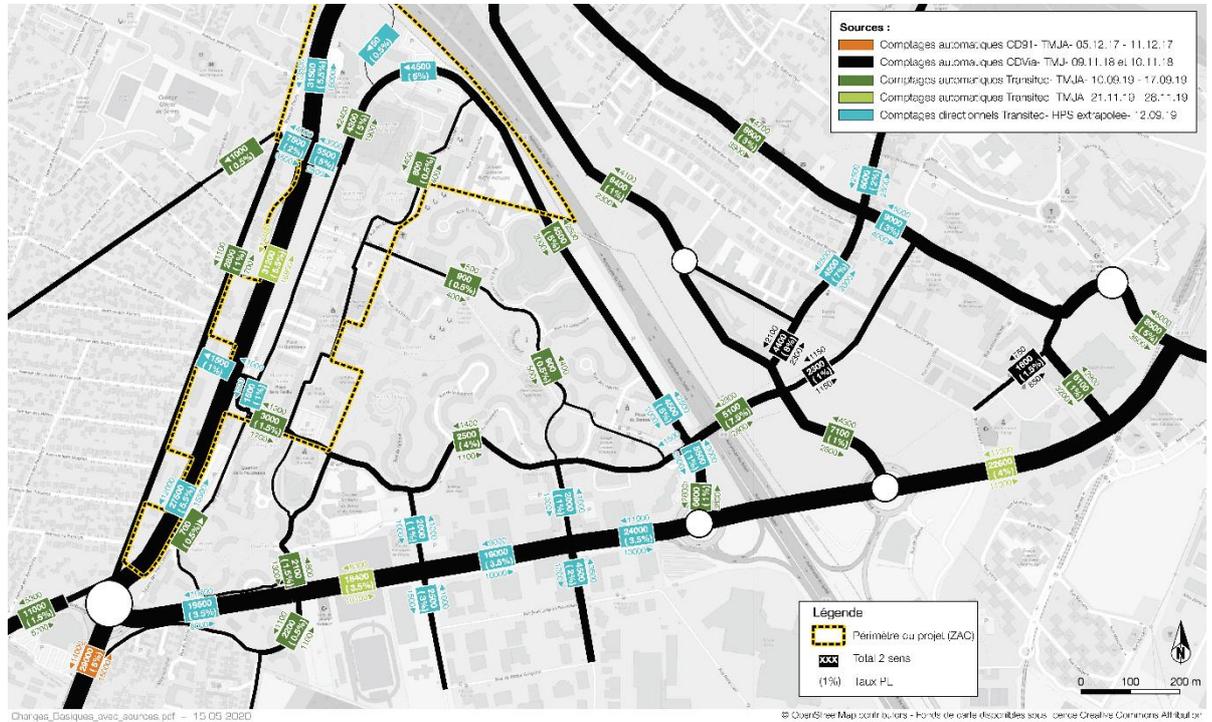
S. Simonnet  
Directeur de projet

M. Amor  
Ingénieure d'étude

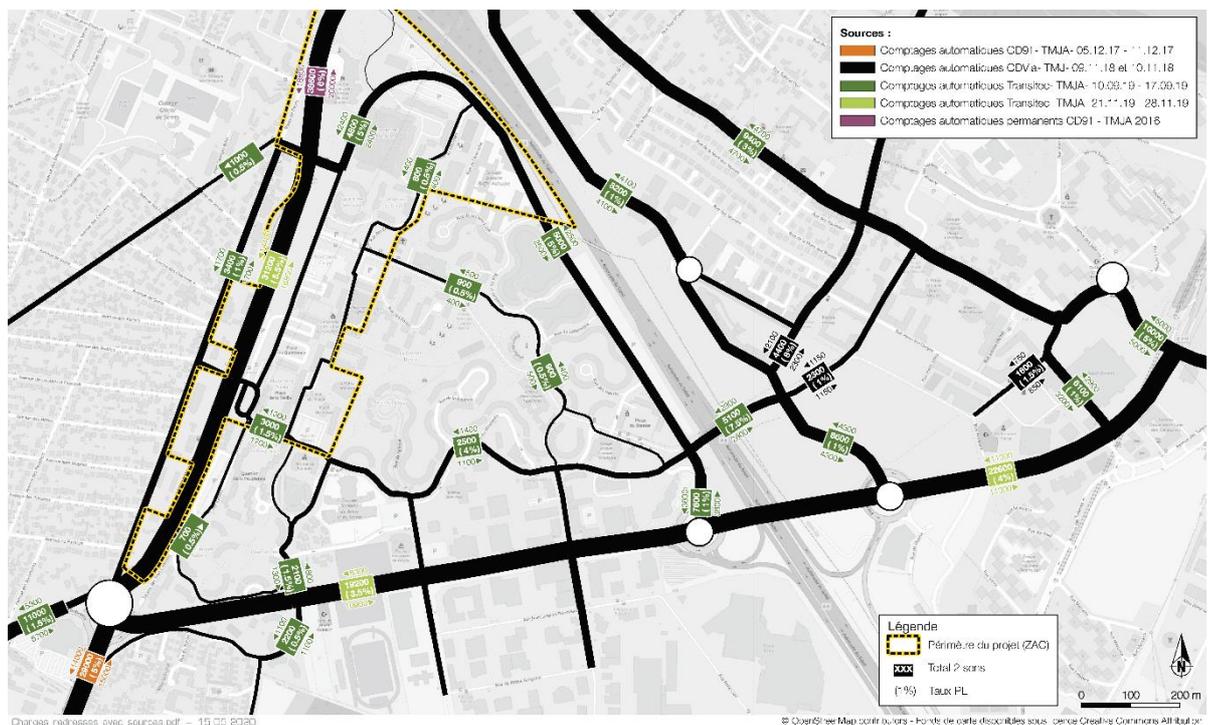
Paris, le 05 juin 2020

## 6. Annexes

### 6.1 Annexes 1 et 2 : Demande de trafic journalier 2019 avec sources



Annexe 1 : Demande de trafic journalier 2019 - Valeurs avant redressement (Trafic Journalier Moyen Annuel)



Annexe 2 : Demande de trafic journalier 2019 - Valeurs redressées (Trafic Journalier Moyen Annuel)

## 6.2 Annexes 3 et 4 : Descriptifs des projets de transports en commun

### Tram-Train Massy-Evry (TTME)

- **Description** : Ligne T12 express reliant Massy à Evry et desservant les gares de Grigny et de Viry-Châtillon ;
- **Horizon et modalité de prise en compte** : Horizon 2022 ;
- **Typologie d'impacts** :
  - Principalement du report modal ;
  - Faibles impacts sur les conditions de circulation ;
  - Faibles impacts sur le stationnement.
- **Hypothèses quantitatives** :
  - Fréquentation de 800 usagers/jour sur le secteur d'étude (500 montées à Viry-Châtillon et 300 montées à Grigny Centre-Ville) ;
  - Report modal de 10% couplé avec l'impact du TZen 4 ;
- **Documents sources** : Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique Tram-Train Massy-Evry ; Etude de circulation à Grigny – Projet Cœur de Ville-République, CDVia, Mai 2019.

### Ligne TZen 4 : de Viry-Châtillon à Corbeil-Essonnes

- **Description** : BHNS reliant Viry-Châtillon à Corbeil-Essonnes majoritairement en site propre ;
- **Horizon et modalité de prise en compte** : Horizon 2022 ;
- **Typologie d'impacts** :
  - Renfort et remplacement de la ligne 402 ;
  - Principalement du report modal ;
  - Faibles impacts sur les conditions de circulation ;
  - Faibles impacts sur le stationnement.
- **Hypothèses quantitatives** :
  - Passage de 2x2 voies à 2x1 voie sur la route de Corbeil à Grigny ;
  - 28 places de stationnement supprimées à Viry-Châtillon ;
  - Fréquentation estimée à 5'200 voyageurs à l'HPM sur l'ensemble du tracé (contre 3'900 à l'horizon de référence) ;
  - Pas de détails des montées par arrêt ;
  - Report modal de 10% couplé avec l'impact du T12 express.
- **Documents sources** : Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique – Pièce F, TZen 4 ; Schéma de principe – Synthèse – TZen, Avril 2017 ; Etude de circulation à Grigny – Projet Cœur de Ville-République, CDVia, Mai 2019.

**ANNEXE 3 : REAMENAGEMENT DE LA RD445 – ETUDE DE TRAFIC – TRANSITEC – FEVRIER 2022**

**COMITE DE SUIVI DU 04/02/22**

GPA – RD445 à Viry-Châtillon

# Réaménagement RD 445

## Etude de trafic

**grandparis**  
**aménagement**



# Sommaire

Objet de l'étude

Rappel des variantes retenues

Charges de trafic : deux fourchettes considérées

Simulation dynamique : quelques éléments de méthode

Simulation de l'état de référence

Simulation – variante latérale

Simulation – variante centrale

Bilan

Annexes

- Détails de la simulation - Réseau modélisé situation de référence
- Détails de la simulation – Charges de trafic situation de référence
  - Cas de charges n°1
- Détails de la simulation – Charges de trafic situation de référence
  - Cas de charges n°2
- Détails de la simulation - Hypothèses pour la simulation en situation de projet – cas de charges n°2
- TZen en latéral – réseau modélisé
- Résultats de la simulation – TZen en latéral – Cas de charge n°1
- Résultats de la simulation – TZen en latéral – Cas de charge n°2
- Réseau modélisé – TZen en central
- Résultats de la simulation – TZen en central – Cas de charge n°1
- Résultats de la simulation – TZen en central – Cas de charge n°2

# Objet de l'étude

# Objet de l'étude

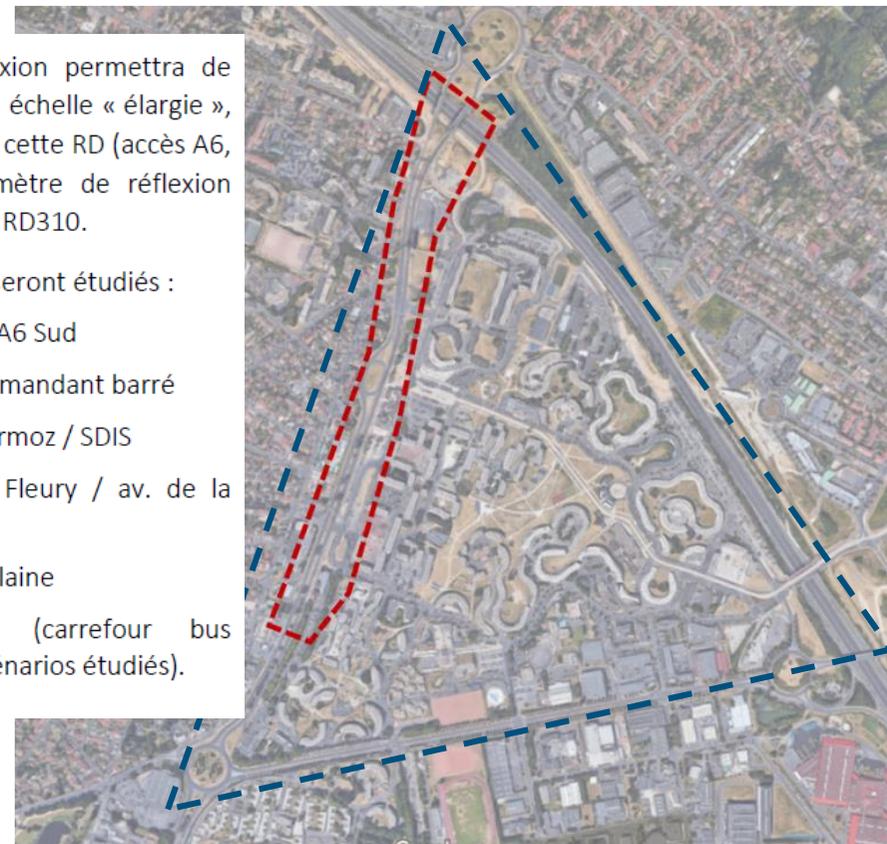
## Approfondir les études circulatoires menées jusqu'à présent

- Obtenir une vision globale de la demande de mobilité susceptible de s'exercer sur la RD445 ;
- Etudier les impacts sur la circulation automobile et sur la circulation des transports collectifs de différentes variantes, basées sur le scénario principal d'aménagement, validé en CNE ANRU en décembre 2019, par rapport au scénario de référence.

Un périmètre de réflexion permettra de prendre en compte une échelle « élargie », compte-tenu du rôle de cette RD (accès A6, maillage N7). Ce périmètre de réflexion intégrera notamment la RD310.

Les carrefours suivants seront étudiés :

- RD445 / échangeur A6 Sud
- RD445 / rue du commandant barré
- RD445 / avenue Mermoz / SDIS
- RD445 / route de Fleury / av. de la Grande Borne
- RD445 / voie de la Plaine
- RD445 / Tzen4 (carrefour bus spécifique, selon scénarios étudiés).



**Périmètre d'étude et périmètre de réflexion**

# Objet de l'étude

- L'étude s'attache à vérifier :
  - Les conditions d'exploitation du TZEN4 ;
  - Les conditions de circulation automobile ;
  - Les conditions de circulation des bus ;
  - Les conditions de circulation piétons cycles ;
  - La compatibilité des scénarios étudiés avec le projet d'un TCSP axial à long terme ;
  
- Eléments approfondis dans le cadre de l'étude urbaine :
  - Configuration du retournement ;
  - Localisation des locaux (exploitation, rechargement) ;
  - Aménagement en faveur des bus dans le quartier.

# Méthodologie de travail

## Etape 1 – septembre 2021

- Etablissement des plans de charges de dimensionnement de manière itérative, en prenant en compte le fonctionnement du T12, des ronds-points Schoelcher et Gordini ;
- Construction partenariale des variantes à étudier ;

## Etape 2 et 3 – octobre à novembre 2021

- Etude des conditions de circulation pour l'état de référence ;
- Etude des conditions de circulation pour deux variantes ;

## Etape 2bis et 3bis – décembre à janvier 2022

**Mêmes études avec des conditions de trafic plus défavorables** (augmentation du trafic par rapport aux étapes 2 et 3 de base)

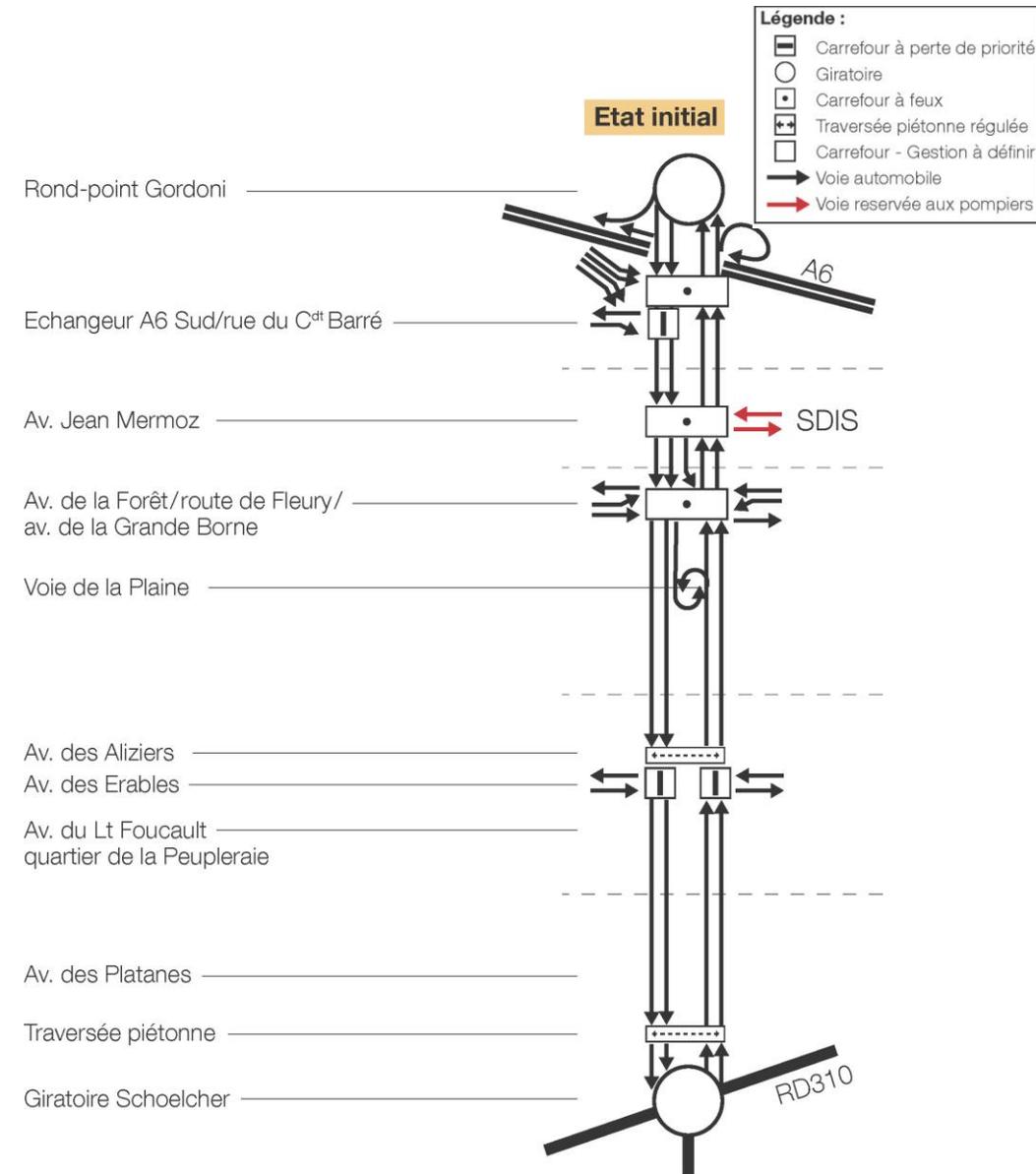
## Etape 4 – février / mars 2022

- Préconisations pour la gestion de la phase travaux *sur le scénario retenu*.

# Rappel des variantes retenues

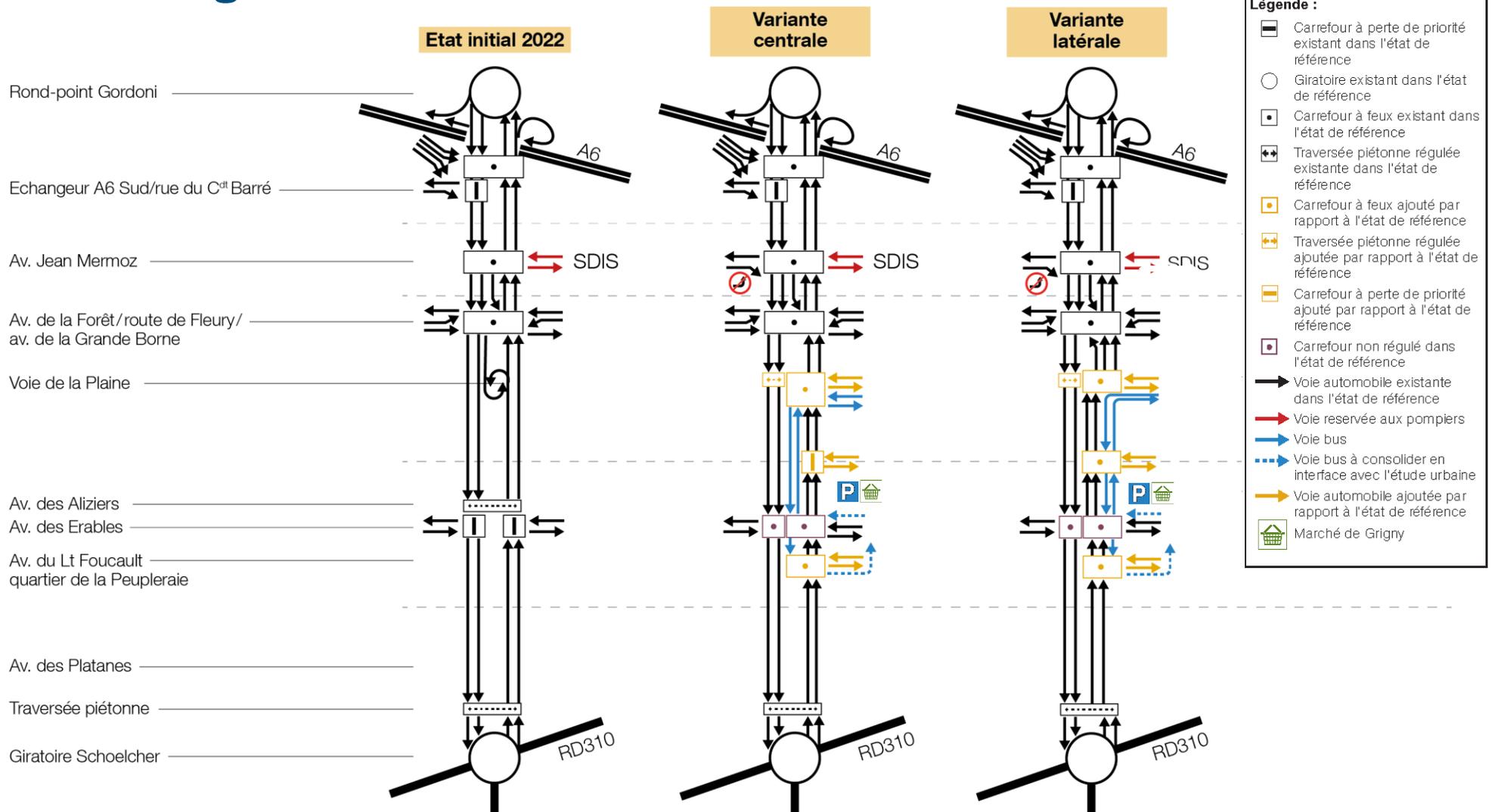
# État de référence

- RD 445 non aménagée ;
- Circulation du TZen4 sur **l'avenue de la Grande Borne** avec terminus à la Treille ;
- T12 avec arrêt à la station Viry-Châtillon et circulation entre la bretelle de l'A6 et l'avenue du commandant Barré, sur le carrefour bretelle/Schoelcher, fréquence de 10 min à la mise en service, **7 min à l'horizon 2035.**



1591\_178-fd1-Calibrage\_actuel.ai - 29 09 2021

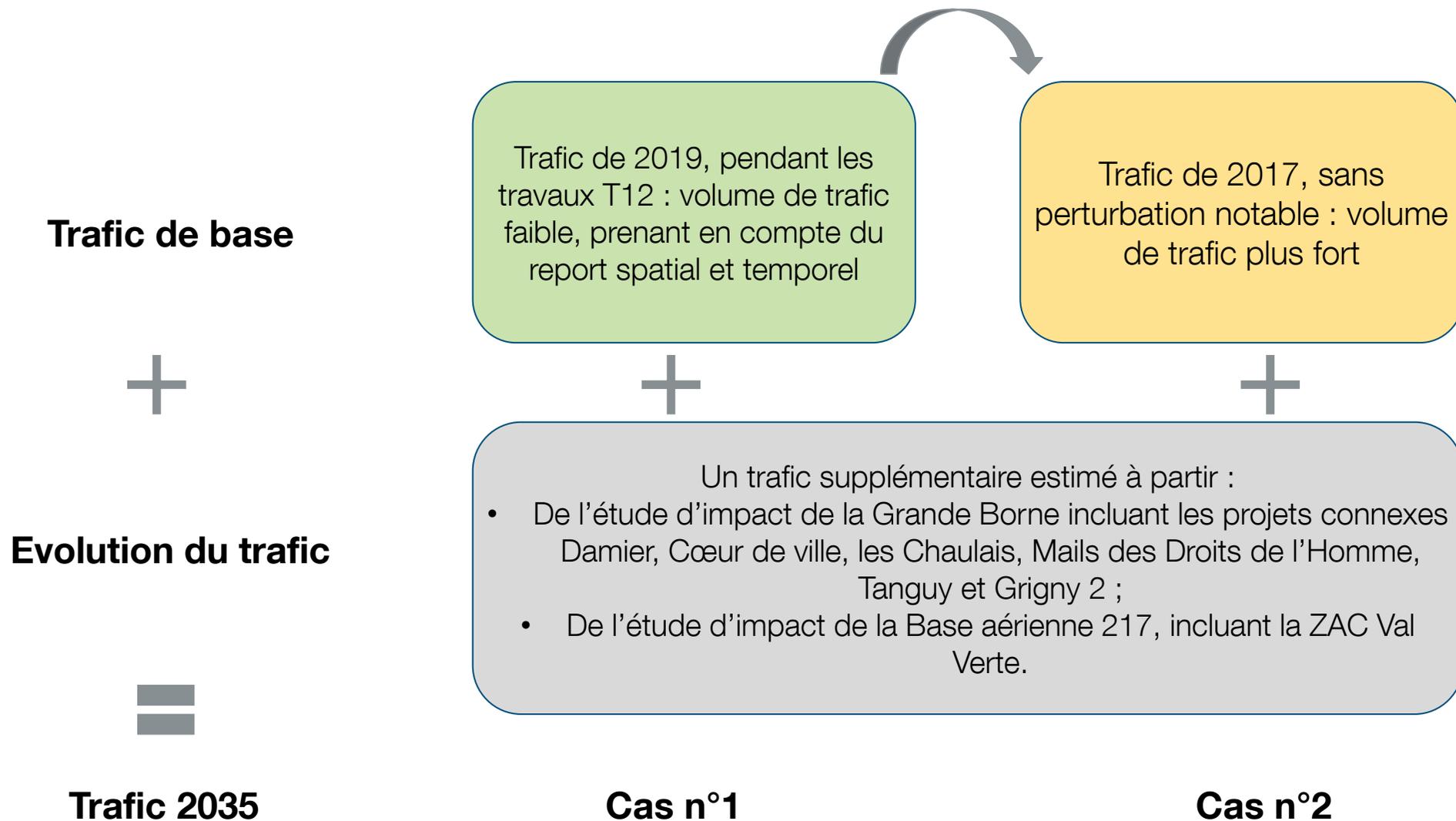
# Calibrage des variantes retenues



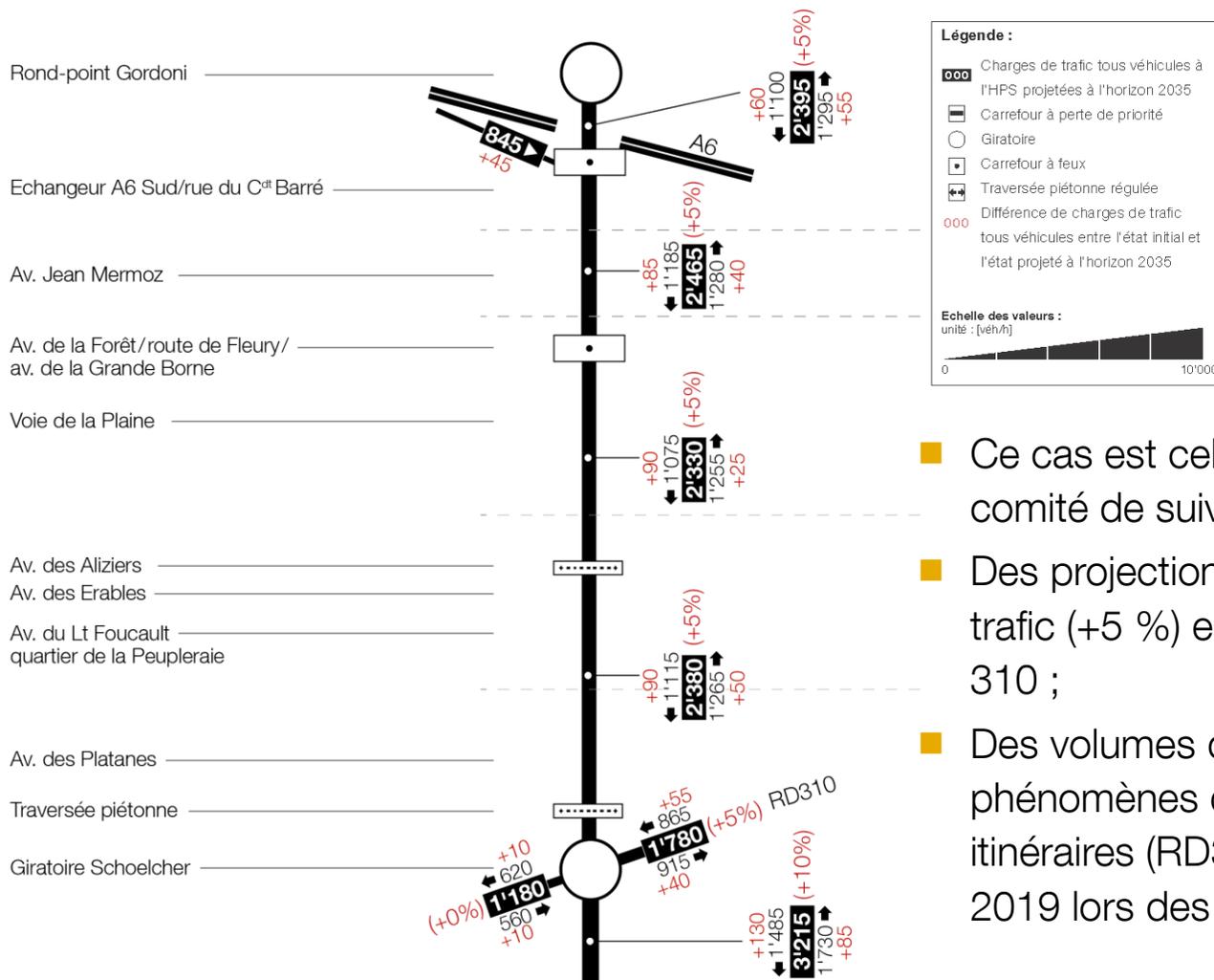
# Charges de trafic : deux fourchettes considérées

# Deux cas de charges étudiés

+ 15% à 20%

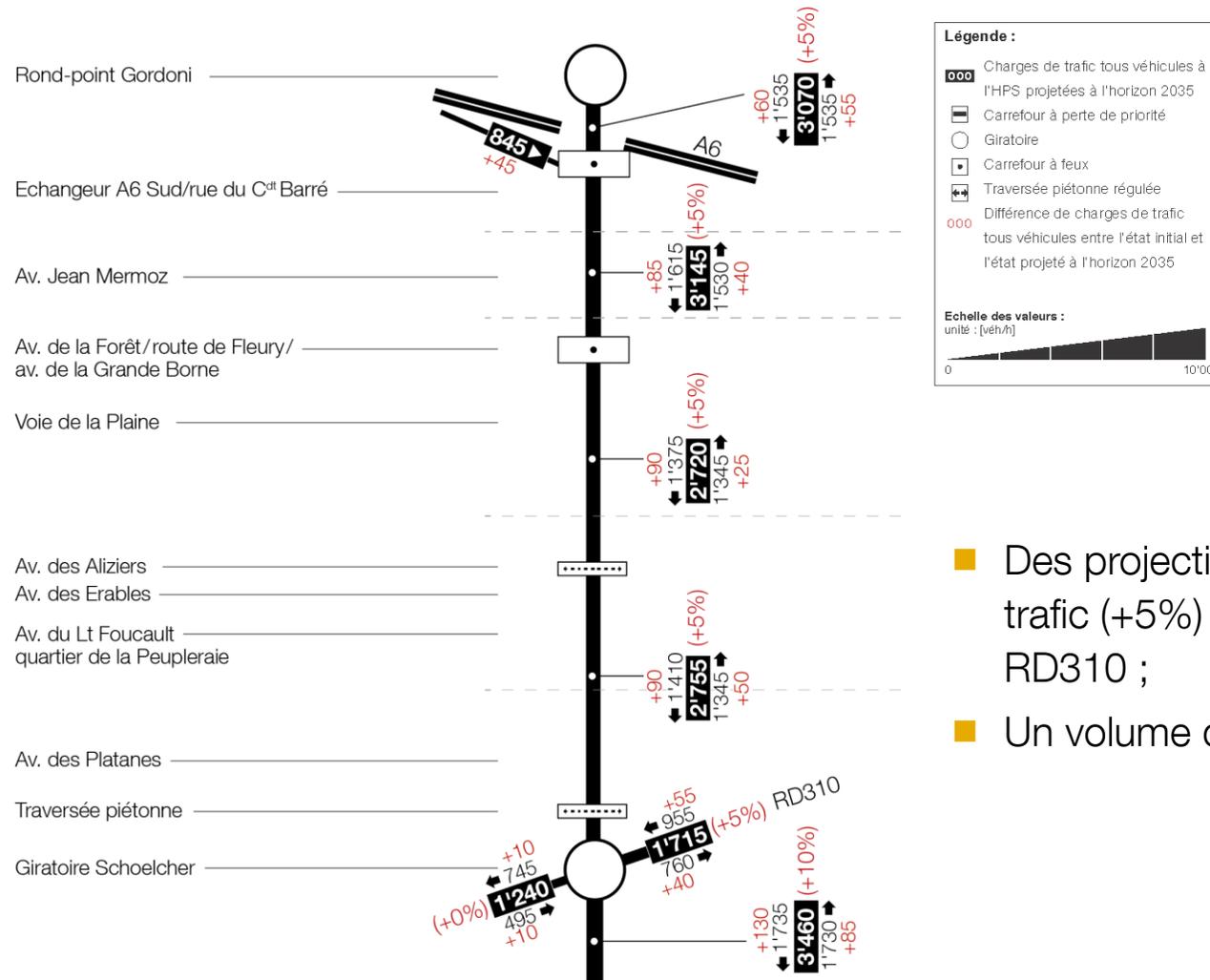


# Charges de trafic – cas n°1 – demande théorique 2035 basée sur les charges de 2019



- Ce cas est celui qui a été étudié et présenté lors du comité de suivi du 26.11.2021 ;
- Des projections montrant une faible augmentation du trafic (+5 %) entre 2019 et 2035 sur la RD445 et la RD 310 ;
- Des volumes de charges plutôt favorables en raison de phénomènes de reports spatiaux sur d'autres itinéraires (RD310) et de report temporel présents en 2019 lors des travaux.

# Charges de trafic - cas n°2 - demande théorique 2035 basée sur les charges de 2017



■ Une **hausse** des charges de trafic de **20% au Nord du carrefour du Fournil** et de **15% au Sud** par rapport aux charges projetées sur la base de 2019

- Des projections montrant une faible augmentation du trafic (+5%) entre 2019 et 2035 sur la RD445 et la RD310 ;
- Un volume de trafic maximaliste sur la RD445.

# Quel report sur la RD310 avec le cas de charge n°1 ?

		HPS	TMJA
Evolution entre 2017 et 2019	RD 310 vers A6	0 véh (0 %)	+560 véh (+ 10 %)
	RD 310 vers RD 445	+60 véh (+ 10 %)	-330 véh (-5 %)
	<b>RD 310 Total</b>	<b>+60 véh (+5 %)</b>	<b>+230 véh (+5 %)</b>
Evolution projetée à 2035	RD 310 vers A6	+40 véh (+5%)	+1'250 véh (+ 5 %)
	RD 310 vers RD 445	+60 véh (10%)	-90 véh (0%)
	<b>RD 310 Total</b>	<b>+100 véh (+5%)</b>	<b>+1'160 véh (+5 %)</b>

- En 2019, avec une augmentation des temps de parcours sur la RD445 liées aux travaux du T12, le trafic a augmenté d'environ 5% sur la RD310. Ces comptages 2019 ont servi de base pour l'estimation du cas de charge n°1.
- En 2035, **les projets vont générer une augmentation supplémentaire d'environ 100 véhicules / heure** (2 sens confondus) à l'heure de pointe du soir sur la RD310.
- En 2035, et compte tenu du cumul de ces deux phénomènes, le trafic sur la RD310 est estimé à environ 1'800 véhicules / heure dans le cas de charge n°1, c'est-à-dire le cas de charge nécessitant le plus de report sur la RD310. **Ce trafic est admissible par la RD310** sur la section entre la RD445 et l'A6, qui présente un calibrage de 2x2 voies et d'importantes réserves de capacité aux carrefours (cf. étude d'impact, juin 2020).
- Compte tenu de l'augmentation des temps de parcours sur la RD445, les augmentations de trafic sur la RD310 pourraient être supérieures dans la réalité, en fonction de l'attractivité de la RD310 vis-à-vis de la RD445. **La présente étude permet toutefois de démontrer que le projet de boulevard urbain sur la RD445 n'impacte pas l'accessibilité du secteur, puisque l'ensemble de la demande automobile projetée peut être satisfaite. En d'autres termes, la RD445 est en mesure de fonctionner avec le projet de boulevard urbain sans report de trafic sur la RD310. Il n'y a donc aucun report nécessaire sur la RD310 pour le fonctionnement du projet, et a fortiori aucune raison pour que ce report excède la capacité de la RD310.**

# RD310 – fonctionnement actuel

- Des réserves de capacité importantes sur la RD310.

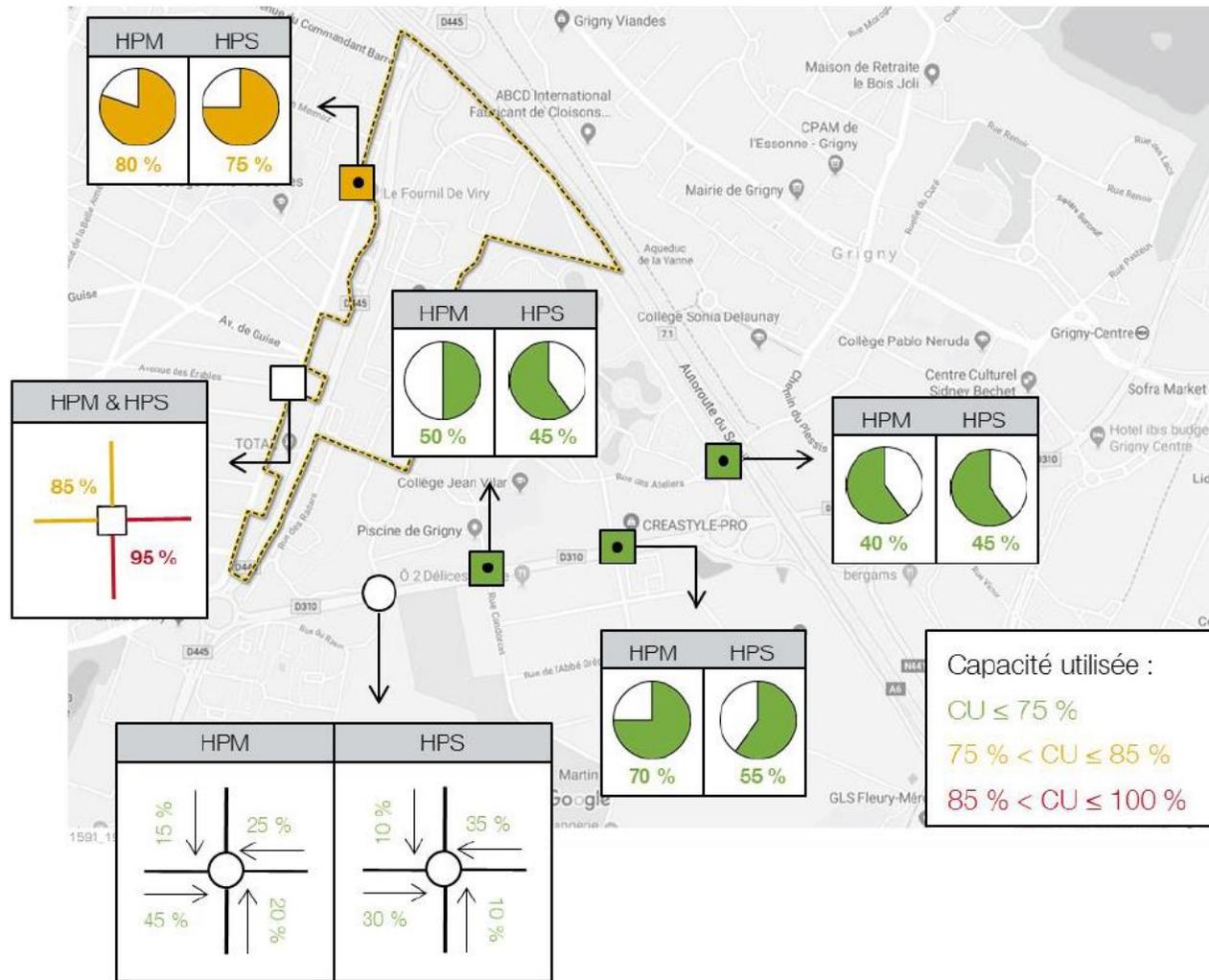
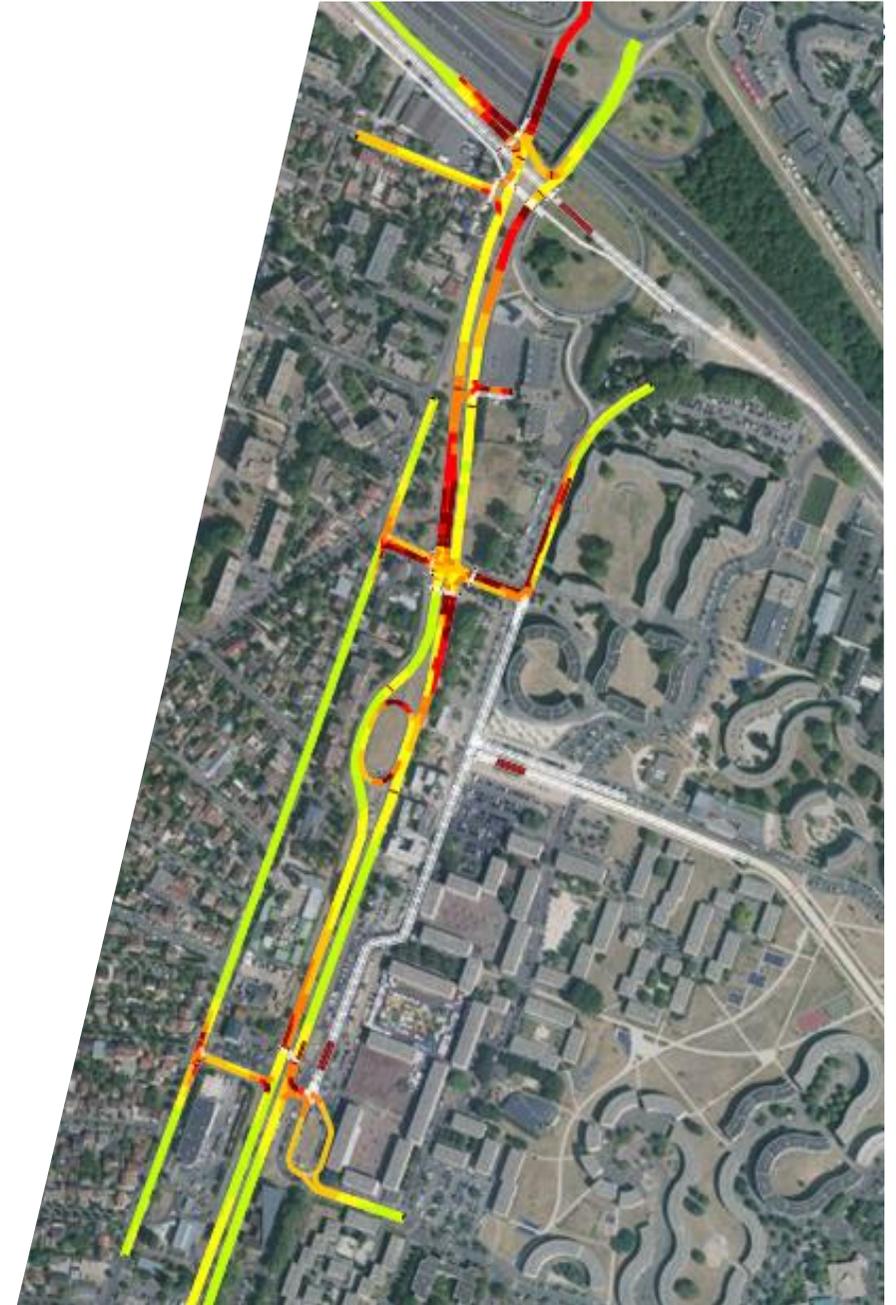


Figure 6 : Capacité utilisée actuelle des carrefours - Secteur Grande Borne

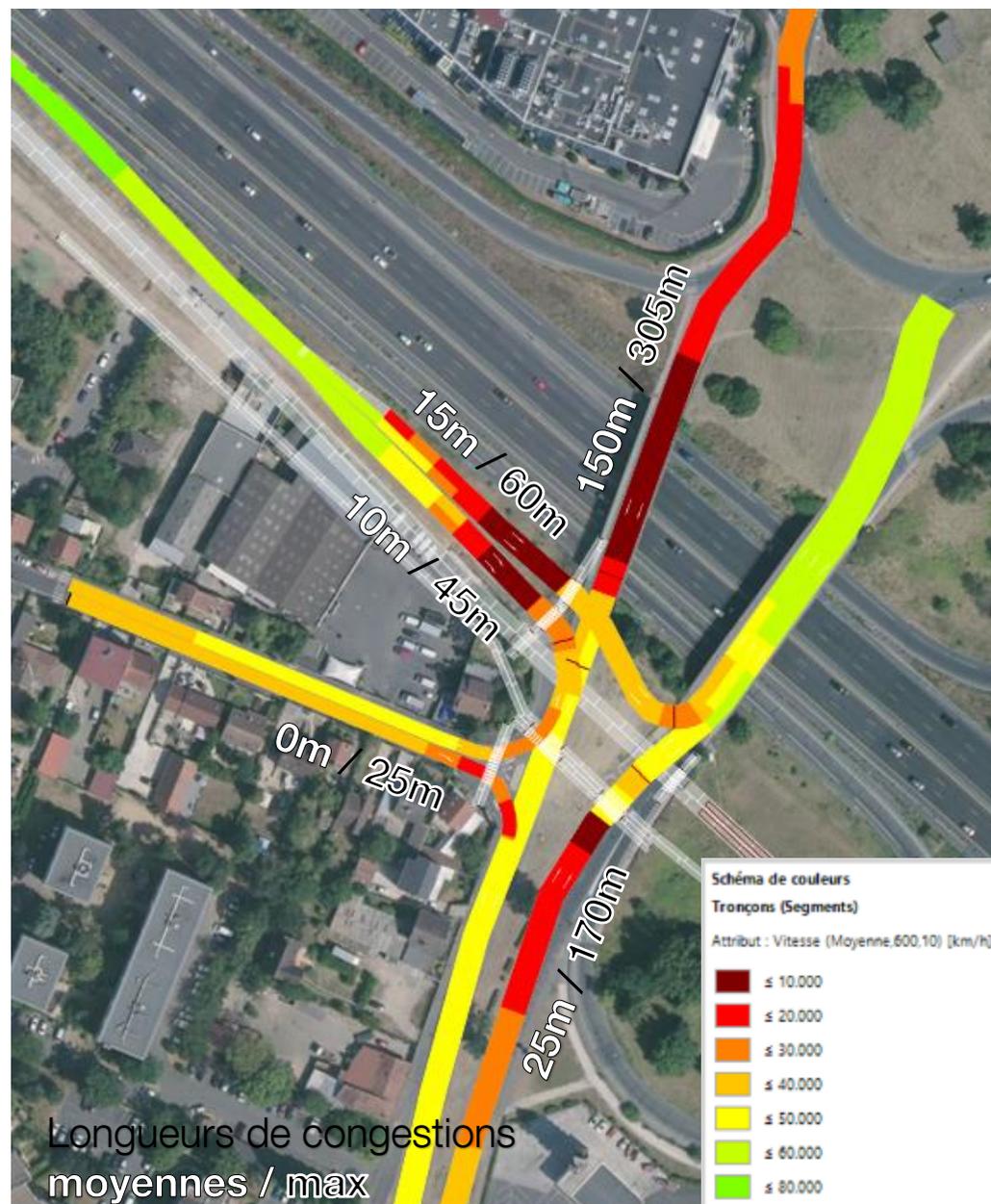
Source : étude d'impact volet mobilité – Grand Paris Aménagement – Juin 2020 - Transitec

# Simulation dynamique : quelques éléments de méthode



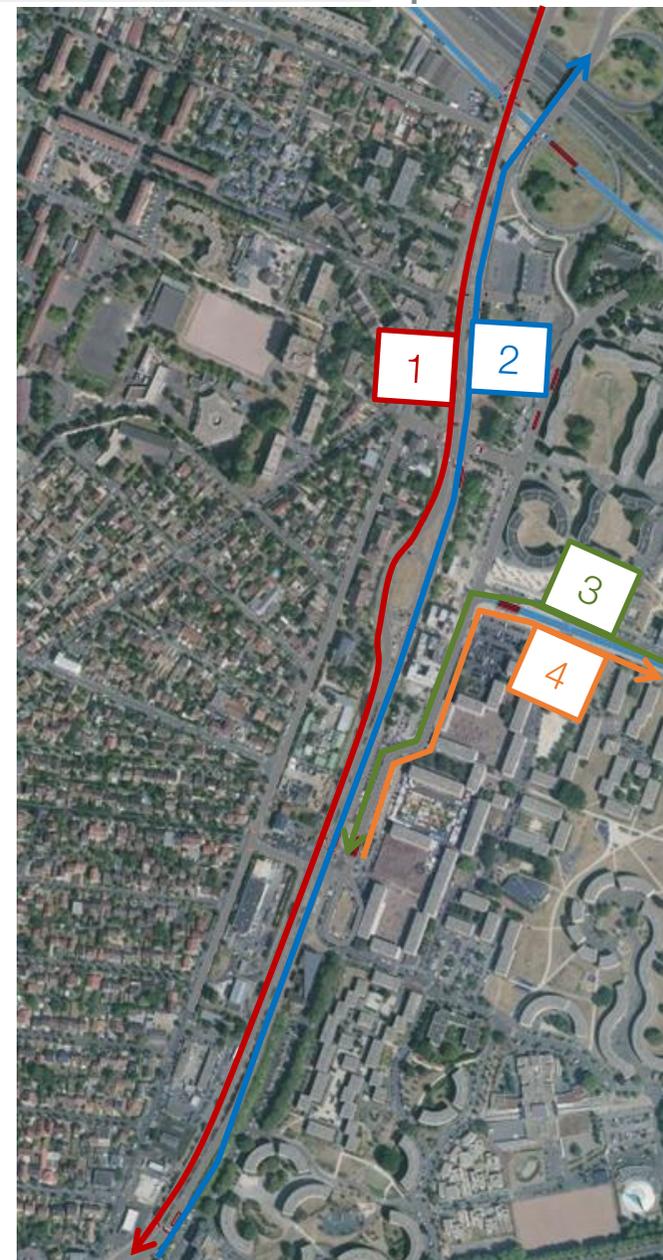
# Remontées de files

- Les valeurs moyennes sont obtenues à la suite de 10 simulations présentant des affectations des charges de trafic selon des temporalités différentes. Pour chaque simulation, la congestion moyenne sur chaque branche des carrefours est calculée. Une moyenne globale des 10 simulations est ensuite réalisée pour chaque branche ;
- De même, les valeurs maximales représentent pour chaque branche la moyenne globale sur les 10 simulations des maximums de chaque simulation ;
- Une congestion est dite limitée si :
  - les longueurs de files moyennes sont faibles ;
  - Les congestions maximales ne se propagent pas aux autres carrefours, ou très rarement.

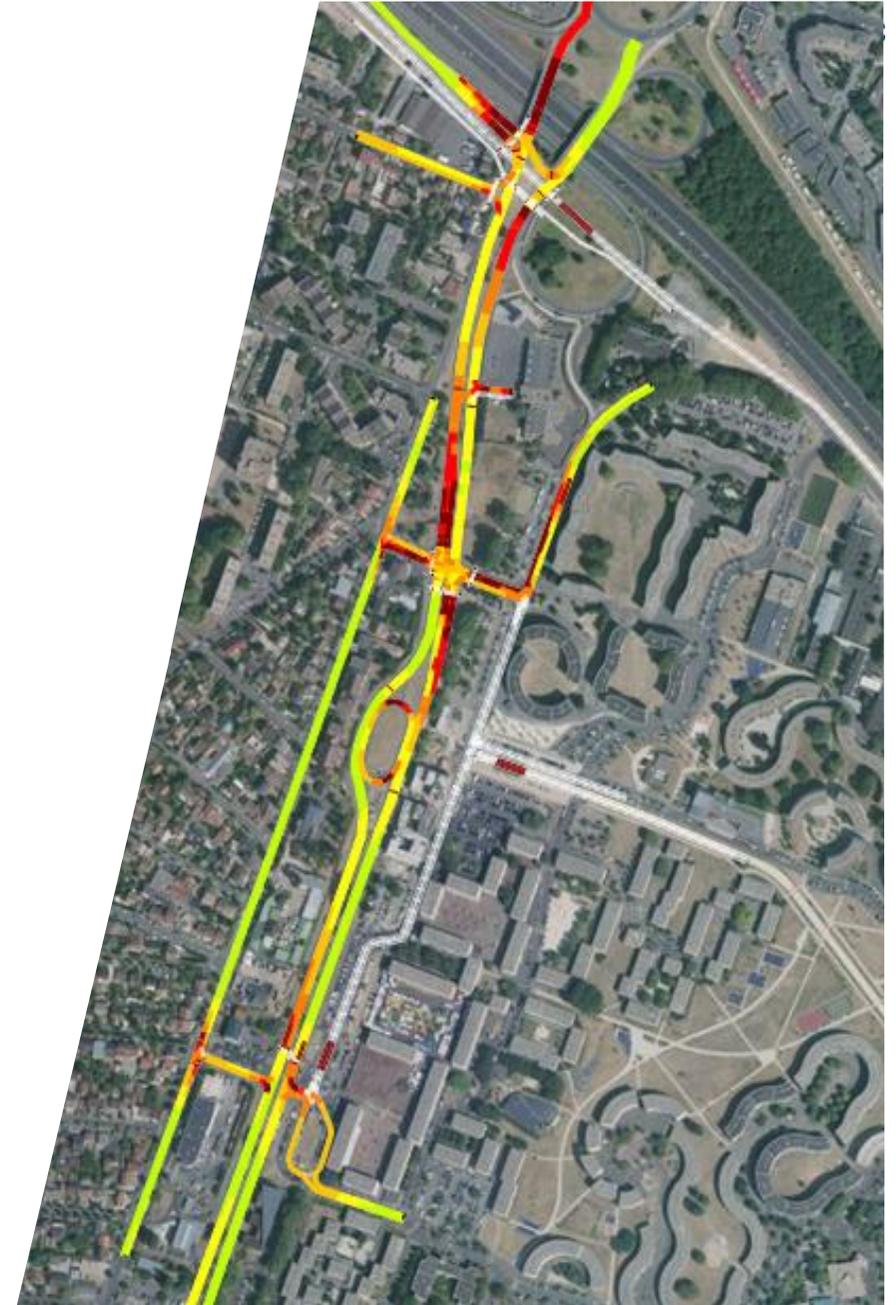


# Temps de parcours

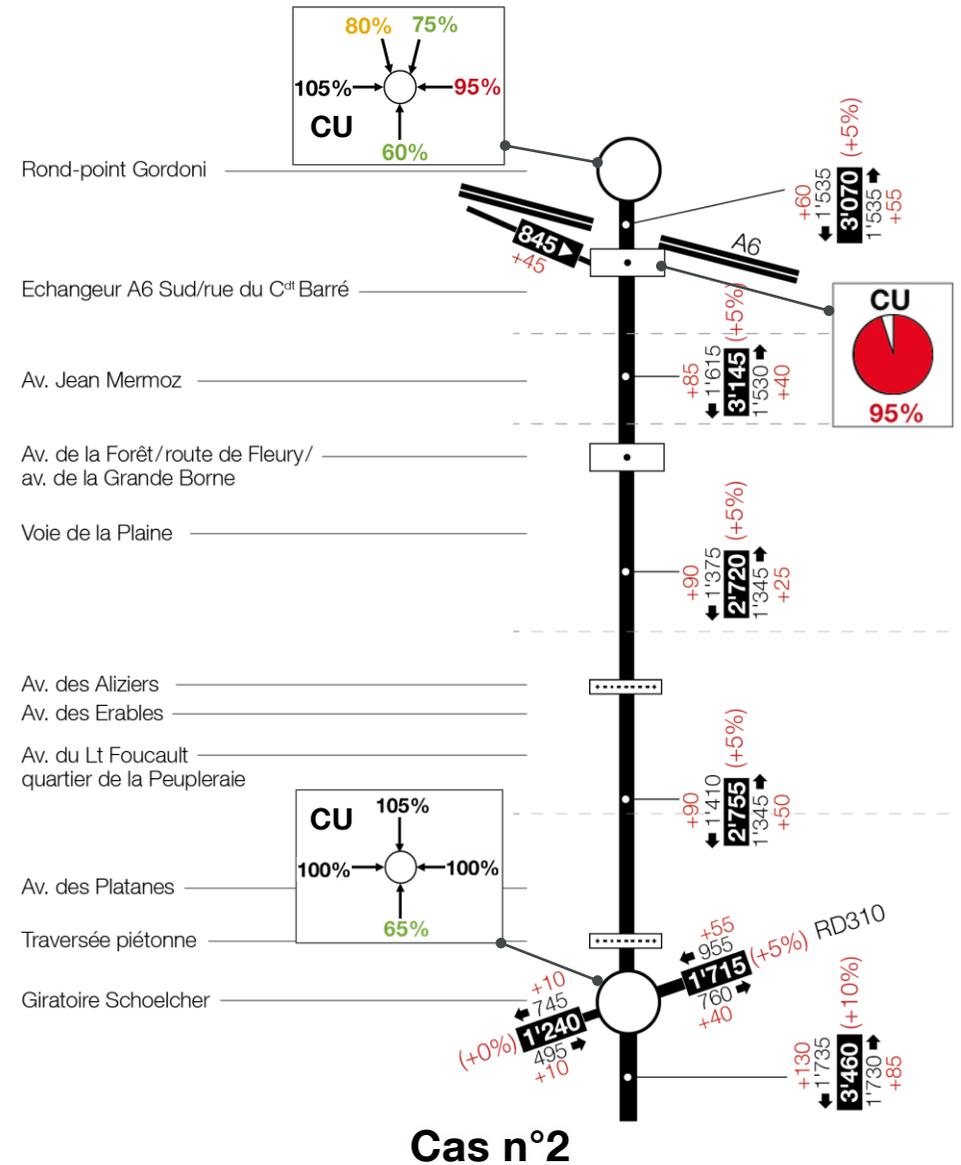
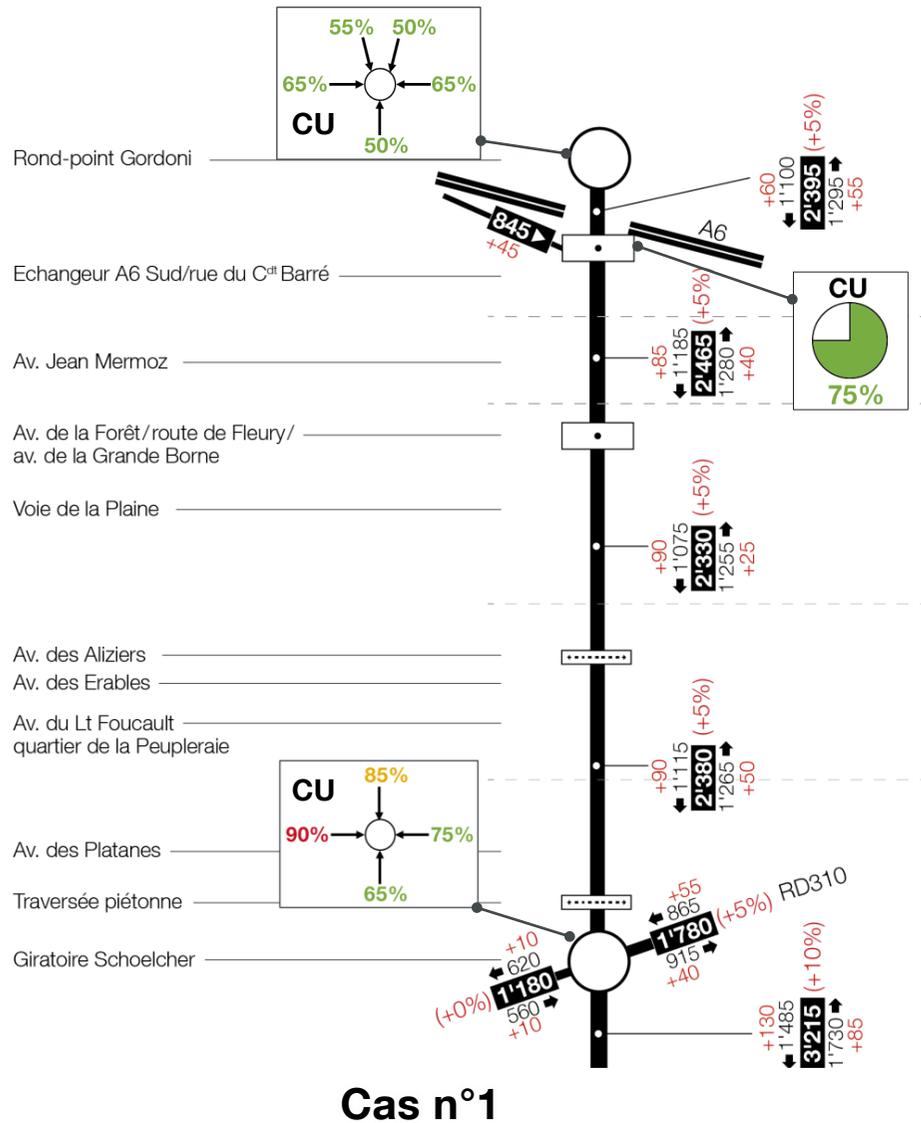
- Temps de parcours bus pour le ligne DM5, incluant 3 arrêts par sens (20s de temps d'arrêt moyen par station) ;
- Temps de parcours tous véhicules incluant les VL, PL et bus ;
- **Les temps de parcours de la ligne TZen ne tiennent pas compte de certaines** aléas n'ont pas été modélisés :
  - Le trafic sur la voie de la Grande Borne dans la situation de référence ;
  - Le trafic lors du retournement du TZEN (en situation de référence et projet).



# Simulation de l'état de référence



# Résultats statiques



# Fonctionnement global

- Pour les deux cas, l'ensemble de la demande automobile est satisfaite sur l'heure de pointe ;
- Le **cas de charge n°1** présente un **fonctionnement global correct**, sans congestion majeure et avec une demande qui s'écoule généralement en un cycle ;
- Le **cas de charge n°2** présente un **fonctionnement très dense** au niveau du carrefour du Fournil et du carrefour avec le T12.

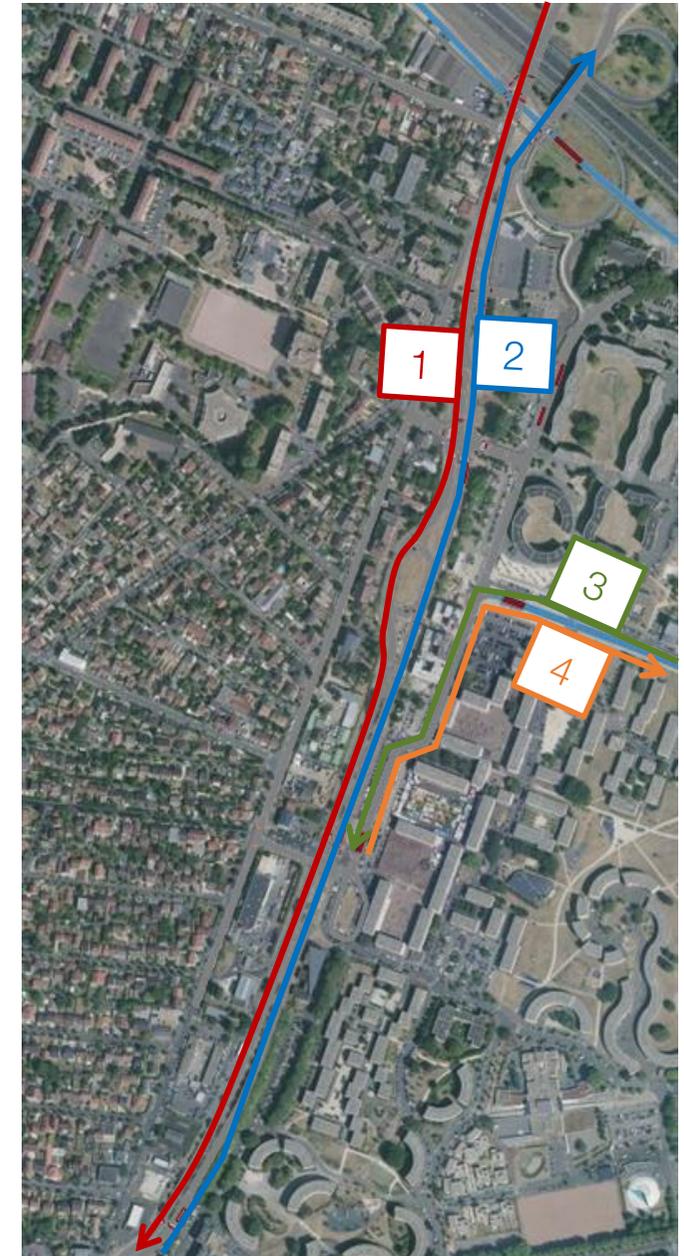


# Temps de parcours

- Entre les cas de charges 1 et 2, une augmentation du temps de parcours **Nord-Sud** de **+5% à +10 %** pour les bus et les voitures, correspondant à une augmentation de trafic plus importante ;
- Pas de variation du temps de parcours dans le sens **Sud-Nord** ;
- **Pas de variation du temps de parcours du TZen.**

Tous véhicules		Référence	
	Itinéraire	Temps de parcours (min)	Vitesse de parcours
Cas n°1	RD445 Nord vers Sud	02:50	31 km/h
	RD445 Sud vers Nord	02:33	34 km/h
Cas n° 2	RD445 Nord vers Sud	03:02	29 km/h
	RD445 Sud vers Nord	02:33	34 km/h

	TZen	Référence	
Cas n° 1	TZen vers le terminus	01:45	17 km/h
	TZen depuis le terminus	01:51	16 km/h
Cas n° 2	TZen vers le terminus	01:45	17 km/h
	TZen depuis le terminus	001:51	16 km/h



# Longueur de congestions



- Cas N°2 (défavorable) : des files d'attente sur la RD 445 en direction du Sud qui bloquent l'accès à la bretelle d'autoroute. Une congestion qui risque de s'amplifier et de se répandre en amont de Gordini ;
- Pas d'impact notable sur les autres axes.

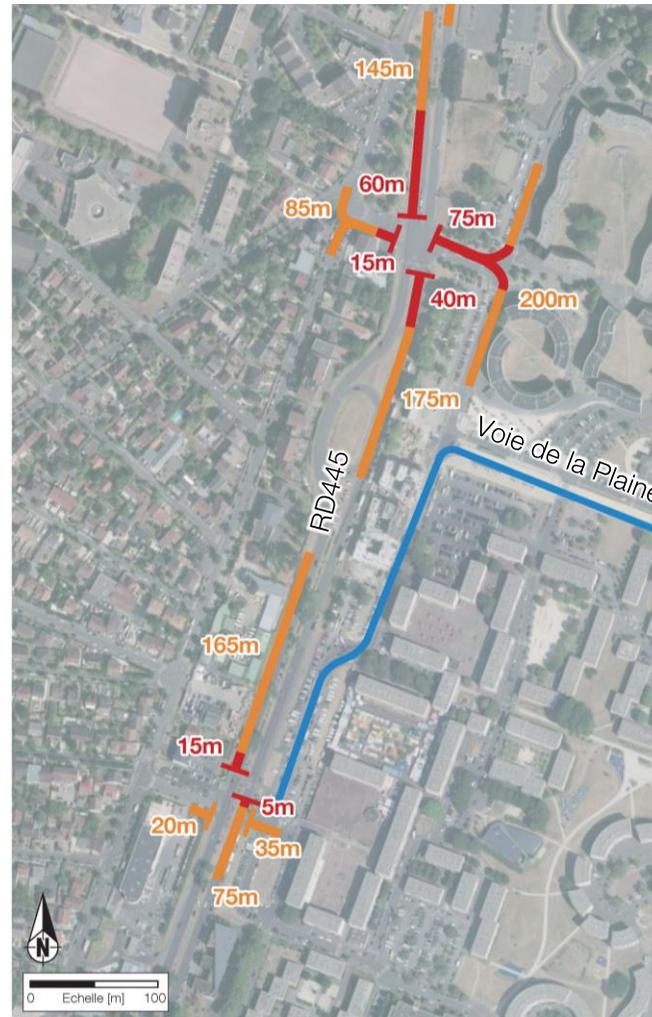
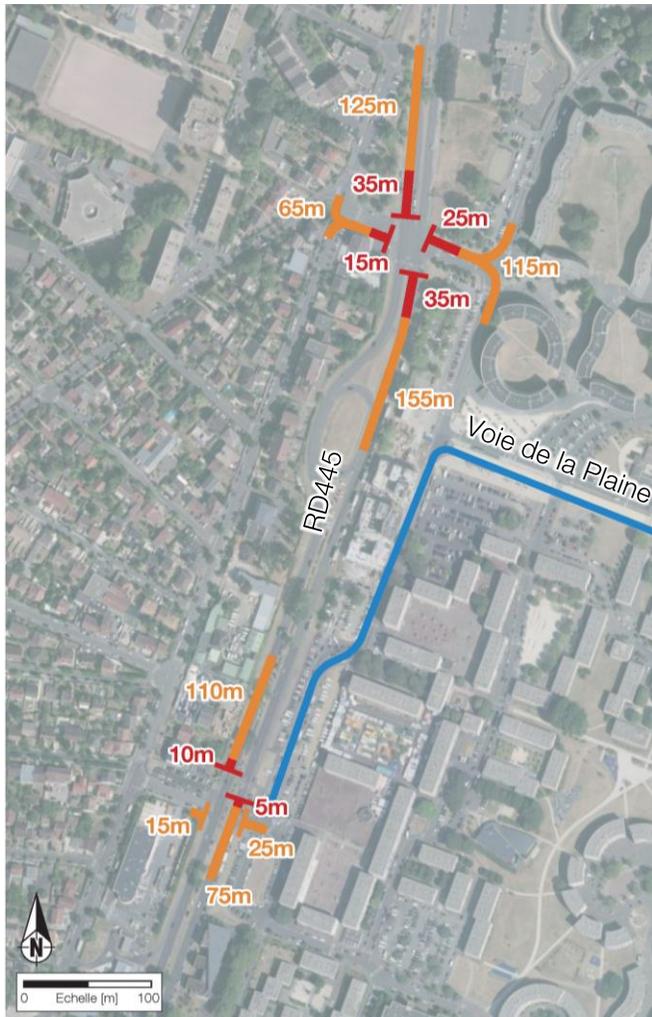
**Légende :**

- Longueur moyenne des congestions
- Longueur maximale des congestions
- Itinéraire du TZEN
- Point dur

# Fournil – La Treille

Situation de référence - Cas de charges favorables

Situation de référence - Cas de charges défavorables

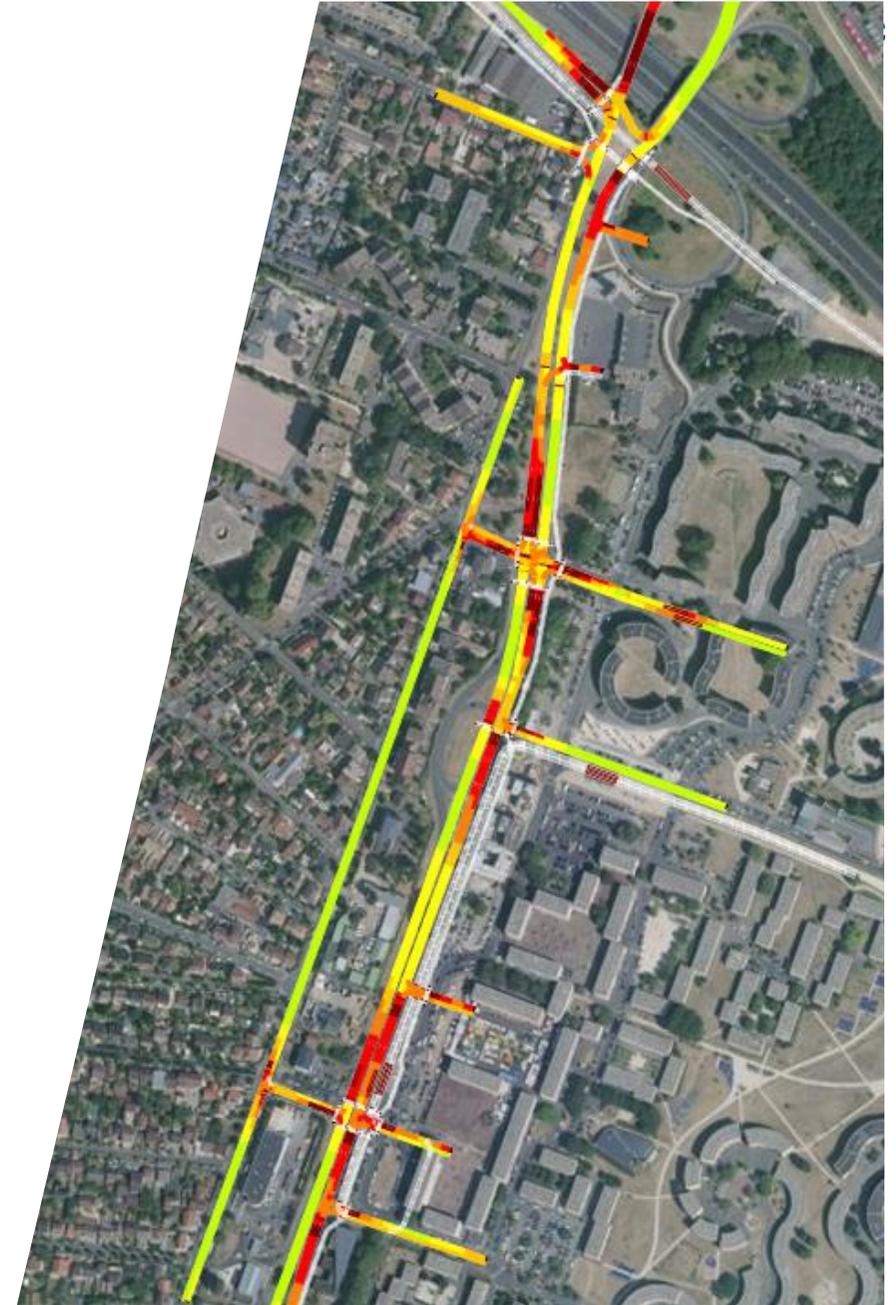


- Des remontées de files importantes sur la rue Toussaint l'Ouverture en raison d'un phasage non optimisé (4 phases) ;
- Un trafic qui s'écoule généralement en un cycle.

Légende :

- Longueur moyenne des congestions
- Longueur maximale des congestions
- Itinéraire du TZEN
- ⚠ Point dur

# Simulation – variante latérale



# Fonctionnement global

- La demande automobile est satisfaite à l'heure de pointe ;
- Hormis sur le carrefour T12, qui présente un fonctionnement très dense pour le cas de charges n°2, similaire à l'état de référence, pas de problème notable sur les carrefours ;
- Le fonctionnement du Fournil est amélioré par la modification du phasage ;
- Des temps de parcours augmentés pour les véhicules dans le sens Sud > Nord de 40 à 50 secondes (+30%) mais des vitesses moyennes restant au dessus des 25km/h ;
- Des congestions sur la RD445 n'impactant pas le trajet du TZEN.
- Des risques modérées de mésusage sur la plateforme, liés à la présence de commerces / du marché.

# Temps de parcours

- Entre le cas 1 et le cas 2, une différence de temps de parcours des véhicules de 5 à 10 % en Nord-Sud et de moins de 5 % en Sud-Nord ;
- **Une différence de temps de parcours Sud-Nord entre la situation de référence et le projet latéral entre 45 et 50s pour les 2 cas ;**
- Pas de différence de temps de parcours pour le trajet Nord Sud entre la situation de référence et le projet latéral ;
- Dans les 2 cas simulés, un temps de parcours du TZen sensiblement équivalent entre la situation de référence et la situation de projet, démontrant une bonne efficacité de la priorité aux feux.

Temps de parcours	Itinéraire	Référence	Projet latéral
Cas 1	TV - RD445 Nord vers Sud	02:50	02:51
	TV - RD445 Sud vers Nord	02:33	03:16
	TZen vers le terminus	01:45	01:41
	TZen depuis le terminus	01:51	01:44
Cas 2	TV - RD445 Nord vers Sud	03:02	03:03
	TV - RD445 Sud vers Nord	02:33	03:21
	TZen vers le terminus	01:45	01:41
	TZen depuis le terminus	01:51	01:44



# Carrefour T12 - RD445 - A6



- Une situation identique à l'état de référence.

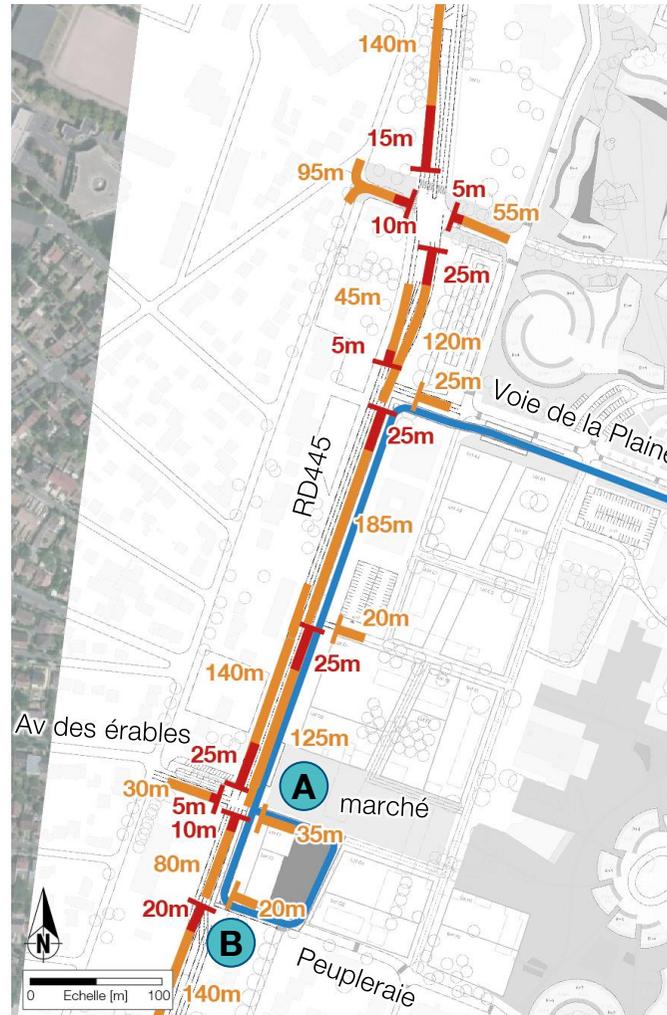
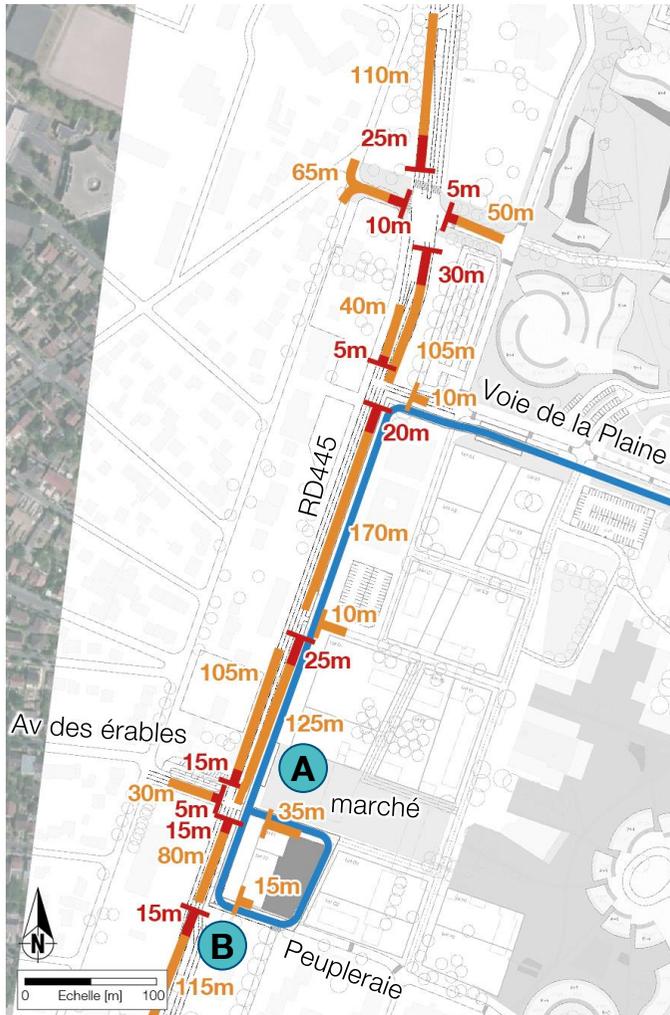
**Légende :**

- Longueur moyenne des congestions
- Longueur maximale des congestions
- Itinéraire du TZEN
- Point dur

# Fournil – La Treille

**Variante latérale - Cas de charges favorables**

**Variante latérale - Cas de charges défavorables**



- A** Dans les deux cas étudiés : au niveau des carrefours des Érables, et Peupleraie l'insertion d'un TZEN sur la RD445 crée des congestions qui peuvent s'accumuler et ponctuellement bloquer le carrefour au Sud ;
- B**



- A** Un fonctionnement à optimiser pour respecter la réglementation (traversées en deux fois, tout-droit autorisés ...).

**Légende :**

- Longueur moyenne des congestions
- Longueur maximale des congestions
- Itinéraire du TZEN
- Point dur

# Simulation – variante centrale



# Fonctionnement global

- Fonctionnement global correct, proche du fonctionnement de scénario latéral, malgré un temps de vert légèrement moins important sur la RD445 :
  - demande automobile satisfaite à l'heure de pointe ;
  - hormis sur le carrefour T12, qui présente un fonctionnement très dense pour le cas n°2, similaire à l'état de référence, pas de problème notable sur les carrefours ;
  - le fonctionnement du Fournil est amélioré par la modification du phasage ;
  - des temps de parcours augmentés pour les véhicules dans le sens Sud > Nord de 40 à 50 secondes (+30%) mais des vitesses moyennes restant au dessus des 25km/h ;
  - des congestions sur la RD445 n'impactant pas le trajet du TZEN ;
- Pas de risque de mésusage de la plateforme du TZEN ;
- Un risque très faible de perturbation du TZEN lors des traversées de la RD445, qui peut être maîtrisé par la mise en place de contrôle d'accès (stratégie de régulation) et de détecteurs de remontées de files (boucles, caméra ...)
  
- Un fonctionnement amélioré par rapport au latéral en terme de coordination inter-carrefours du fait de la diminution du nombre de carrefours à feux ;

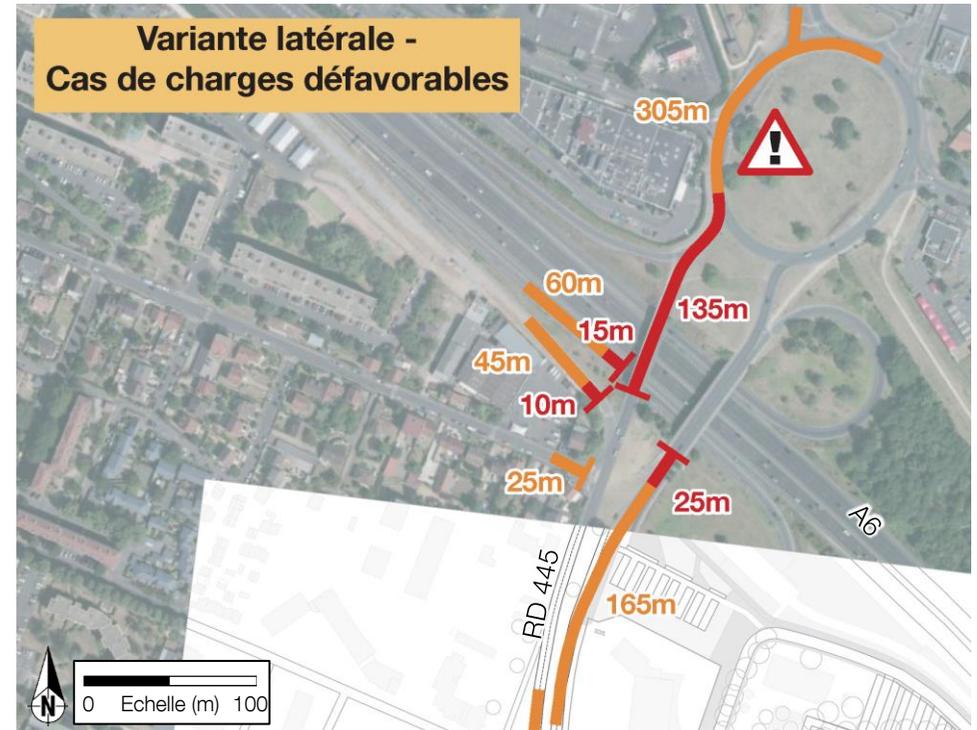
# Temps de parcours

- Entre le cas 1 et le cas 2, une différence de temps de parcours des véhicules entre 5 et 10 % en Nord-Sud et de moins de 5 % en Sud-Nord ;
- **Une augmentation du temps de parcours Sud-Nord entre la situation de référence et le projet central de 45-50s soit 30% pour les 2 cas ;**
- Une augmentation du temps de temps de parcours pour le trajet Nord-Sud entre la situation de référence et le projet latéral 15s soit 10% dans les 2 cas ;
- Dans les 2 cas simulés, des temps de parcours du TZen réduit de 5% entre la situation de référence et la situation de projet : bonne efficacité de la priorité aux feux.

Temps de parcours	Itinéraire	Référence	Projet central
Cas 1	TV - RD445 Nord vers Sud	00:02:50	00:03:03
	TV- RD445 Sud vers Nord	00:02:33	00:03:16
	TZen vers le terminus	00:01:45	00:01:38
	TZen depuis le terminus	00:01:51	00:01:44
Cas 2	TV - RD445 Nord vers Sud	00:03:02	00:03:17
	TV- RD445 Sud vers Nord	00:02:33	00:03:21
	TZen vers le terminus	00:01:45	00:01:38
	TZen depuis le terminus	00:01:51	00:01:44



# Carrefour T12 - RD445 - A6



- Une situation semblable à l'état de référence.

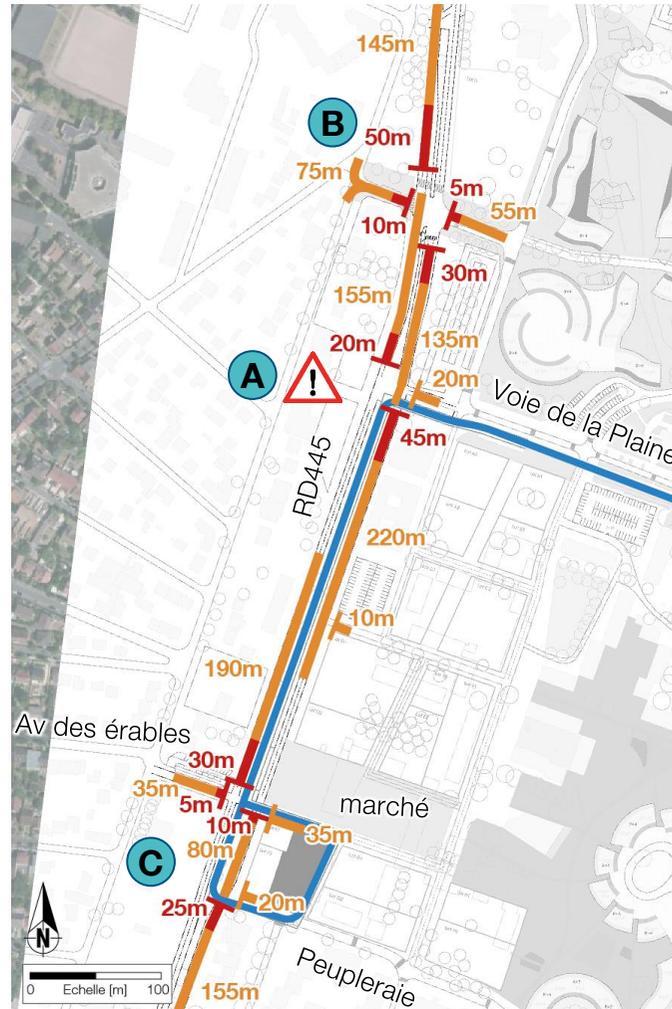
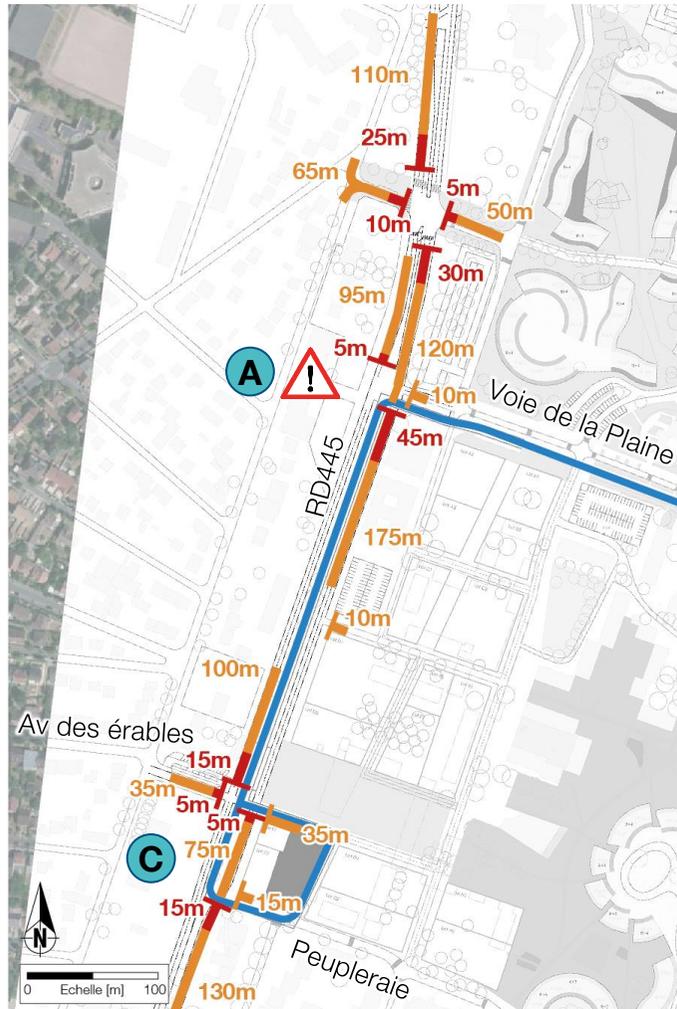
**Légende :**

- Longueur moyenne des congestions
- Longueur maximale des congestions
- Itinéraire du TZEN
- Point dur

# Fournil – la Treille

**Variante centrale -  
Cas de charges favorables**

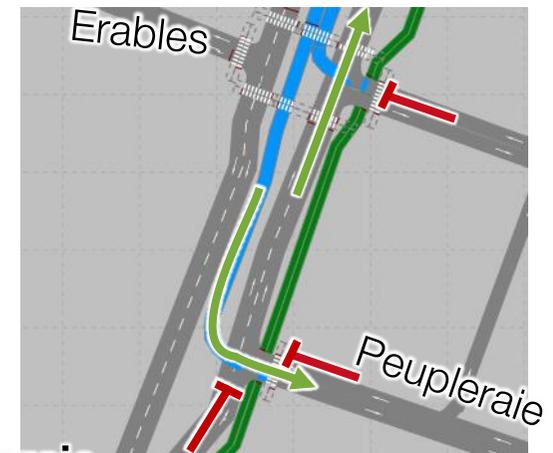
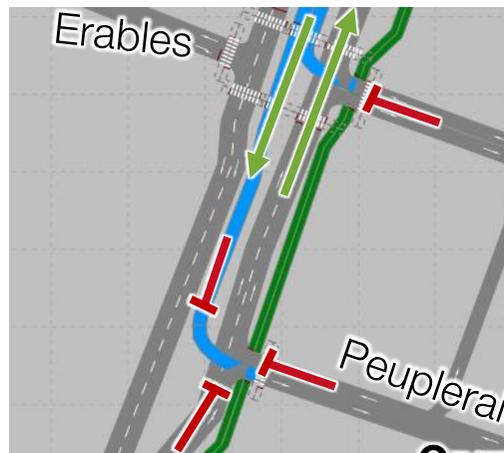
**Variante centrale -  
Cas de charges défavorables**



- A** Dans les deux cas étudiés, des files d'attente du carrefour du Fournil qui peuvent remonter très ponctuellement jusqu'au carrefour de la Plaine. Ces remontées de files ne bloquent pas passage du TZEN grâce à la coordination ;
- B** Dans le cas n°2 : Des ruptures de la synchronisation des feux créant très ponctuellement des remontées de files se répercutant sur le carrefour du Fournil.
- C** Dans les deux cas étudiés : au niveau du carrefour de la Peupleraie, l'insertion d'un TZEN sur la RD445 crée des congestions. La coordination permet d'éviter les impacts sur le passage du TZEN (aucun blocage observé).

# Risque de blocage du TZEN 4

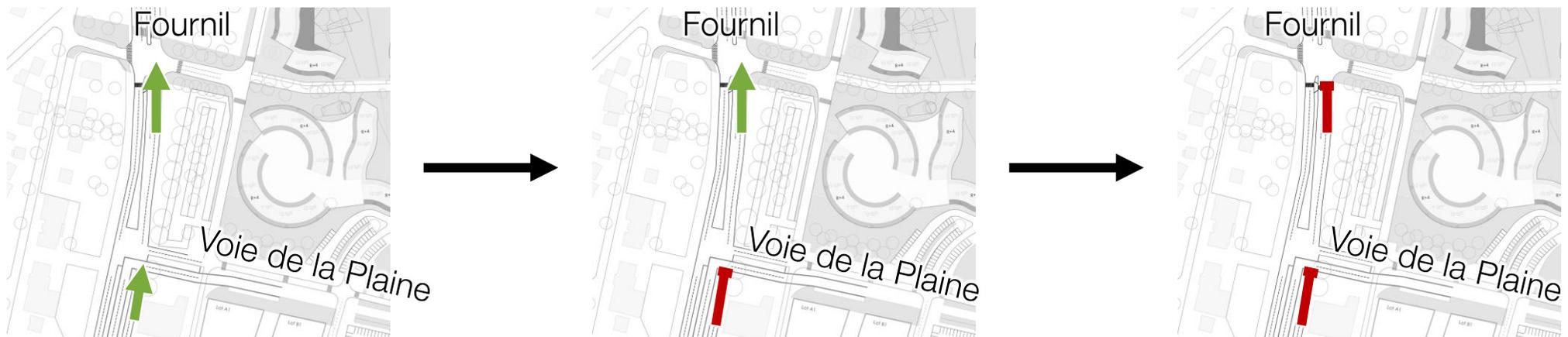
- Le blocage du Tzen dans les simulations n'a pas été observé : il est donc extrêmement limité.
- Il pourrait toutefois arriver en situation réelle dans le cas de congestions exceptionnelles (accident, travaux avec déviation ...)
- Quels sont les risques sur les traversées ?
  - Le carrefour voie de la Plaine, par sa proximité avec le carrefour du Fournil, est celui présentant le plus de risque. Du fait de la coordination, le sas de stockage entre les 2 carrefours est rarement plein, et se vide rapidement. Le TZen passe durant la phase antagoniste, et bloque donc le flux de la RD445, ce qui limite encore le risque de remplissage de ce sas.
  - Carrefour Peupleraie : le risque est très faible, car la coordination permet au TZen de traverser la plateforme une fois le sas vidé
  - Carrefour des Erables : le risque est très faible sur ce carrefour, le carrefour le plus en aval étant à 300m.



# Risque de blocage du TZEN 4

## Des solutions pour limiter ce risque :

- Gérer le carrefour Peupleraie et le carrefour du T12 comme des contrôles d'accès des flux automobiles. La mise en place de cette stratégie de régulation et de gestion des files d'attente permet d'éviter la formation de congestion importante sur l'axe et donc de potentiels phénomènes de blocage du TZEN.
- Travailler la coordination des carrefours, notamment entre le Fournil et la voie de la Plaine, afin que le sas entre les deux carrefours se vide. Il est notamment envisageable de donner un temps de vert supérieur au niveau du Fournil (cf. schéma ci-dessous)
- Mettre en place des capteurs pour détecter les remontées de files. En cas de files trop importantes, le fonctionnement du carrefour est adapté pour limiter la congestion.



# Bilan

# Temps de parcours du TZEN

Temps de parcours TV	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	TZen vers le terminus	01:45	01:41	01:38
	TZen depuis le terminus	01:51	01:44	01:45
Cas 2	TZen vers le terminus	01:45	01:41	01:38
	TZen depuis le terminus	01:51	01:44	01:45

Vitesse	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	TZen vers le terminus	17 km/h	17 km/h	18 km/h
	TZen depuis le terminus	16 km/h	17 km/h	17 km/h
Cas 2	TZen vers le terminus	17 km/h	17 km/h	18 km/h
	TZen depuis le terminus	16 km/h	17 km/h	17 km/h

- La situation de référence ne tient pas compte des conditions de circulation sur l’avenue de la Grande Borne ;
- Dans les 2 situations simulées, le projet, quelle que soit la variante choisie, améliore légèrement le temps de parcours du TZEN.

# Temps de parcours automobile et PL

Temps de parcours TV	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	RD445 Nord vers Sud	02:50	02:51	03:03
	RD445 Sud vers Nord	02:33	03:16	03:16
Cas 2	RD445 Nord vers Sud	03:02	03:03	03:17
	RD445 Sud vers Nord	02:33	03:21	03:21

Vitesse	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	RD445 Nord vers Sud	31 km/h	31 km/h	29 km/h
	RD445 Sud vers Nord	34 km/h	27 km/h	27 km/h
Cas 2	RD445 Nord vers Sud	29 km/h	29 km/h	26 km/h
	RD445 Sud vers Nord	34 km/h	26 km/h	26 km/h

- Entre le cas 1 et le cas 2, une augmentation du temps de parcours de 5 à 10 % dans le sens Nord-Sud et de moins de 5 % dans le sens Sud-Nord ;
- Dans les 2 cas simulés :
  - Un temps de parcours allongé de 45 à 50s entre l'état de référence et les projets latéral et central dans le sens Sud-Nord pour tous les véhicules soit +30 % ;
  - De faibles variations du temps de parcours entre l'état de référence et les projets latéral et central dans le sens Nord-Sud pour tous les véhicules (-+0% en latéral, +10% en central).

# Temps de parcours bus (DM5)

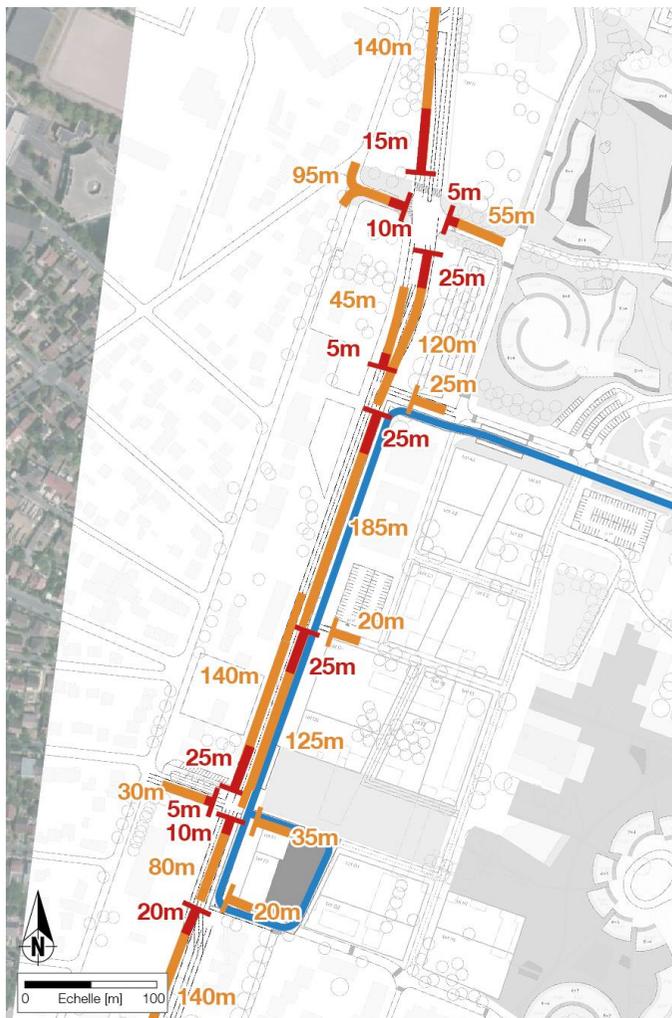
Temps de parcours bus	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	RD445 Nord vers Sud	04:41	04:39	04:50
	RD445 Sud vers Nord	00:03:43	04:26	04:27
Cas 2	RD445 Nord vers Sud	04:59	04:48	04:55
	RD445 Sud vers Nord	03:44	04:33	04:33

Vitesse de parcours bus	Itinéraire	Référence	Projet latéral	Projet central
Cas 1	RD445 Nord vers Sud	19 km/h	19 km/h	18 km/h
	RD445 Sud vers Nord	23 km/h	20 km/h	20 km/h
Cas 2	RD445 Nord vers Sud	18 km/h	18 km/h	18 km/h
	RD445 Sud vers Nord	23 km/h	19 km/h	19 km/h

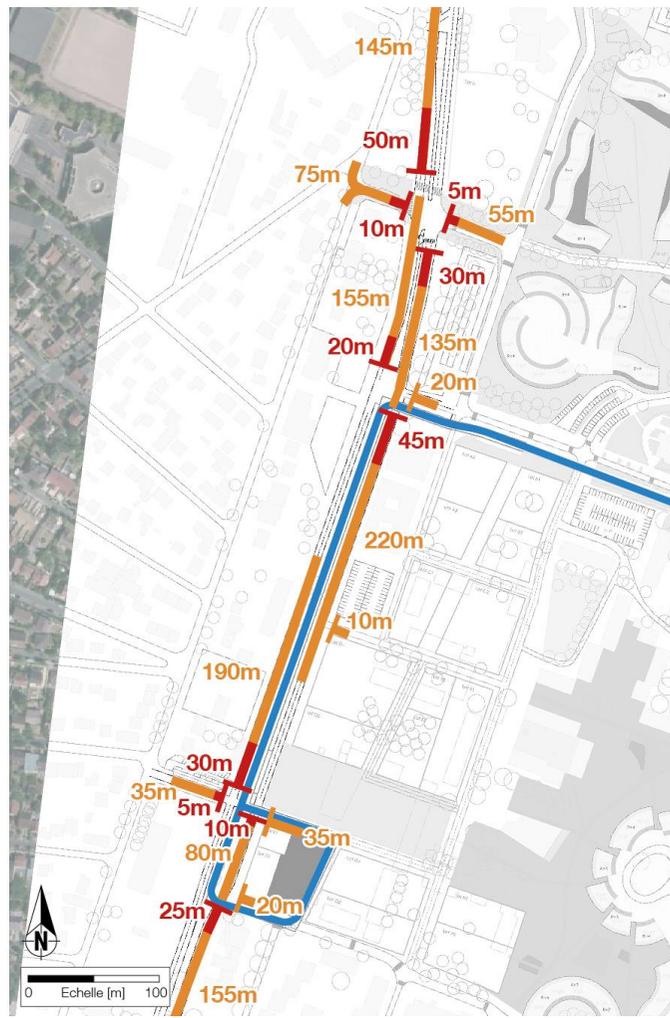
- Entre le cas 1 et le cas 2, une augmentation du temps de parcours de 5 % dans le sens Nord-Sud et de moins de 5 % dans le sens Sud-Nord ;
- Dans la cas 1, dans le sens Nord-Sud, un temps de parcours bus qui reste stable en latéral mais qui se dégrade légèrement en central +10s. Dans le cas 2, une légère amélioration du temps de parcours -10s en latéral, un temps de parcours qui reste stable en central ;
- Dans les 2 cas, une augmentation du temps de parcours dans le sens Sud-Nord de 45-50s (soit +20%) entre la situation de référence et les projets. Une circulation des bus sur le site propre du TZEN améliorerait probablement leurs performances mais n'est à ce stade pas recommandé car cela impliquerait :
  - Une complexification de la gestion des feux ;
  - Des difficultés d'insertion pour les bus lors de l'entrée et de la sortie en lien avec le site propre ;
  - Une augmentation du nombre de phases de vert sur le site propre détériorant les conditions de trafic sur la RD445 et les voies de piquages.

# Remontées de files et fonctionnement

**Variante latérale -  
Cas de charges défavorables**



**Variante centrale -  
Cas de charges défavorables**



- Fonctionnement global correct hormis sur le carrefour T12 très dense ;
- Variante centrale :
  - un fonctionnement légèrement amélioré par rapport au latéral en terme de coordination inter-carrefours ;
  - légère hausse des congestion vers le Nord ;
- Variante latérale :
  - quelques congestions qui peuvent s'accumuler et ponctuellement bloquer le carrefour au Sud.

# Performance automobile, PL et bus

## Un fonctionnement correct quel que soit le scénario

- Les 2 scénarios modélisés présentent des conditions de circulation correctes, avec une densité de circulation très importante dans le cas 2 sans lien avec le projet, au niveau du carrefour T12-A6-RD445. Cependant, **toute la demande est écoulée** ;
- Sur la RD445, **une dégradation des temps de parcours** par rapport à la situation de référence apparaît **en direction du nord** (+50s en moyenne), du fait du projet de transformation de la RD en boulevard urbain, qui augmente le nombre de carrefours à feux (et ce quelle que soit la variante). Vers le sud, la différence est négligeable ;
- Dans le cas 2, en situation centrale, un risque de remontée de file jusqu'aux carrefours du Fournil dans les situations les plus défavorables mais se résorbant rapidement ;
- Dans le cadre du scénario central, **la présence d'un carrefour non régulé** en tourne-à-droite (carrefour nord de la place de la Quinconce) **ne pose pas de problèmes particuliers** en termes de fluidité, et ne devrait pas poser davantage de problèmes de sécurité que la situation actuelle (carrefour RD445 / Erables géré de cette manière aujourd'hui).

# Performance TZen

- Des différences à la marge entre les scénarios latéral et central : les 2 scénarios étudiés présentent des performances très similaires pour le TZen ;

## Variante latérale

- Le scénario latéral oblige **l'implantation d'un carrefour à feux supplémentaire**, ce qui perturbe davantage la coordination des feux sur la RD445 vers le nord. Des congestions peuvent ponctuellement remplir les sas entre intersections sur la partie sud du réseau ;

## Variante centrale

- **Les fonctionnements des feux sont plus simples dans le cas du scénario central**, avec la possibilité de gérer les cycles sans phase spécifique TZen, mais obligent à donner un temps de vert plus important pour les traversées piétonnes de la RD445 (6 voies + 2 ilots à traverser en une seule fois) ;
- Les simulations montrent qu'il n'y a pas de risque de blocage du TZEN en cas de congestion sur la RD445, malgré les croisements avec la RD445 ;
- La suppression d'un carrefour à feux dans le scénario central permet également de limiter le coût d'aménagement et d'entretien du matériel.

# Analyse multicritère

Variante	Référence	Latérale	Centrale
<b>Performance circulation automobile</b>	Sens S-N 02:35 34 km/h	Sens S-N 26-27km/h, +50s, +30 % 4 carrefours à feux	Sens S-N 26-27km/h, +50s, +30 % 3 carrefours à feux
	Sens N-S 02:50-03:00 29-31km/h	Sens N-S : 29-31km/h, +0s, 0%	Sens N-S 26-27km/h, +15s, +10 %
<b>Performance Bus</b>	Sens S-N 00:03:45 23km/h	Sens S-N 19km/h, +50 s, +20%	Sens S-N Bus : 19km/h, +50 s, +20%
	Sens N-S 04:40 - 05:00 18-19km/h	Sens N-S 18-19km/h, -10s, -5 %	Sens N-S 18-19km/h, -5s, 0%
<b>Performance TZEN 4</b>	TZen subissant les aléas de la circulation sur l'avenue de la Grande Borne	Temps de parcours performant en situation normale. Risque de stationnement sauvage sur voie bus si présence de commerces / à proximité du marché. Possibilité d'atténuation par un contrôle d'accès au site propre mais pouvant impacter la performance du TZEN	Temps de parcours performant. Risque de blocage du TZEN extrêmement faible lors des traversées de la RD445. Un travail à faire sur la stratégie de régulation de l'axe (gestion des files)

Merci pour votre attention.



TRANSITEC Ingénieurs-Conseils

28, rue Sainte Foy · F-75002 PARIS

T +33 (0)1 43 48 36 59 · F +33 (0)4 72 37 88 59

paris@transitec.net · www.transitec.net



# Annexes

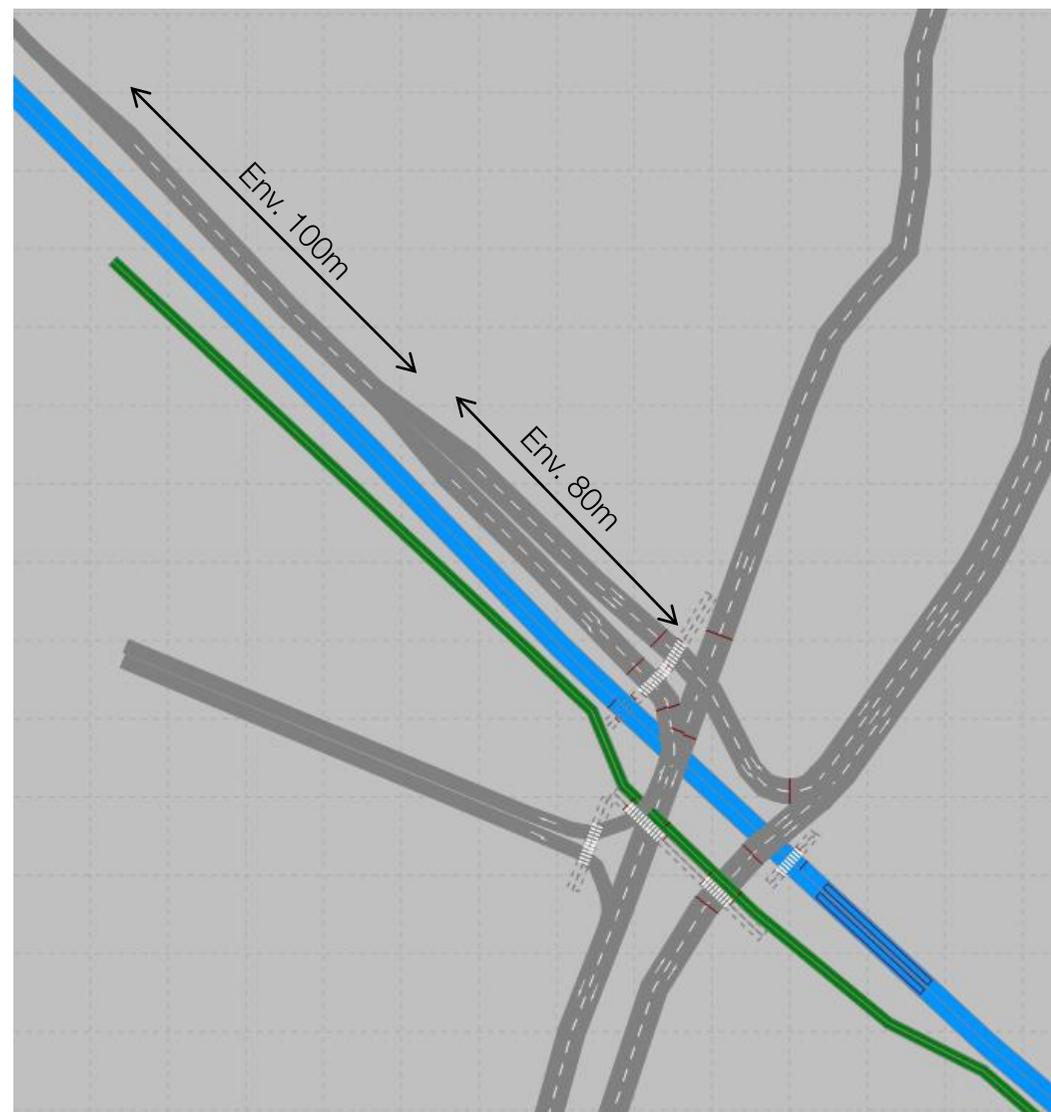
# Annexes

## Détails de la simulation - Réseau modélisé situation de référence

# Réseau modélisé

## Carrefour tramway

- Regroupement des bretelles depuis l'autoroute sur une seule branche vers le sud ;
- Ajout de la ligne de tramway et d'une station côté sud-est de l'intersection ;
- Ajout d'une voie verte le long du tramway ;
- Accès et sortie de la rue du Commandant Barré uniquement en tourne-à-droite.

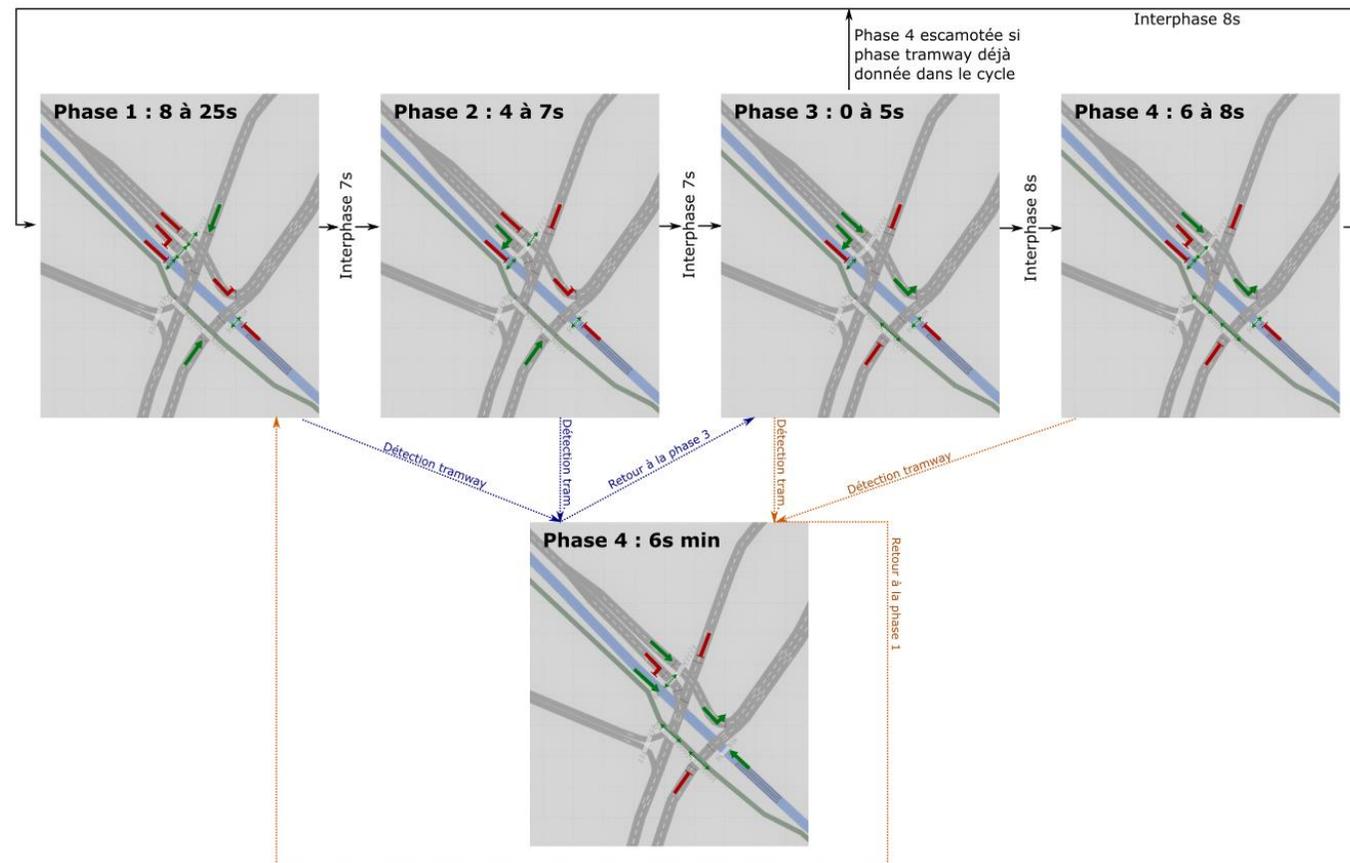


# Réseau modélisé

## Carrefour tramway

### ■ Fonctionnement des feux :

- Priorité absolue au tramway ;
- Cycle de 85s max sans tramway (+10s par rapport aux dossiers de fonctionnement fournis)
- Microrégulation sur les phases 1 à 4 pour s'adapter aux conditions de trafic ;
- Durées des phases réadaptées face aux nouvelles données de trafic.



# Réseau modélisé

## Carrefour SDIS

- Configuration actuelle ;
- Activation de la phase SDIS uniquement sur demande en sortie (sortie possible en tourne-à-gauche ou en tourne-à-droite).

## Carrefour Fournil

- Configuration actuelle ;
- 2 voies + 1 voie de tourne-à-gauche vers le nord et vers le sud ;
- 2 voies sur la rue Toussaint l'Ouverture en entrée de carrefour, 1 voie en sortie.

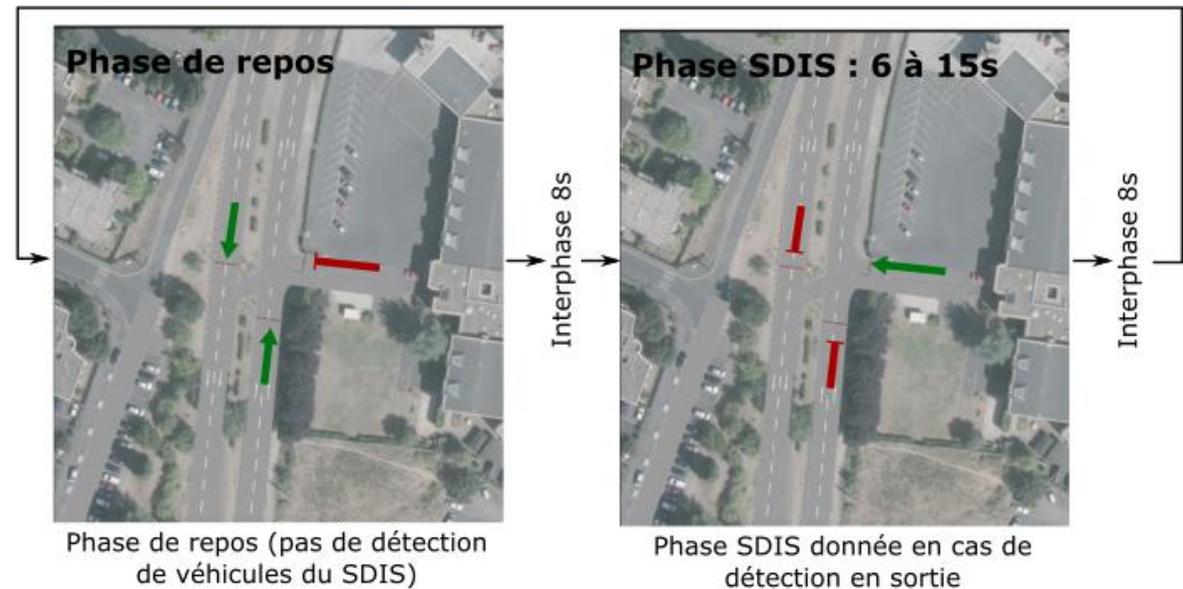


# Réseau modélisé

## Carrefour SDIS

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Phase SDIS activée sur demande en sortie de caserne.

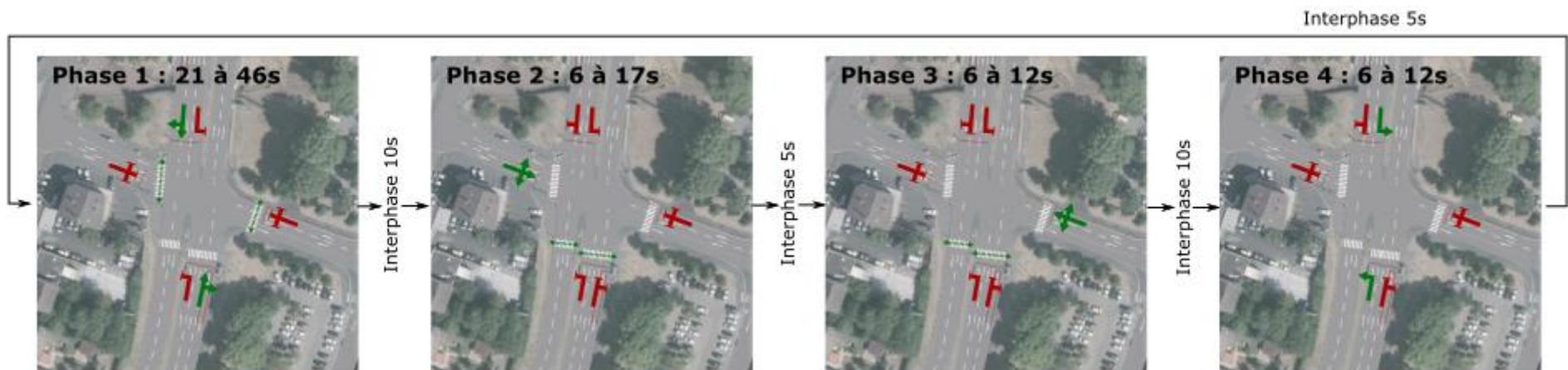


# Réseau modélisé

## Carrefour Fournil

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle de 117s ;
- Durée des phases adaptatives, pouvant être raccourcies s'il n'y a plus de demande.



# Réseau modélisé

## Carrefour piéton et RD445/Erables

- Configuration actuelle ;
- Phase piétonne donnée sur demande ;
- Carrefour avec l'avenue des Erables non régulé, seuls les tourne-à-droite sont autorisés.

## Carrefour piéton sud

- Configuration actuelle :
- Phase piétonne donnée sur demande.

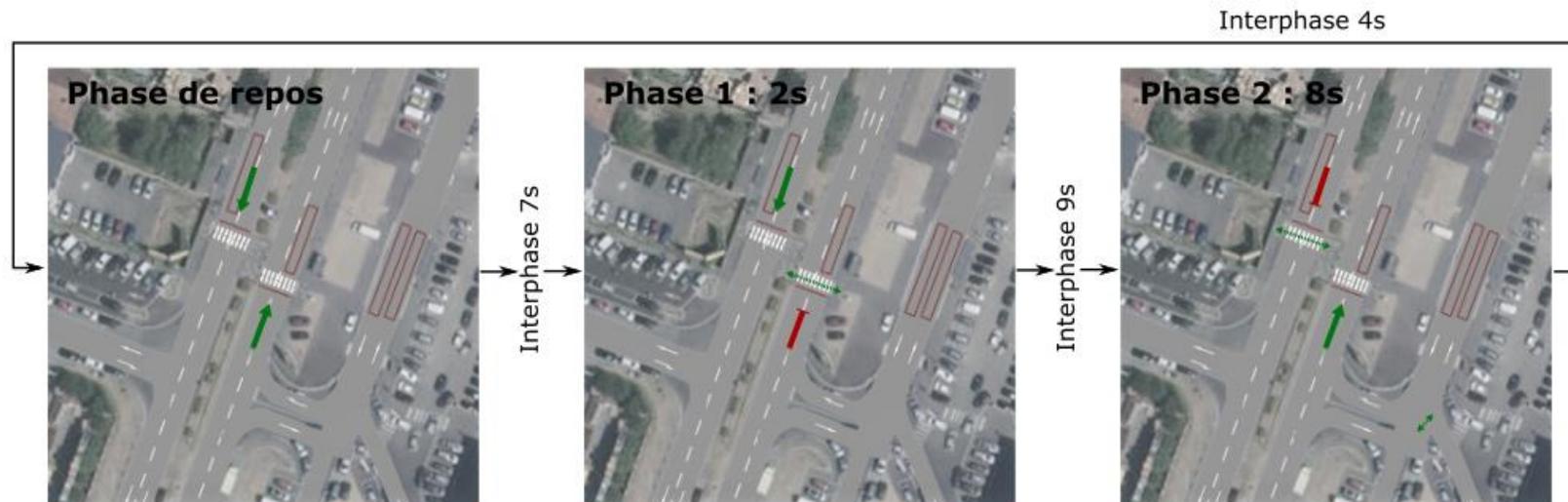


# Réseau modélisé

## Carrefour piéton et RD445/Erables

### ■ Fonctionnement des feux :

- Phase piétonne donnée sur demande ;
- Découpage en 2 phases piétonnes distinctes, données l'une après l'autre ;
- Avenue des Erables non intégrée dans le carrefour à feux.

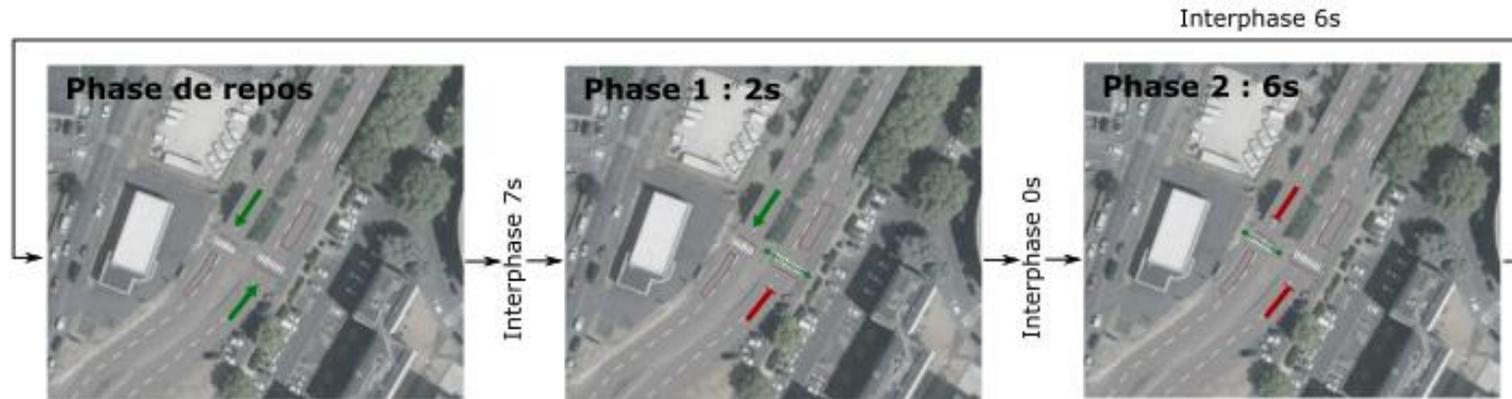


# Réseau modélisé

## Carrefour piéton sud

### ■ Fonctionnement des feux :

- Phase piétonne donnée sur demande
- Découpage en 2 phases piétonnes distinctes, données l'une après l'autre



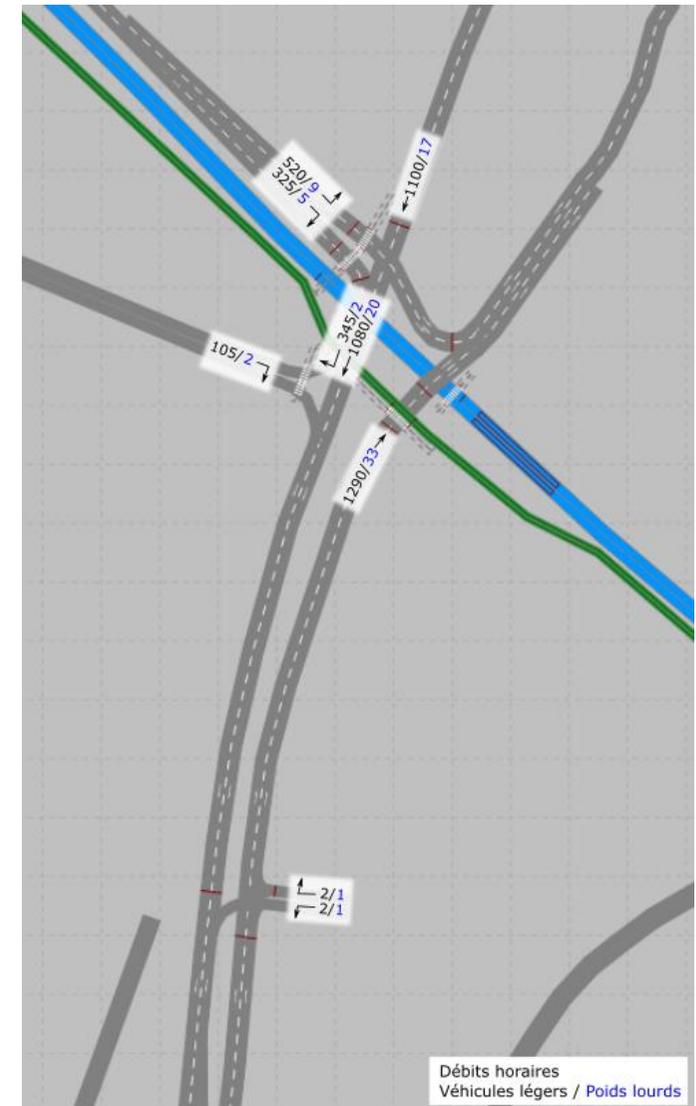
# Annexes

## Détails de la simulation – Charges de trafic situation de référence – Cas de charges n°1

# Charges de trafic HPS – situation de référence

## Secteur nord

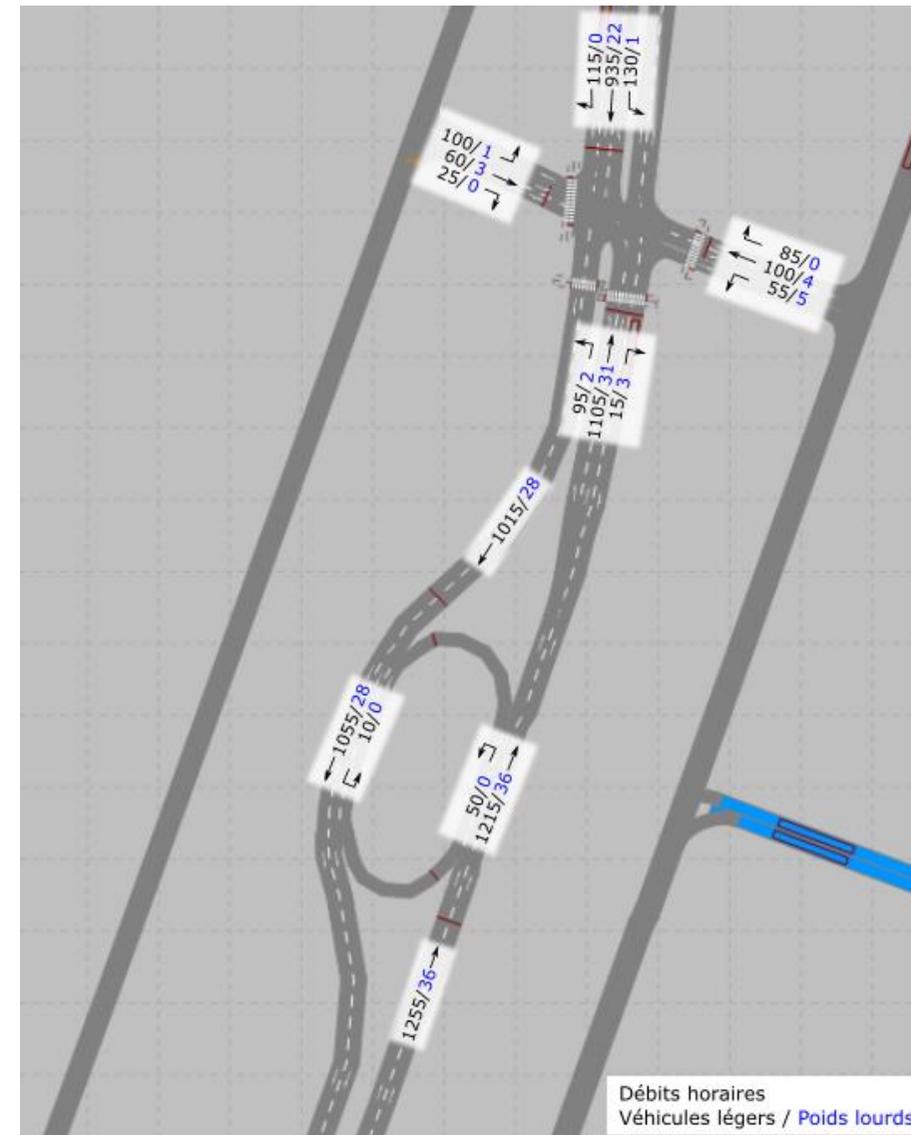
- Forte demande sur la RD445 vers le nord et vers le sud (1100 à 1300 véh/h)
- Plus de 800 véh/h sortant de l'autoroute, se dirigeant majoritairement vers le nord
- 2 à 3% de poids-lourds environ sur la RD445
- 4 sorties par heures du SDIS, dont 2 vers le nord et 2 vers le sud et la moitié de PL.
- 100 piétons par heure injectés sur chaque traversée piétonne du tramway, et 200 vélos/h sur la voie verte longeant le tramway



# Charges de trafic HPS – situation de référence

## Secteur central

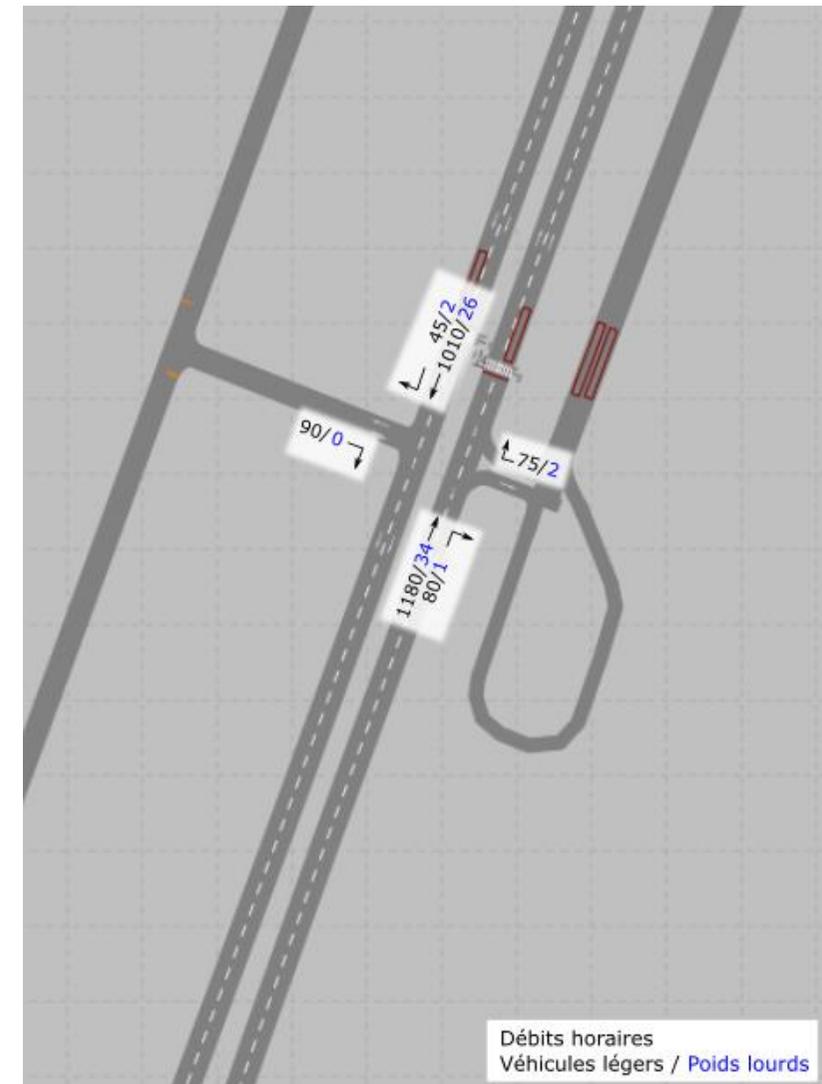
- Tourne-à-gauche vers la rue Toussaint l'Ouverture de 100 à 130 véh/h depuis la RD445.
- Fréquentation limitée sur Toussaint l'Ouverture Est ou Ouest (moins de 250 véh/h par sens)
- Demi-tours sur le giratoire central limités vers le nord, un peu plus conséquents vers le sud, mais représentant moins de 50 véh/h
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne



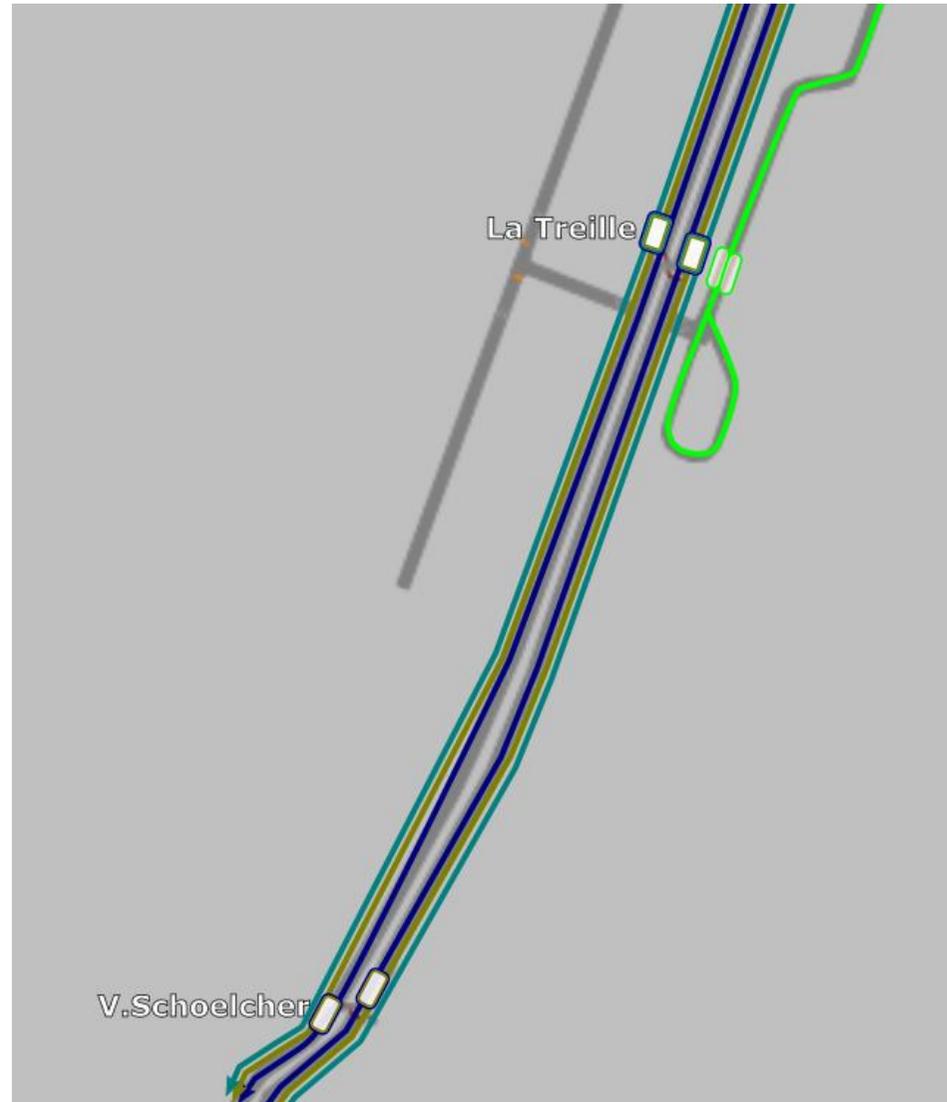
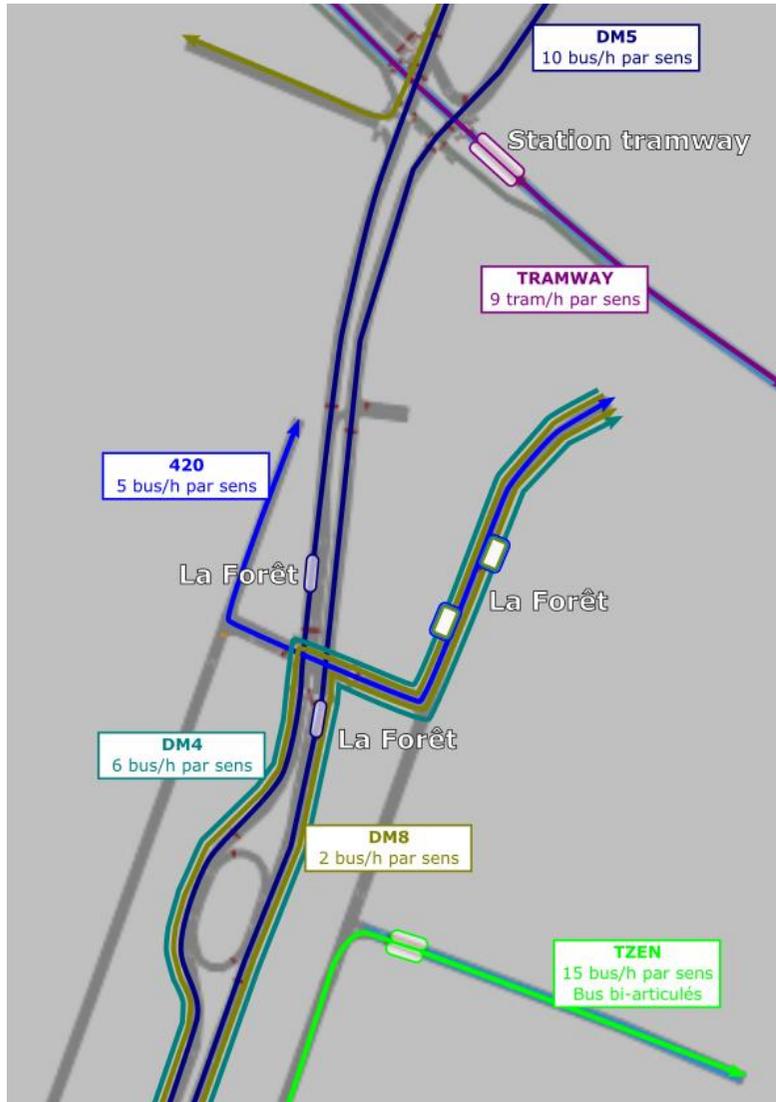
# Charges de trafic HPS – situation de référence

## Secteur sud

- Tourne-à-droite limités sur le carrefours (moins de 100 véh/h)
- Toujours plus de 1000 véh/h et par sens sur la RD445
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne sur demande, soit une demande toutes les 2 minutes sur les traversées à feux



# Transports en commun – situation de référence



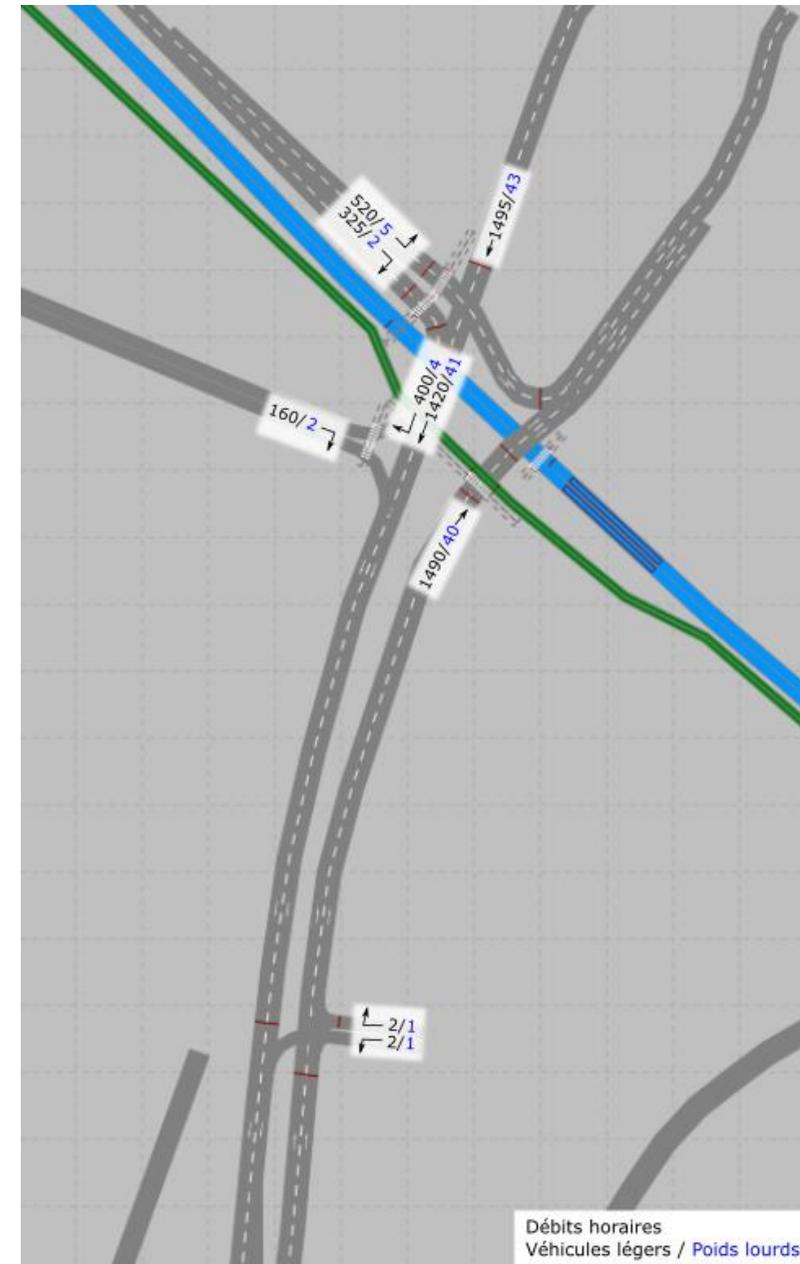
# Annexes

## Détails de la simulation – Charges de trafic situation de référence – Cas de charges n°2

# Charges de trafic HPS – situation

## Secteur nord

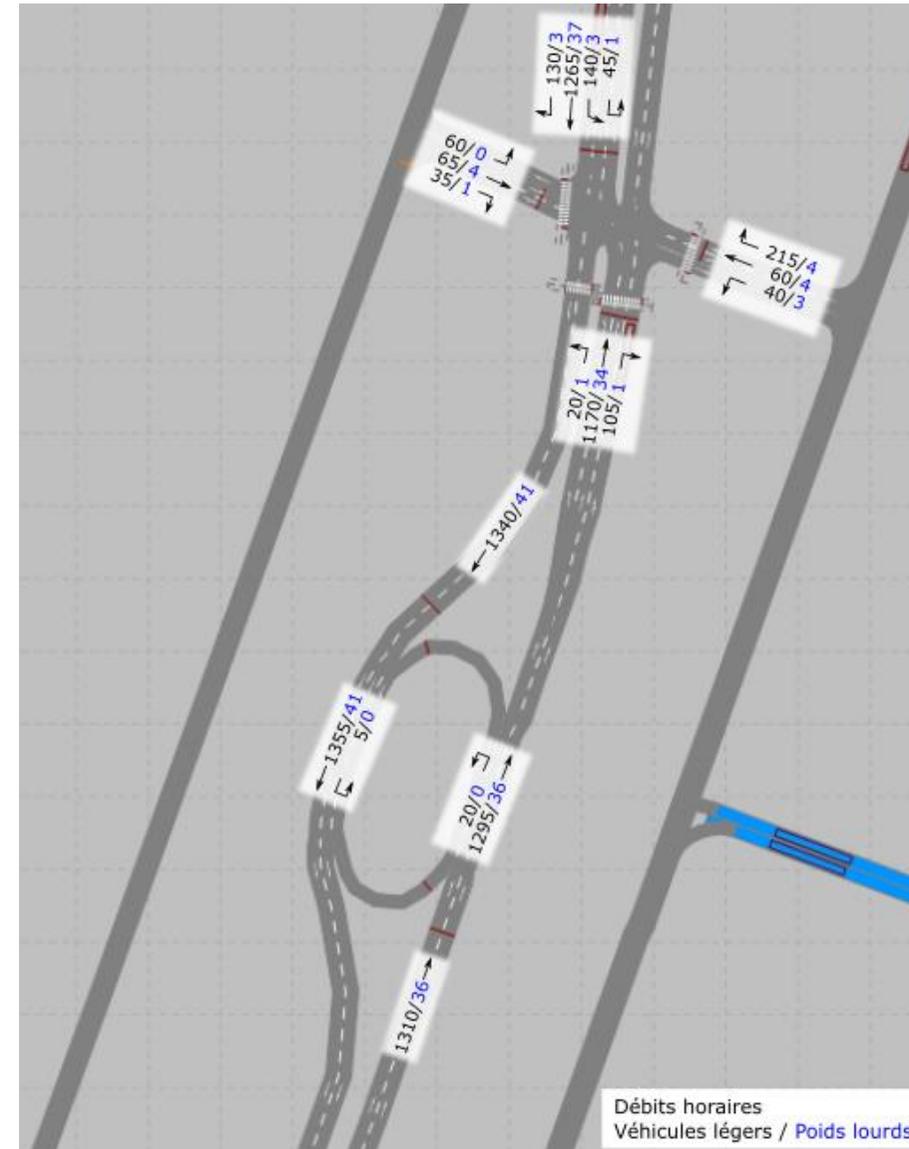
- Forte demande sur la RD445 vers le nord et vers le sud (près de 1500 véh/h)
- Plus de 850 véh/h sortant de l'autoroute, se dirigeant majoritairement vers le nord
- 2 à 3% de poids-lourds environ sur la RD445
- 4 sorties par heures du SDIS, dont 2 vers le nord et 2 vers le sud et la moitié de PL.
- 100 piétons par heure injectés sur chaque traversée piétonne du tramway, et 200 vélos/h sur la voie verte longeant le tramway



# Charges de trafic HPS – situation de référence

## Secteur central

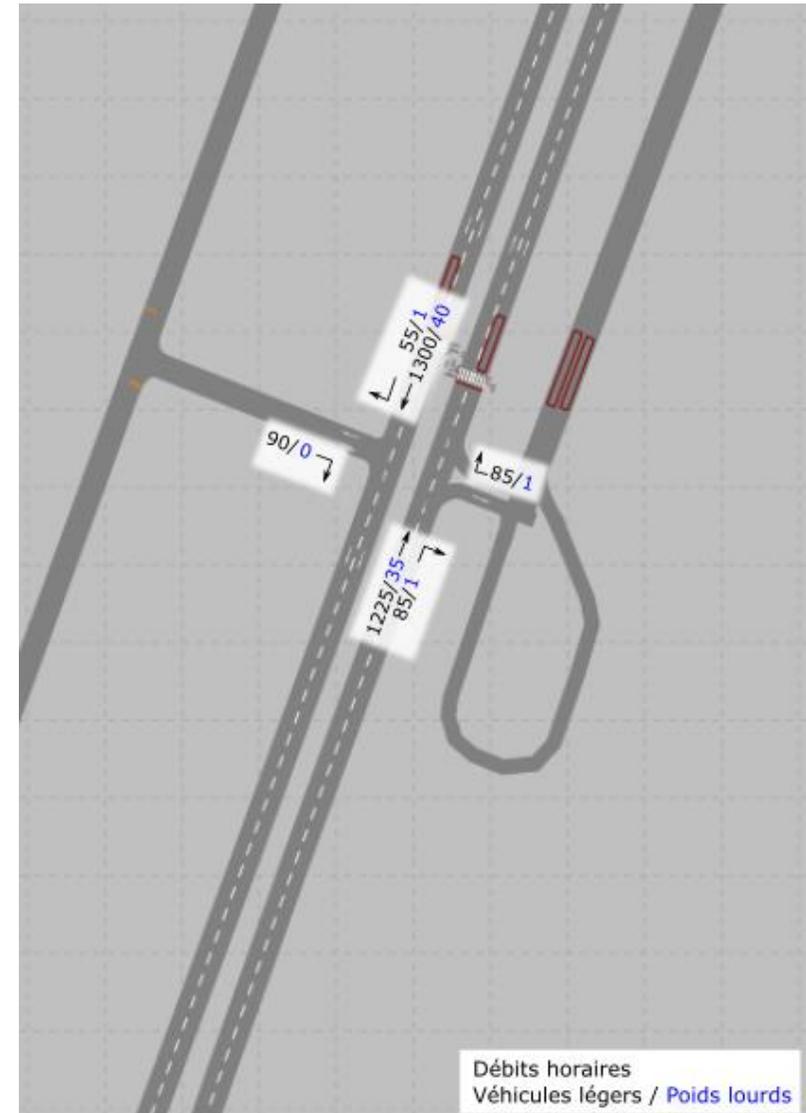
- Tourne-à-gauche vers la rue Toussaint l'Ouverture de 140 véh/h depuis la RD445 nord.
- Fréquentation limitée sur Toussaint l'Ouverture Est ou Ouest (moins de 300 véh/h par sens)
- Demi-tours sur le giratoire central limités (moins de 20 véh/h)
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne



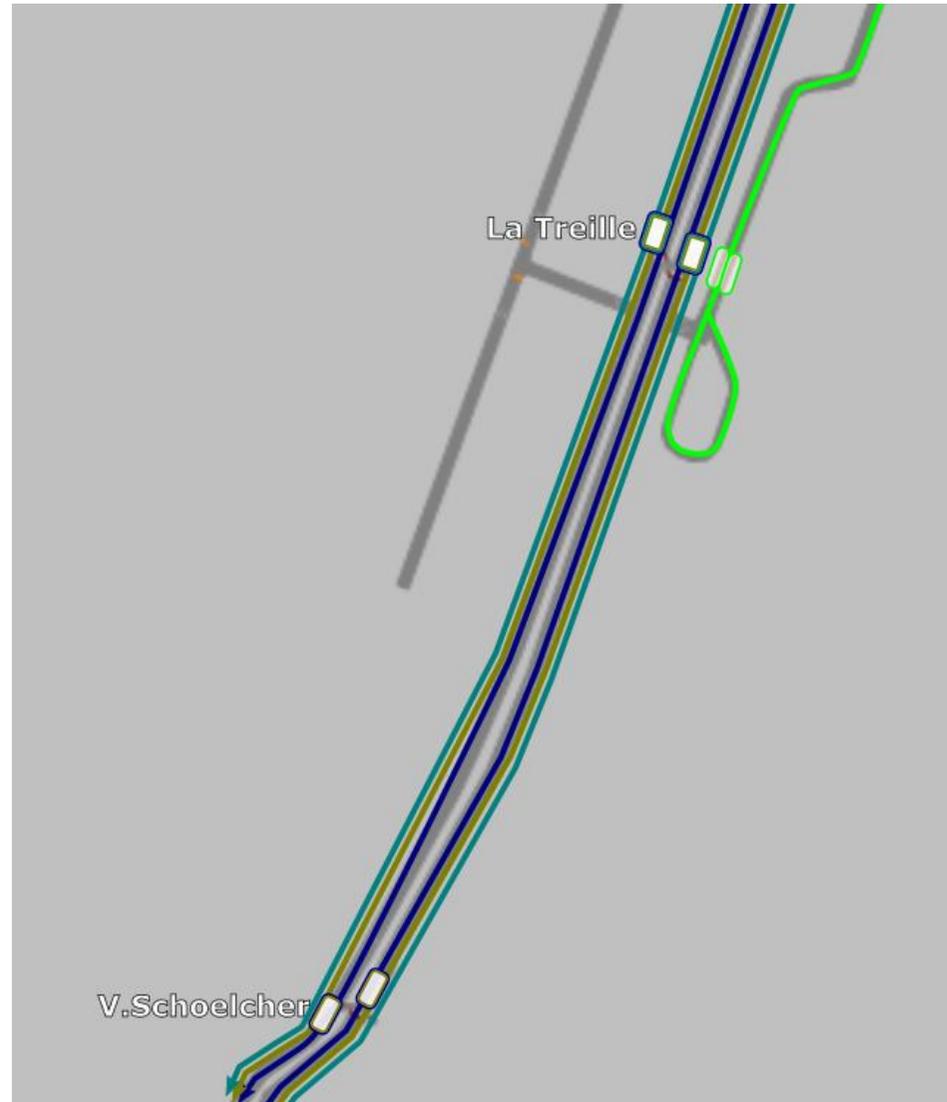
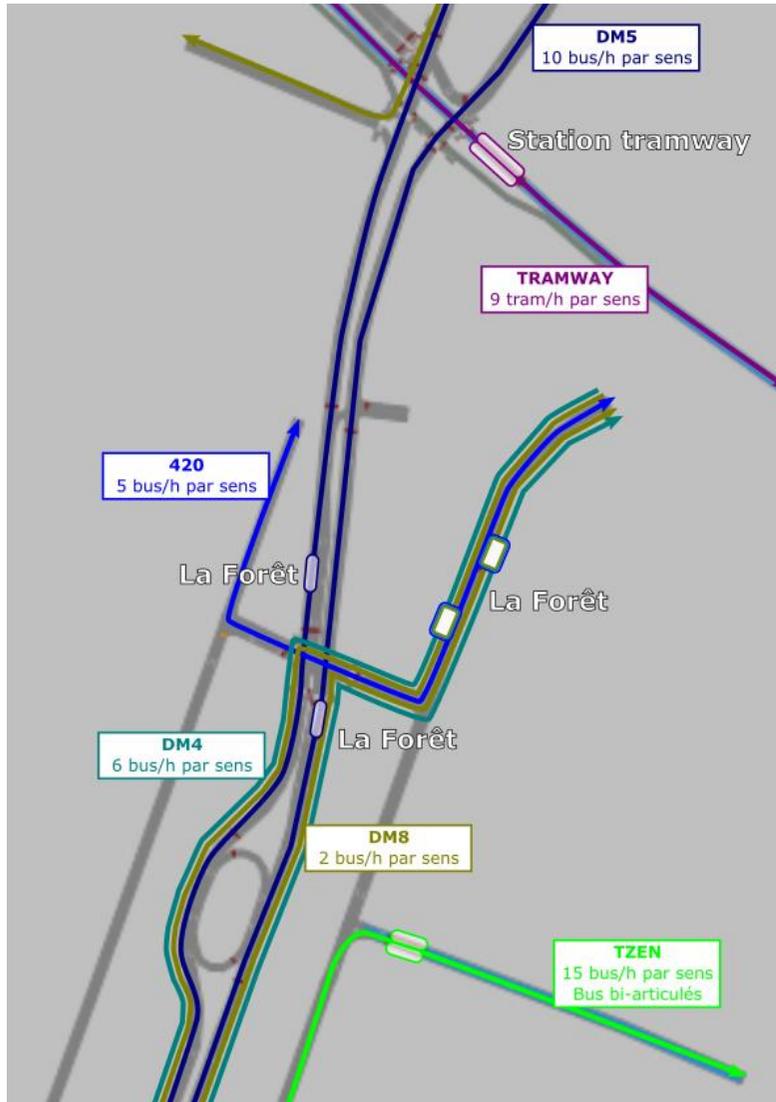
# Charges de trafic HPS – situation de référence

## Secteur sud

- Tourne-à-droite limités sur le carrefours (moins de 100 véh/h)
- Plus de 1300 véh/h et par sens sur la RD445
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne sur demande, soit une demande toutes les 2 minutes sur les traversées à feux



# Transports en commun – situation de référence



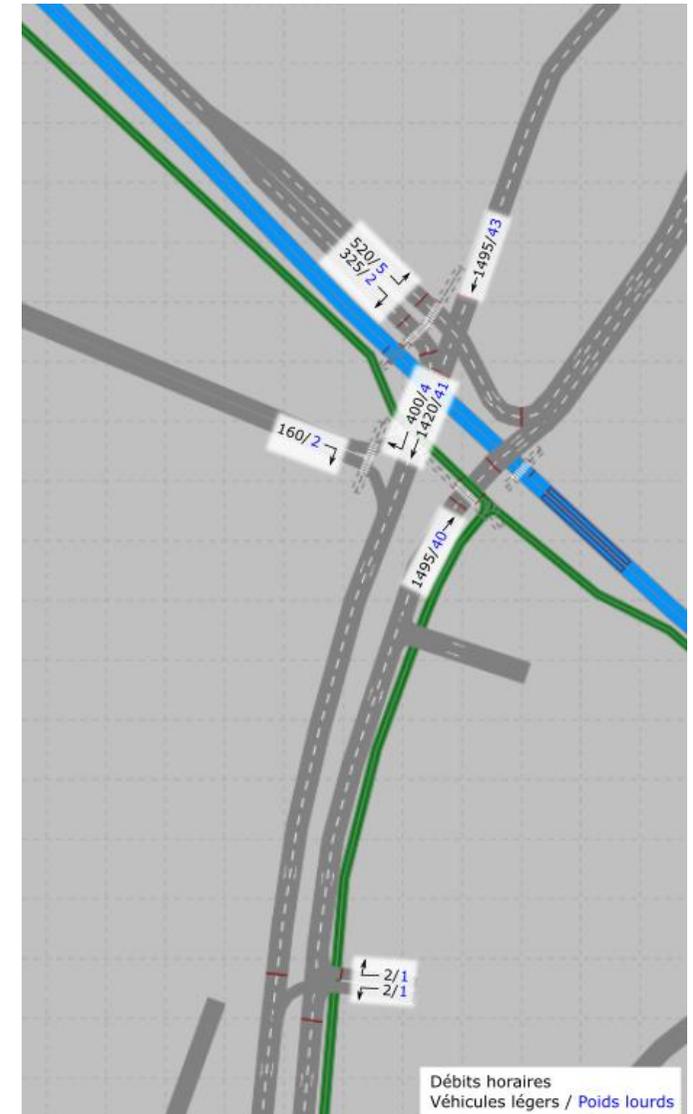
# Annexes

## **Détails de la simulation - Hypothèses pour la simulation en situation de projet – cas de charges n°2**

# Charges de trafic HPS – situation de projet

## Secteur nord

- Demande identique à la situation de référence ;
- Ajout de véhicules sur l'accès stationnement ;
- Ajout de 200 vélos/h sur la voie verte le long de la RD445 ;
- 100 piétons / heure injectés sur chaque traversée.

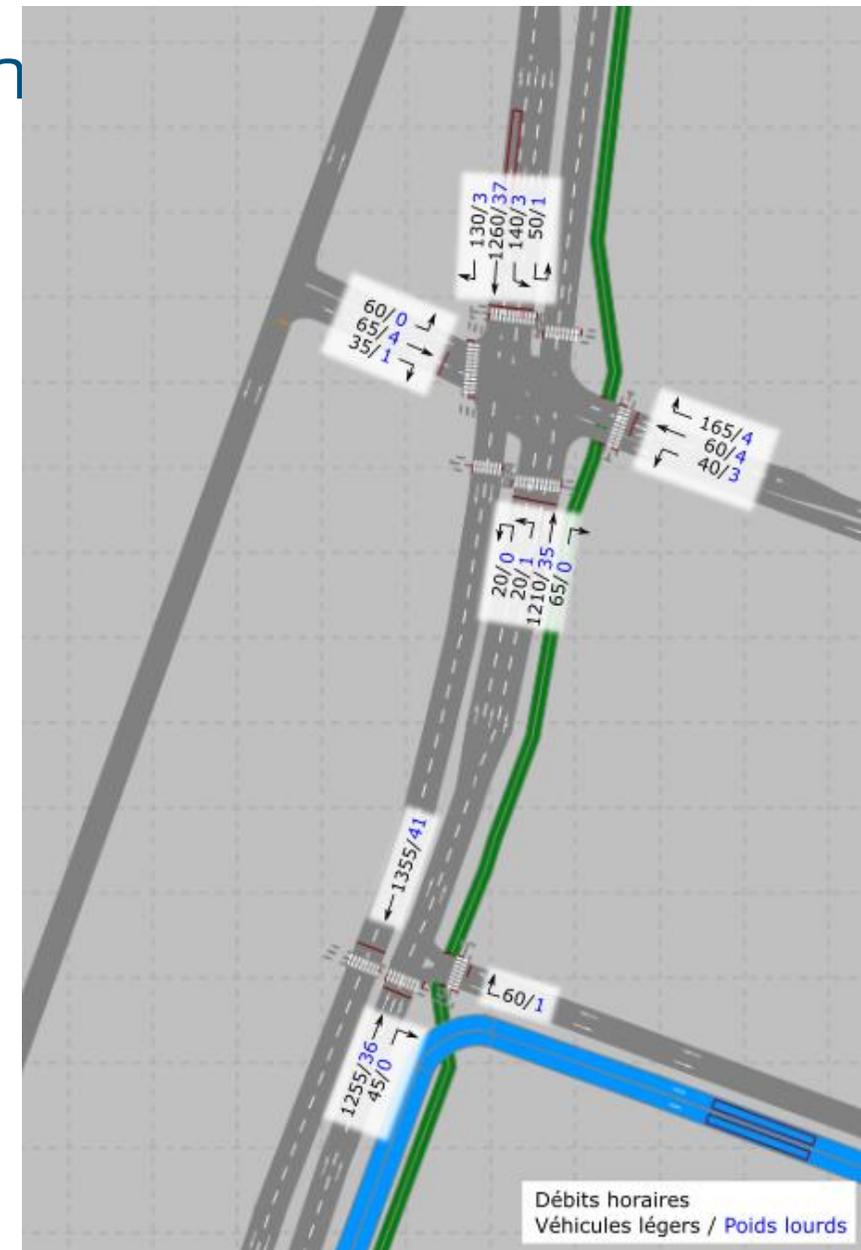


*Remarque : Flux identiques pour les scénarios de site propre central et latéral*

# Charges de trafic HPS – situation

## Secteur central

- Suppression des demi-tours vers le nord qui utilisaient le giratoire central, report de ceux vers le sud sur le carrefour à feux
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne
- 200 vélos / heure sur la voie verte



*Remarque : Flux identiques pour les scénario de site propre central et latéral*

# Charges de trafic HPS – situation

## Secteur sud

- Répartition des flux initialement en relation avec l'avenue des Erables sur les 2 nouveaux axes à l'est : prolongement du quartier de la Peupleraie et voie au nord de la place de la Quinconce ;
- 30 piétons/h injectés sur chaque traversée piétonne ;
- 200 vélos / heure sur la voie verte.

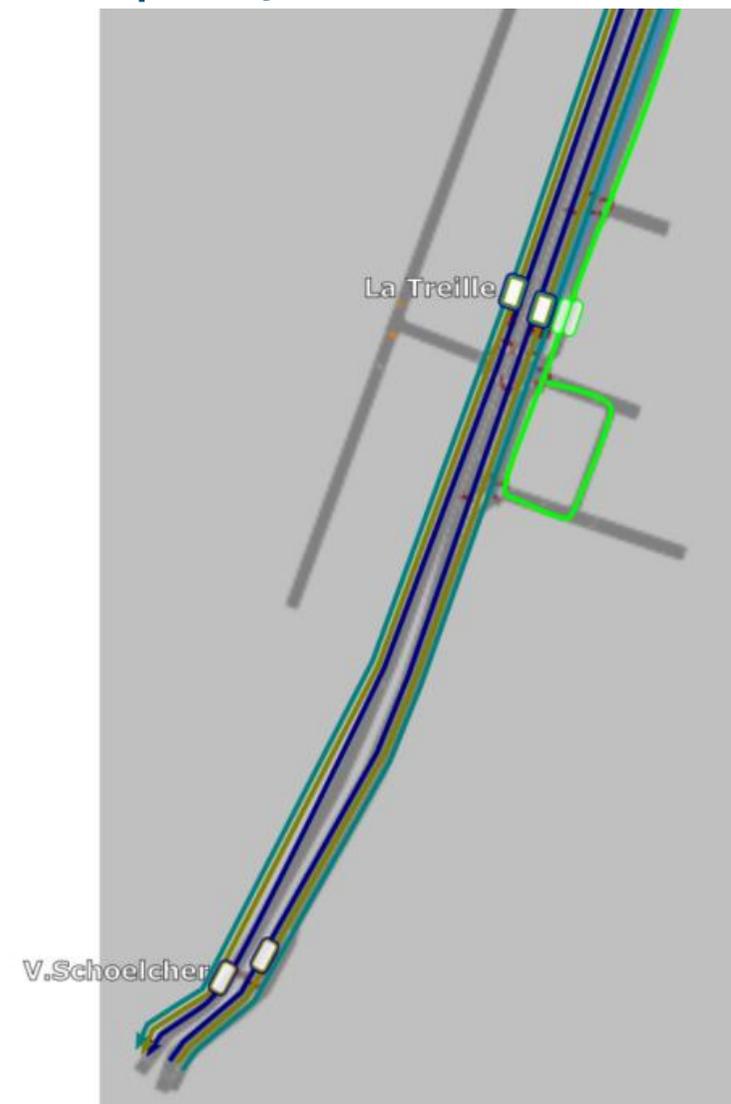


*Remarque : Flux identiques pour les scénarios de site propre central et latéral*

# Transports en commun – situation de projet

## Itinéraires bus

- Fréquences identiques au réseau de référence
- Modification des itinéraires sur les lignes 420, DM4 et DM8 sur la partie nord
- Reprise de l'itinéraire du Tzen
- Les bus hors Tzen sur la RD445 n'empruntent pas le site propre Tzen et restent sur la voirie



*Remarque : Réseaux identiques pour les scénarios de site propre central et latéral*

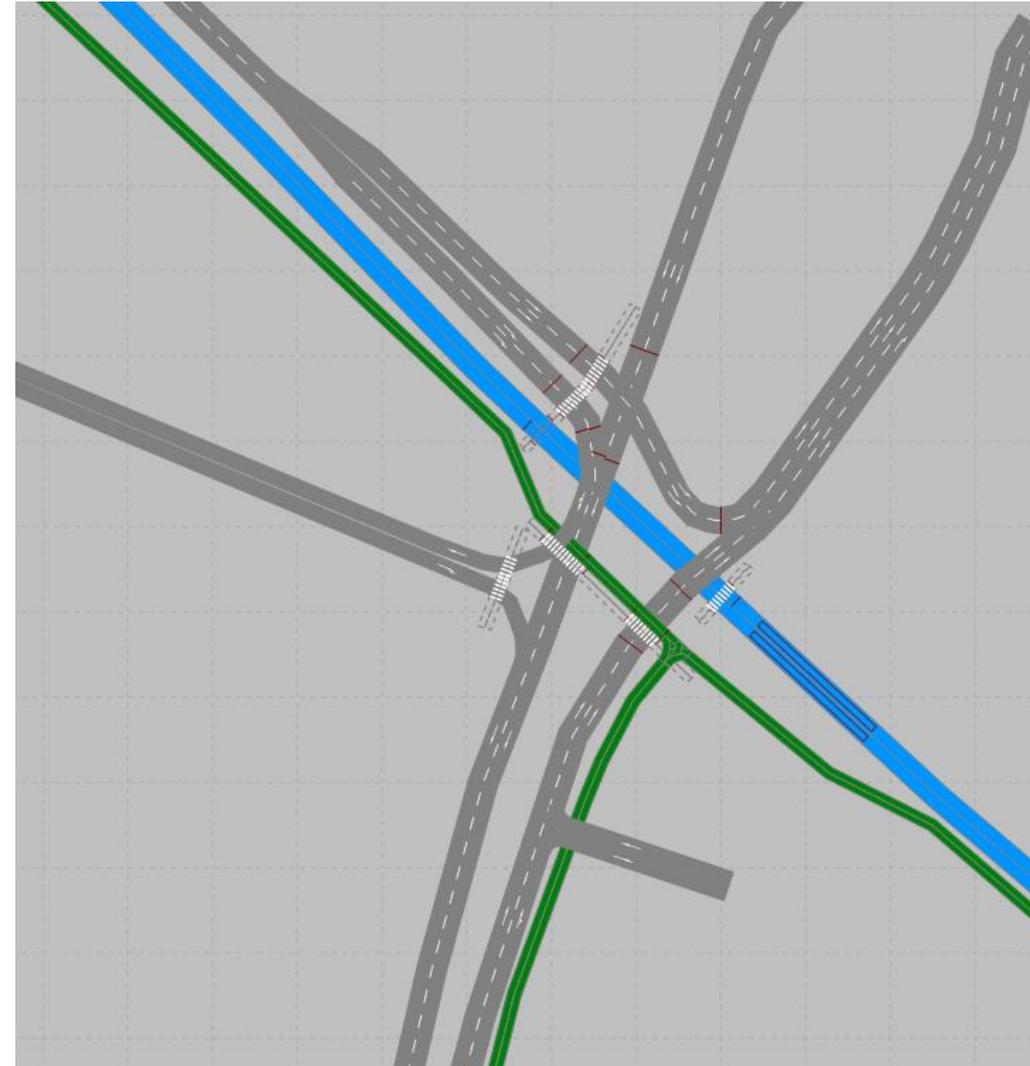
# Annexes

## TZen en latéral – réseau modélisé

# Réseau modélisé

## Carrefour tramway

- Changements mineurs par rapport à la situation de référence :
  - Ajout d'une voie verte le long de le RD445 ;
  - Ajout d'un accès parking au sud du tramway ;
- Fonctionnement des feux identique à la situation de référence.



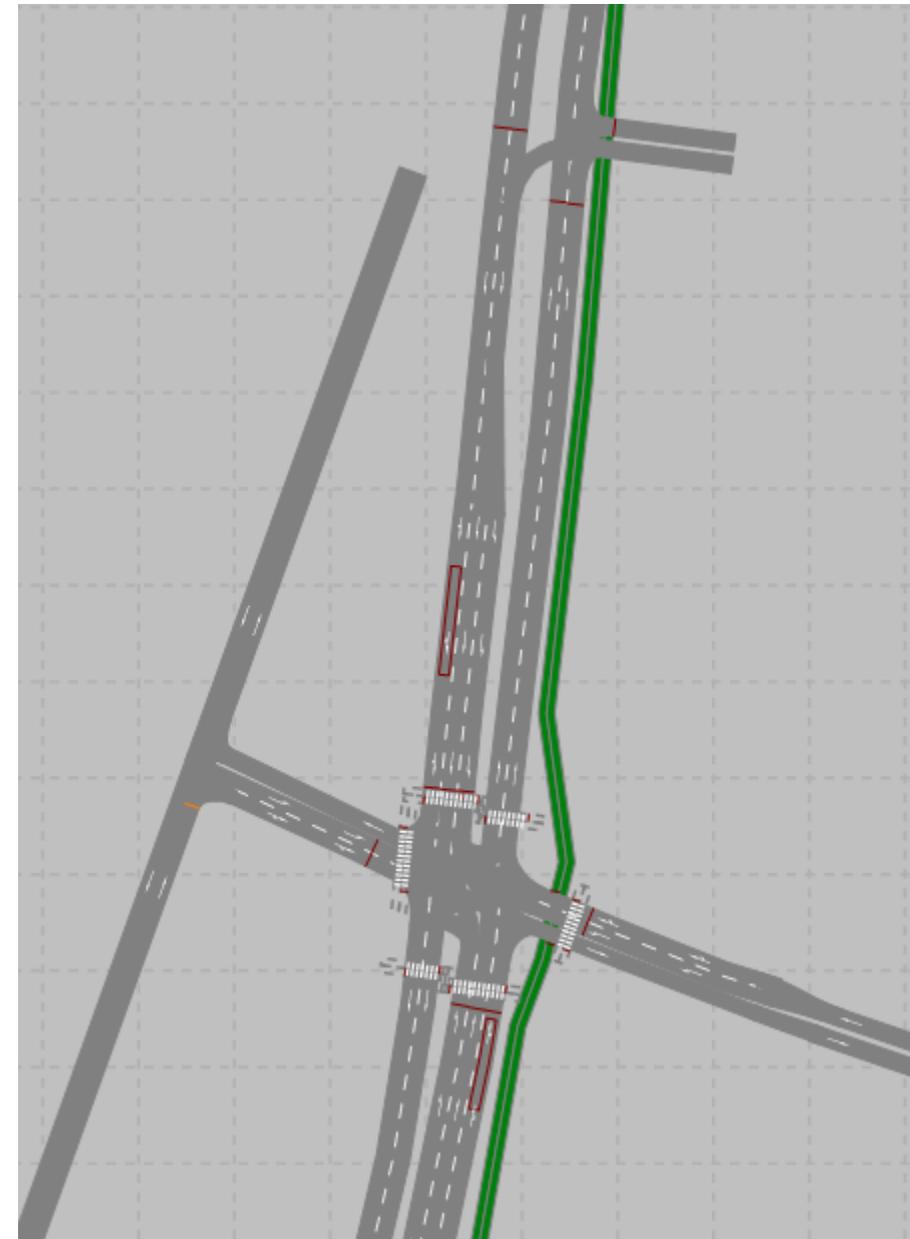
# Réseau modélisé

## Carrefour SDIS

- Identique à la situation de référence ;
- Fonctionnement des feux inchangé.

## Carrefour Fournil

- Quelques modifications sur le carrefour :
  - Nouvel alignement sur la rue Toussaint l'Ouverture à l'Est ;
  - Nouvel alignement de la RD445 côté sud ;
  - Nouvelle traversée piétonne côté nord.

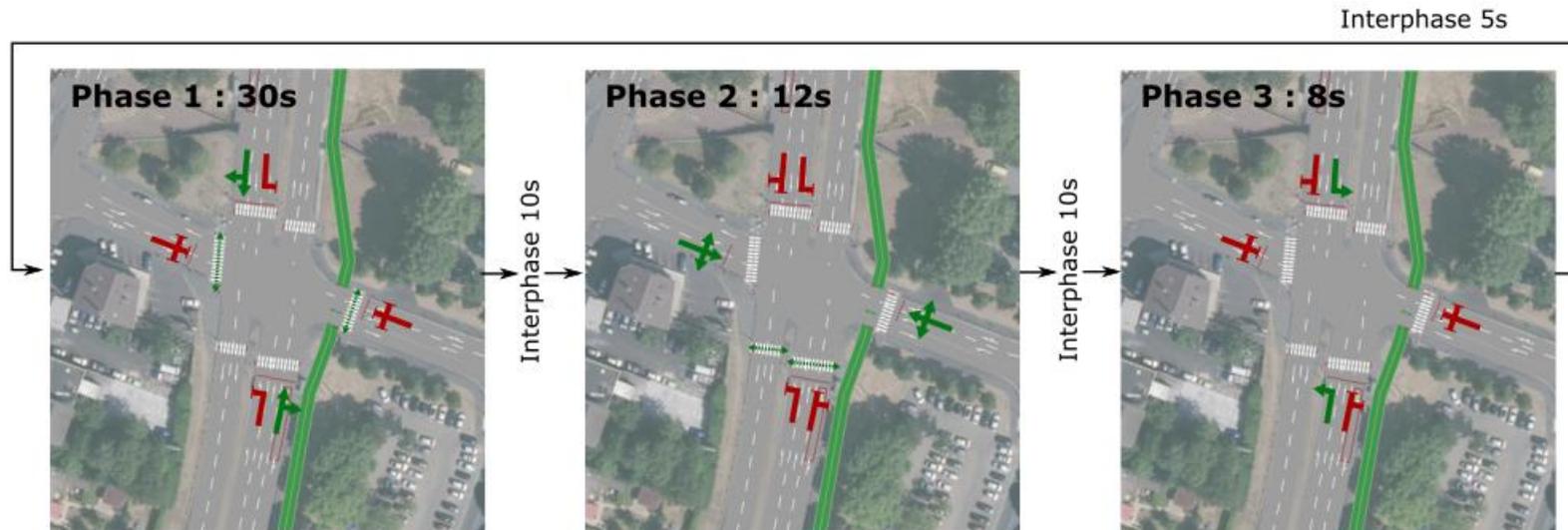


# Réseau modélisé

## Carrefour Fournil

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle diminué à 75s ;
- Suppression des phases adaptatives, durée fixe des phases ;
- Regroupement des anciennes phases 2 et 3 en une unique phase.



# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445/Voie de la Plaine

- Prolongation de la voie de la Plaine pour la connecter à la RD445 ;
- Tourne-à-droite uniquement ;
- Traversée piétonne gérée par feux sur la totalité de la traversée de la RD445 ;
- Site propre TZen non régulé par feux.

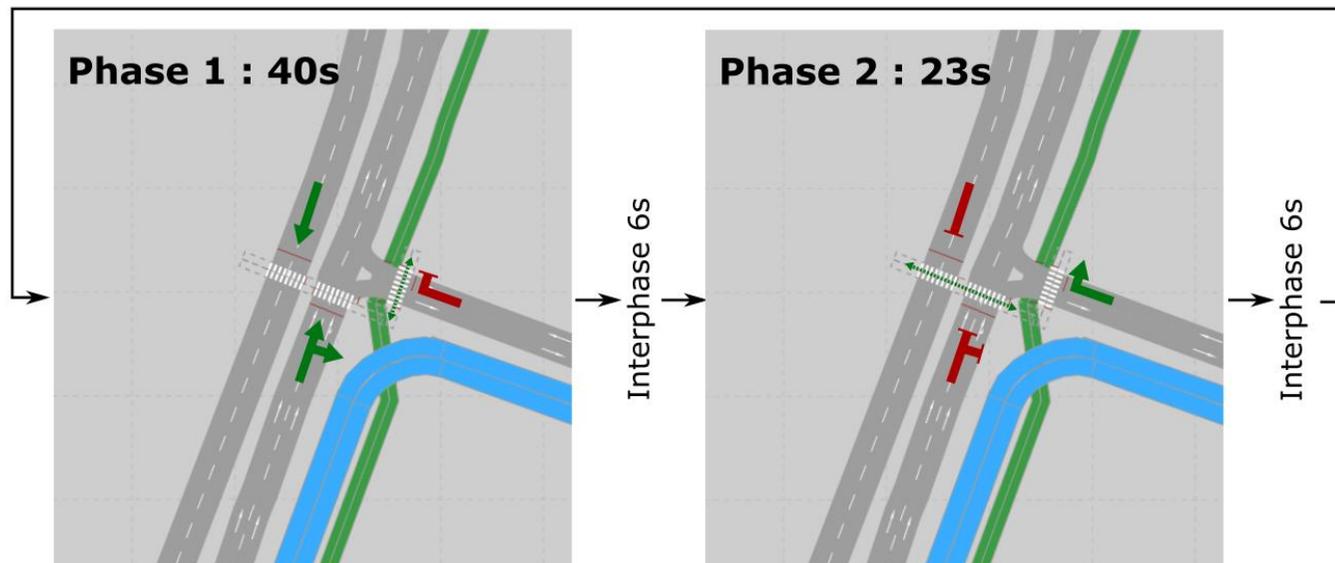


# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445/Voie de la Plaine

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle de 75s ;
- Phase piétonne donnée à chaque cycle (pas de boutons poussoirs).



# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445 / Nord place Quinconce

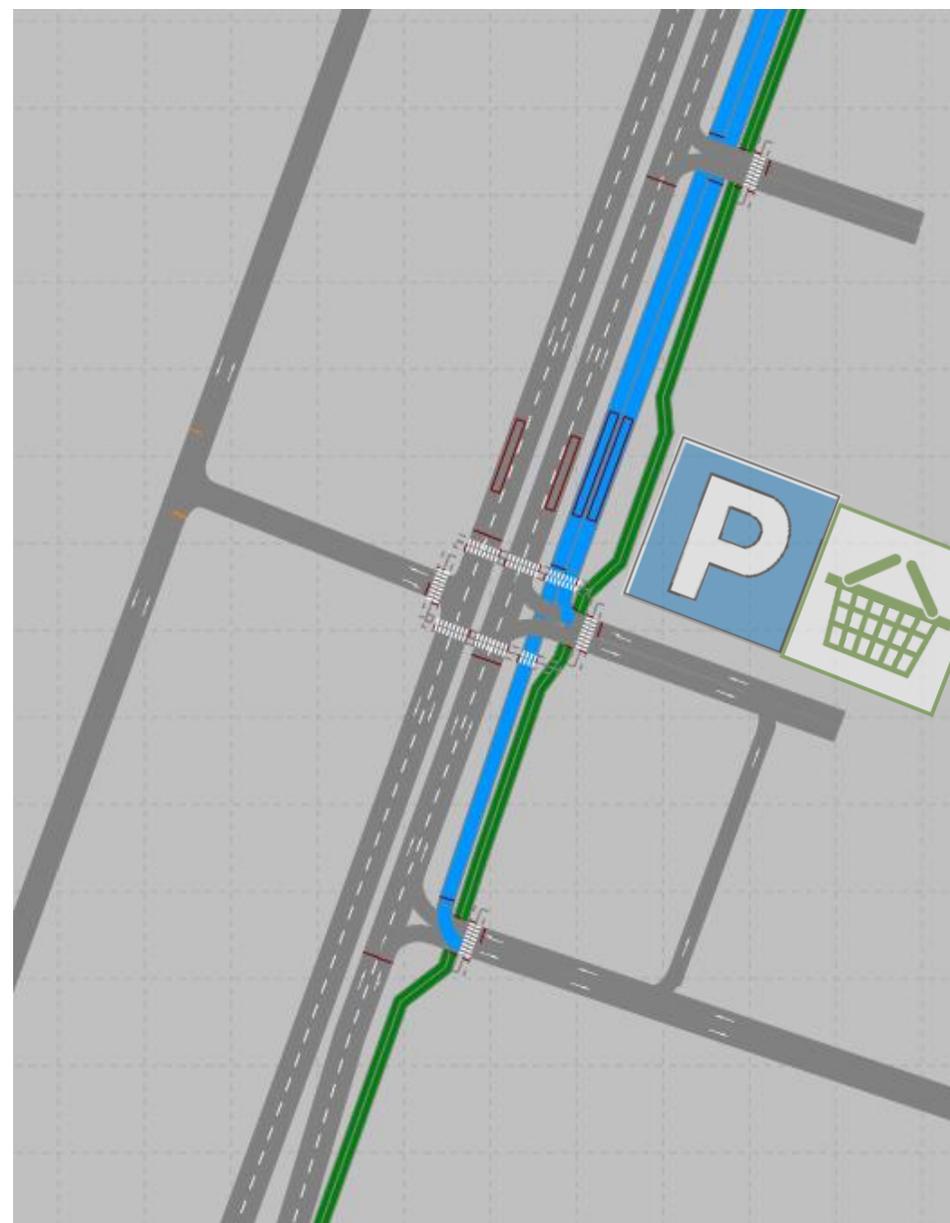
- Tourne-à-droite uniquement ;
- Croisement avec le TZen géré par feux.

## Carrefour RD445 / Erables

- Tourne-à-droite uniquement :
- Carrefour entièrement repris, incluant l'av. des Erables et la traversée piétonne dans la gestion par feux.

## Nouveau carrefour RD445 / Peupleraie

- Tourne-à-droite uniquement ;
- Croisement avec le TZen géré par feux uniquement vers le sud.

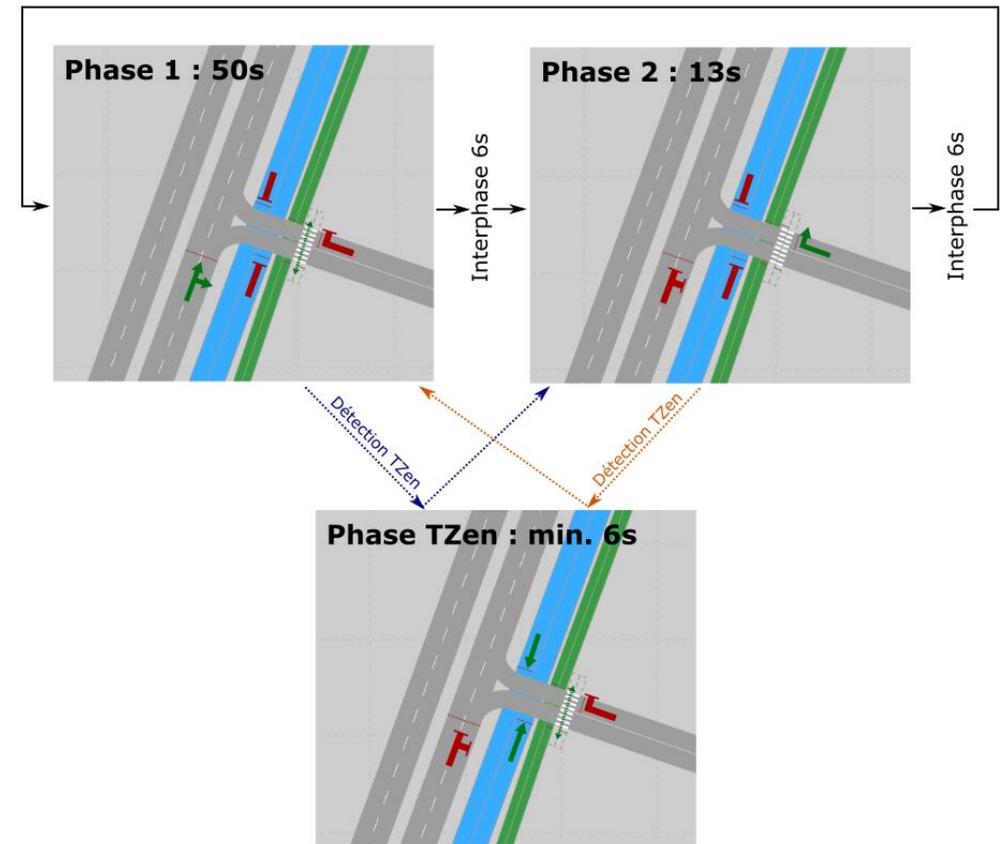


# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445 / Nord place Quinconce

### ■ Fonctionnement des feux :

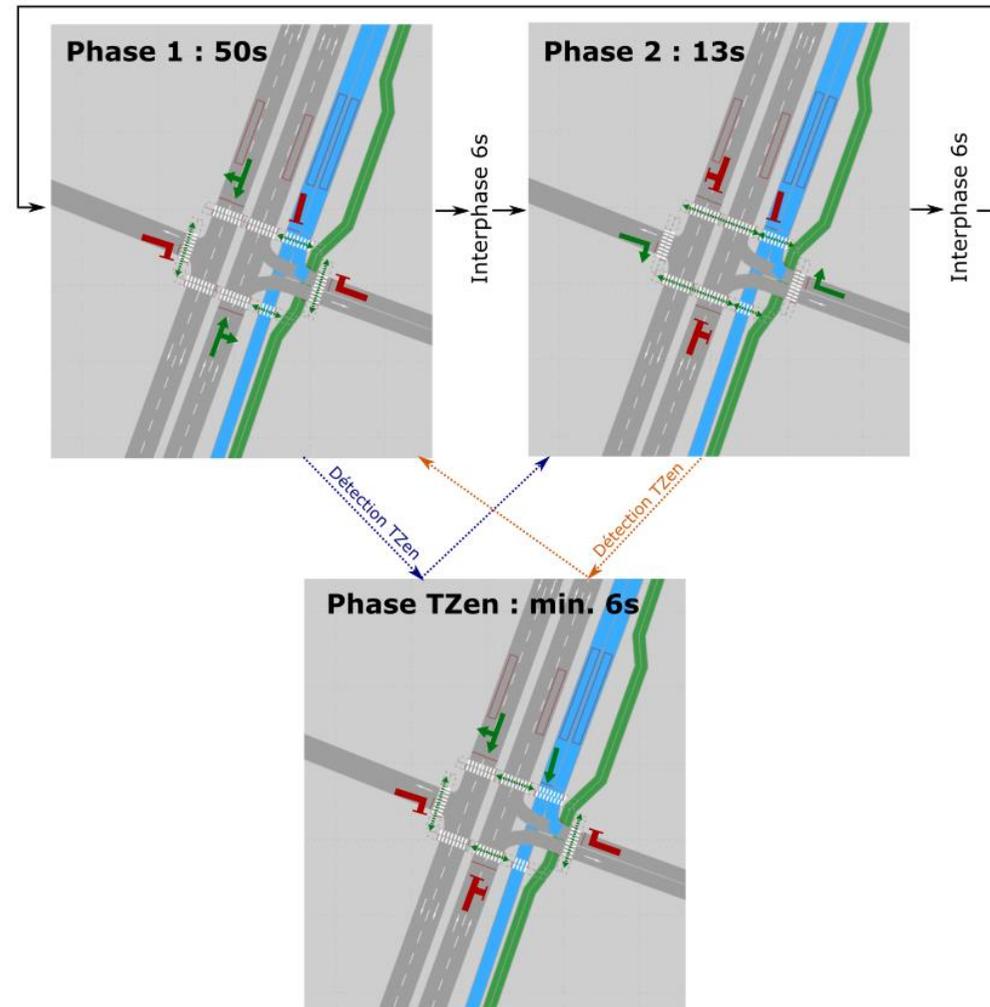
- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle de 75s ;
- Priorité absolue du Tzen, qui passe seul (+piétons) pour éviter les conflits avec les autres voies.



# Réseau modélisé

## Carrefour RD445 / Erables

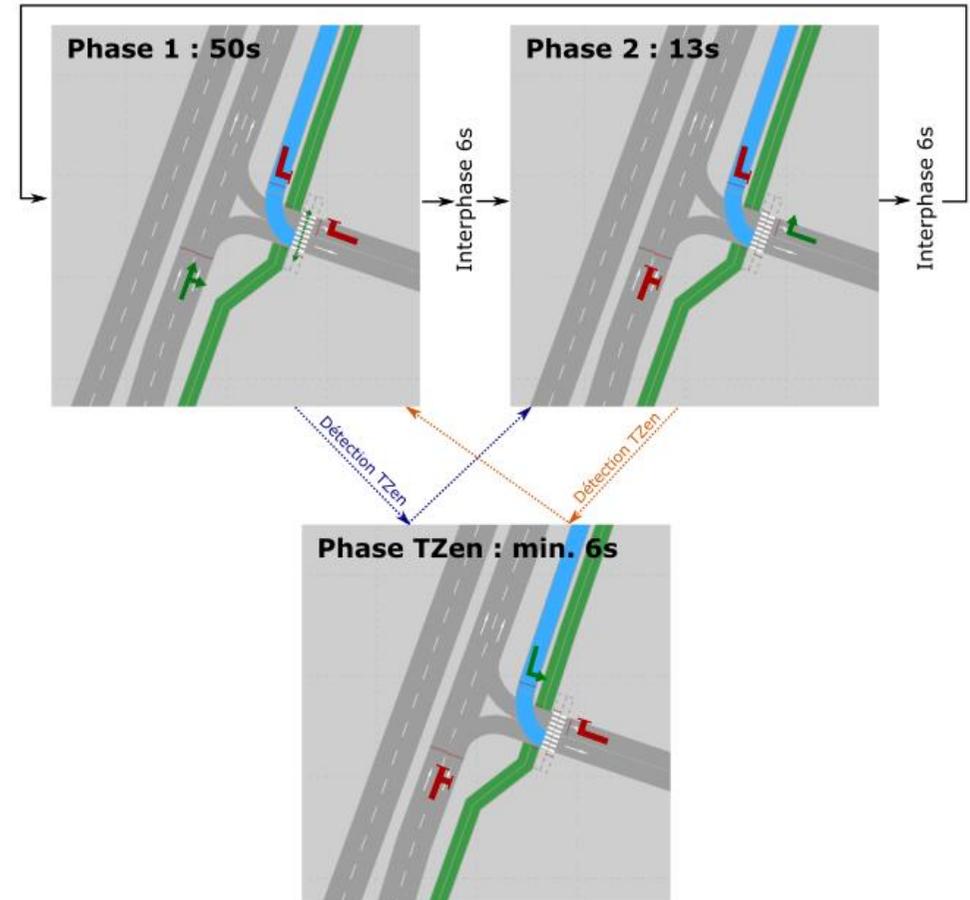
- Fonctionnement des feux :
  - Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
  - Temps de cycle de 75s ;
  - Priorité absolue du Tzen, qui passe avec la RD445 vers le sud et les phases piétonnes compatibles. Le TZen en demi-tour revient sur le site propre sur la phase 2, où une priorité plus légère est donnée au TZen (allongement de la phase 2 ou réduction du temps de la phase 1) ;
- Remarque : le phasage proposé ici n'est pas réglementaire, du fait des tourne-à-droite sur Erables en conflit avec les piétons. Plusieurs alternatives sont envisageables :
  - Passer le cycle hors TZen en 3 phases (baisse de la capacité du carrefour) ;
  - Retravailler les traversées piétonnes pour les rendre compatibles avec la phase 2 (pénalisant pour les piétons) ;
  - Autoriser le tout-droit/tourne-à-gauche sur les 2 branches de l'av. des Erables (attention à la gestion/interdiction des tourne-à-gauche sur la RD445).



# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445 / Peupleraie

- Fonctionnement des feux :
  - Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
  - Temps de cycle de 75s ;
  - Priorité absolue du Tzen, qui passe seul pour éviter les conflits avec les autres voies.



# Annexes

## Résultats de la simulation – TZen en latéral – Cas de charge n°1

# Vitesse moyennes et congestions

## Carrefour tramway

- Fonctionnement global correct, quasi identique à la situation de référence



# Vitesse moyennes et conge

## Carrefour Fournil

- Amélioration du fonctionnement suite à la reprise du phasage (3 phases + réduction du temps de cycle)
- Congestions moyennes faibles, congestions max en baisse

## Carrefour Plaine

- Bon fonctionnement, pas de congestions majeures
- Flux vers le sud peu impactés par la présence de la traversée piétonne, du fait de la coordination entre carrefours



# Vitesses moyennes et congestions

## Carrefours sud

- Bon fonctionnement durant les phases hors passage Tzen, pas de congestions constatées du fait de la coordination et du trafic limité en relation avec les nouvelles voies à l'est
- Passage du Tzen > coordination rompue > congestions qui peuvent se créer vers le nord, avec du stockage inter-carrefours remontant sur les carrefours en amont
- Peu d'impact de la mise en place de feux vers le sud



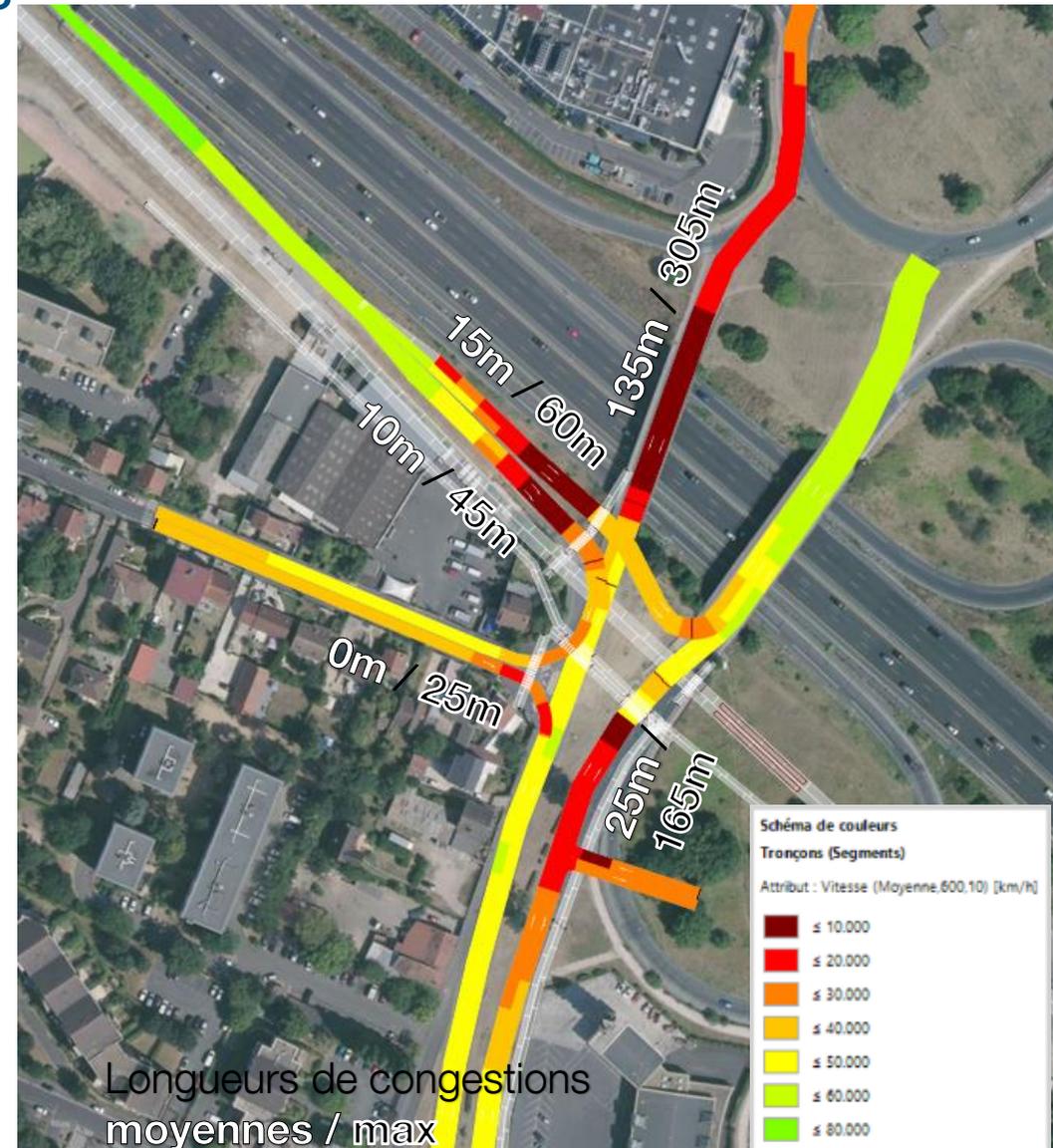
# Annexes

## Résultats de la simulation – TZen en latéral – Cas de charge n°2

# Vitesse moyennes et congestions

## Carrefour tramway

- Fonctionnement quasi identique à la situation de référence



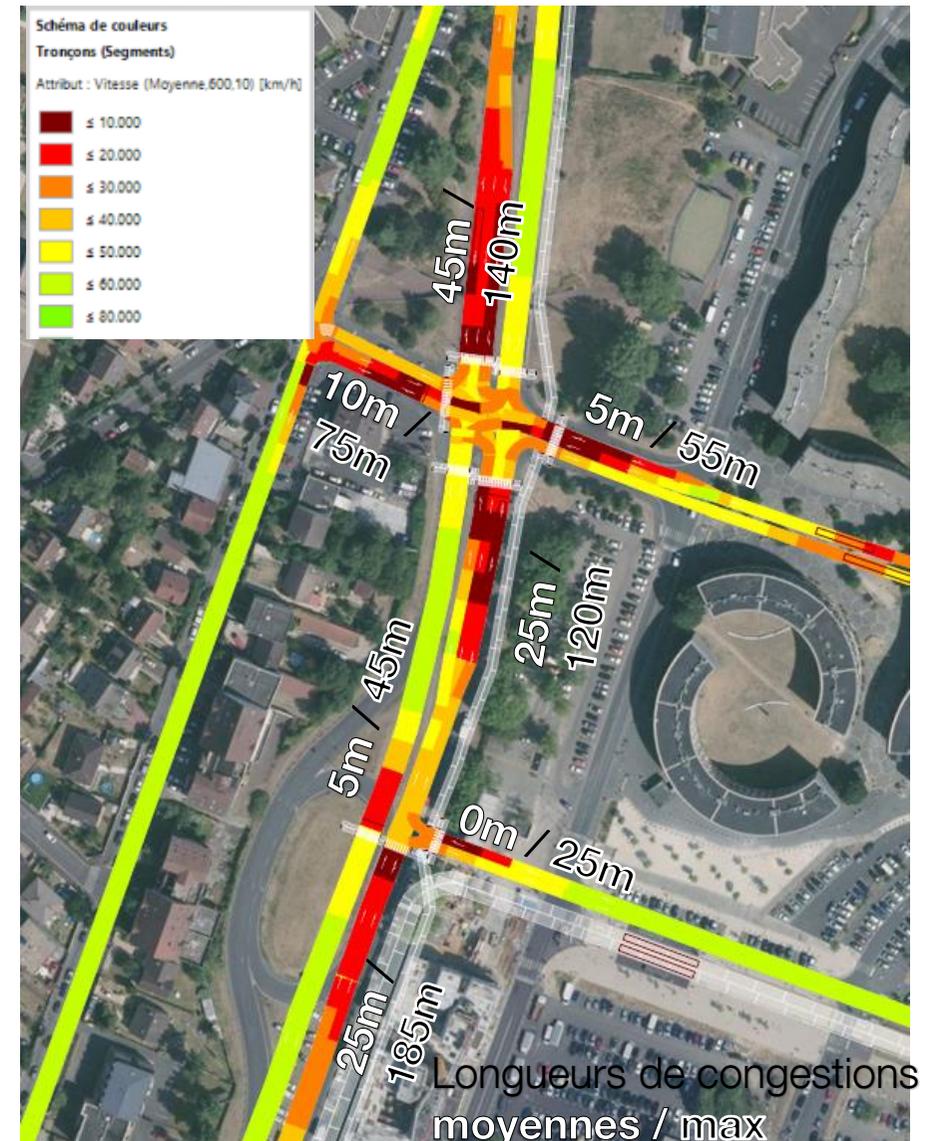
# Vitesses moyennes et congestions

## Carrefour Fournil

- Amélioration du fonctionnement suite à la reprise du phasage (3 phases + réduction du temps de cycle) ;
- Congestions moyennes faibles, congestions max en baisse ;

## Carrefour Plaine

- Bon fonctionnement, pas de congestions majeures ;
- Flux vers le sud peu impactés par la présence de la traversée piétonne, du fait de la coordination entre carrefours ;
- Flux vers le nord important, mais s'écoulant correctement du fait de la coordination également.



# Vitesses moyennes et congestions

## Carrefours sud

- Bon fonctionnement durant les phases hors passage Tzen, pas de congestions constatées du fait de la coordination et du trafic limité en relation avec les nouvelles voies à l'est ;
- Le passage du Tzen peut rompre la coordination, ce qui peut créer ponctuellement de la congestion vers le nord, avec du stockage inter-carrefours remontant sur les carrefours en amont ;



- Peu d'impacts de la mise en place de feux vers le sud.

# Annexes

## Réseau modélisé – TZen en central

# Réseau modélisé

## Carrefours tramway, SDIS et Fournil

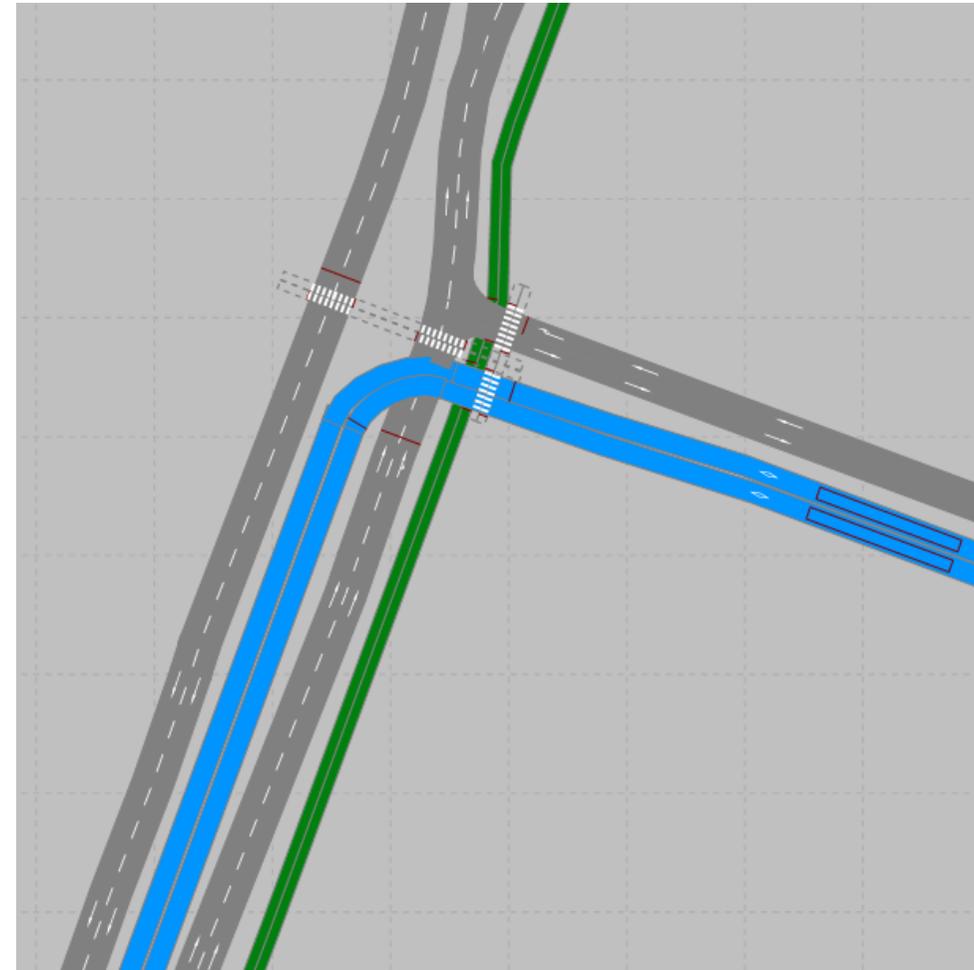
- Identiques au scénario latéral.



# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445/Voie de la Plaine

- Prolongation de la voie de la Plaine pour la connecter à la RD445 ;
- Tourne-à-droite uniquement ;
- Traversée piétonne gérée par feux sur la totalité de la traversée de la RD445 ;
- Site propre TZen intégré dans la régulation par feux (traversée de la RDD445 pour arriver en position centrale).

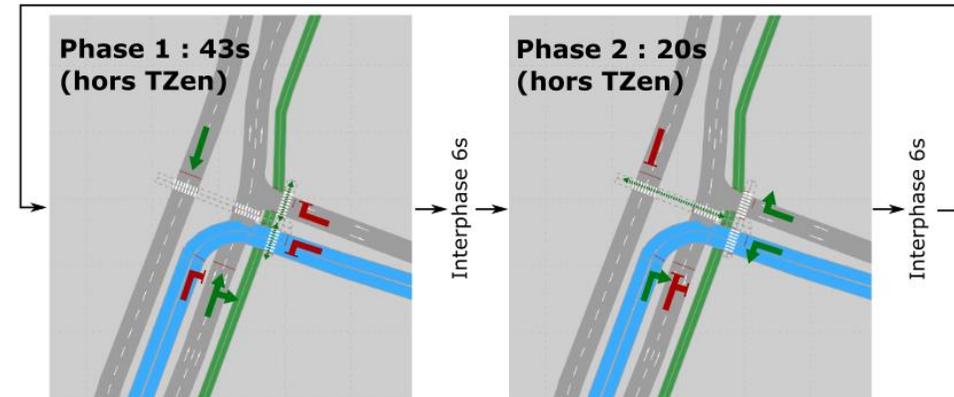


# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445/Voie de la Plaine

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle de 75s (hors TZen) ;
- Phase piétonne donnée à chaque cycle (pas de boutons poussoirs) ;
- Placements des lignes de feux et des traversées piétonnes de telle sorte que la gestion se fasse en 2 phase uniquement – le TZen en donné en phase 2 (phase 1 raccourcie ou phase 2 allongée en fonction de l'arrivée du TZen).



# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445 / Nord place Quinconce

- Tourne-à-droite uniquement ;
- Gestion en cédez-le-passage.

## Carrefour RD445 / Erables

- Tourne-à-droite uniquement ;
- Carrefour entièrement repris, incluant l'av. des Erables et la traversée piétonne dans la gestion par feux.

## Nouveau carrefour RD445 / Peupleraie

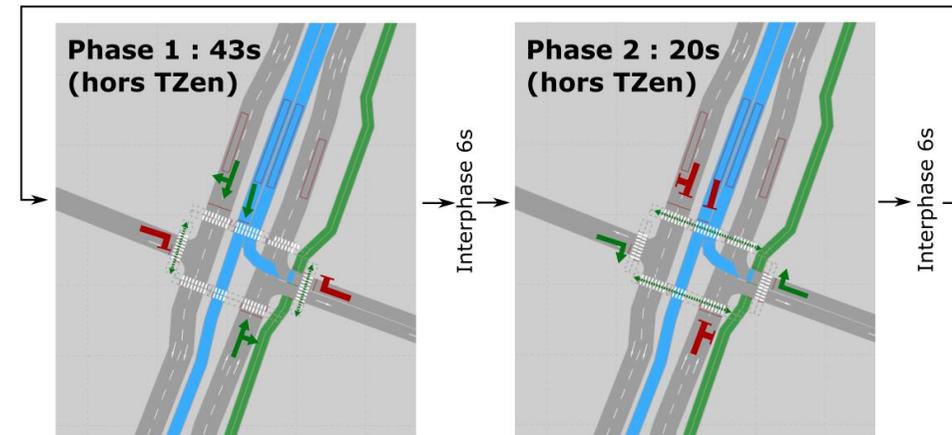
- Tourne-à-droite uniquement ;
- Croisement avec le TZen géré par feux uniquement vers le sud.



# Réseau modélisé

## Carrefour RD445 / Erables

- Fonctionnement des feux :
  - Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
  - Temps de cycle de 75s, durée augmentée de la phase 2 pour permettre une traversée piétonne sur un seul cycle ;
  - Priorité absolue du Tzen vers le sud, qui passe avec la RD445. Le TZen en demi-tour revient sur le site propre sur la phase 2, où une priorité plus légère est donnée au Tzer (allongement de la phase 2 ou réduction du temps de la phase 1) ;
- Remarque importante : le phasage proposé ici n'est pas réglementaire, du fait des tourne-à-droite sur Erables en conflit avec les piétons. Plusieurs alternatives sont envisageables :
  - Passer le cycle hors TZen en 3 phases (baisse de la capacité du carrefour) ;
  - Retravailler les traversées piétonnes pour les rendre compatibles avec la phase 2 (pénalisant pour les piétons) ;
  - Autoriser le tout-droit/tourne-à-gauche sur les 2 branches de l'av. des Erables : Ne pose pas de problème sur le fonctionnement du carrefour, mais nécessite un espace de stockage pour les tourne-à-gauche. Attention, la géométrie doit être travaillée pour éviter les tourne-à-gauche depuis la RD 445.

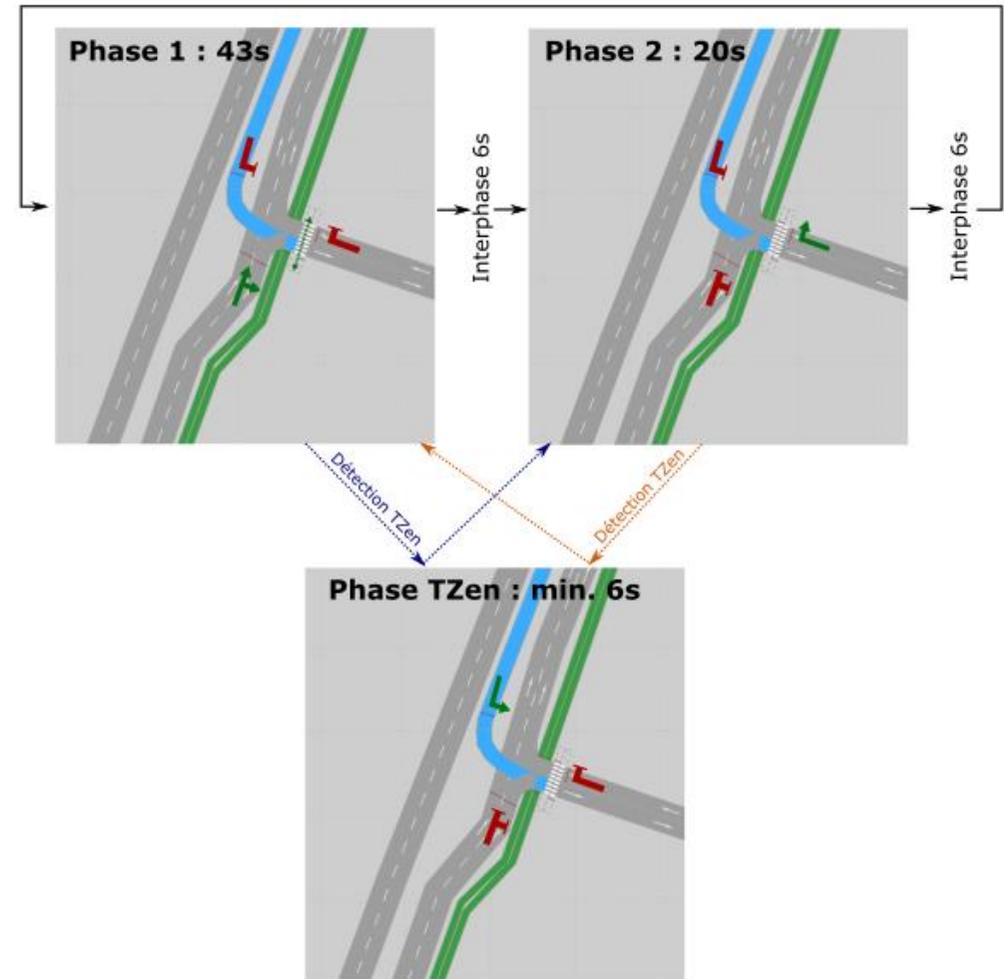


# Réseau modélisé

## Nouveau carrefour RD445 / Peupleraie

### ■ Fonctionnement des feux :

- Carrefour coordonné avec les carrefours de la RD445 ;
- Temps de cycle de 75s ;
- Priorité absolue du Tzen, qui passe seul pour éviter les conflits avec les autres voies ;
- **Possibilité de faire passer le Tzen durant la phase 2 si la géométrie est travaillée pour éviter tout risque de conflit avec l'axe Peupleraie**  
(modélisation faite en 3 phases pour simuler la situation la plus pénalisante).



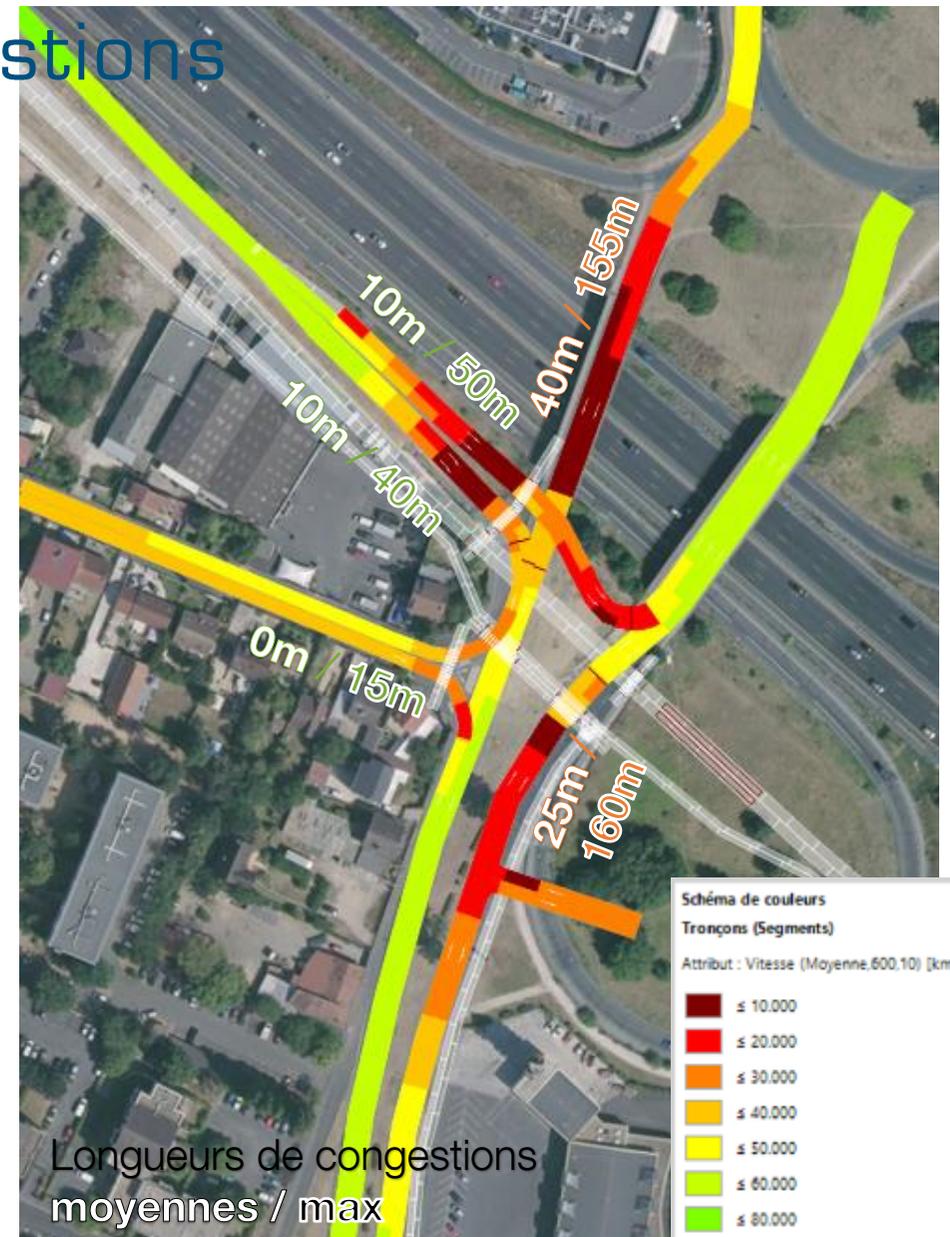
# Annexes

## Résultats de la simulation – TZen en central – Cas de charge n°1

# Vitesse moyennes et congestions

## Carrefour tramway

- Fonctionnement global correct, quasi identique à la situation de référence



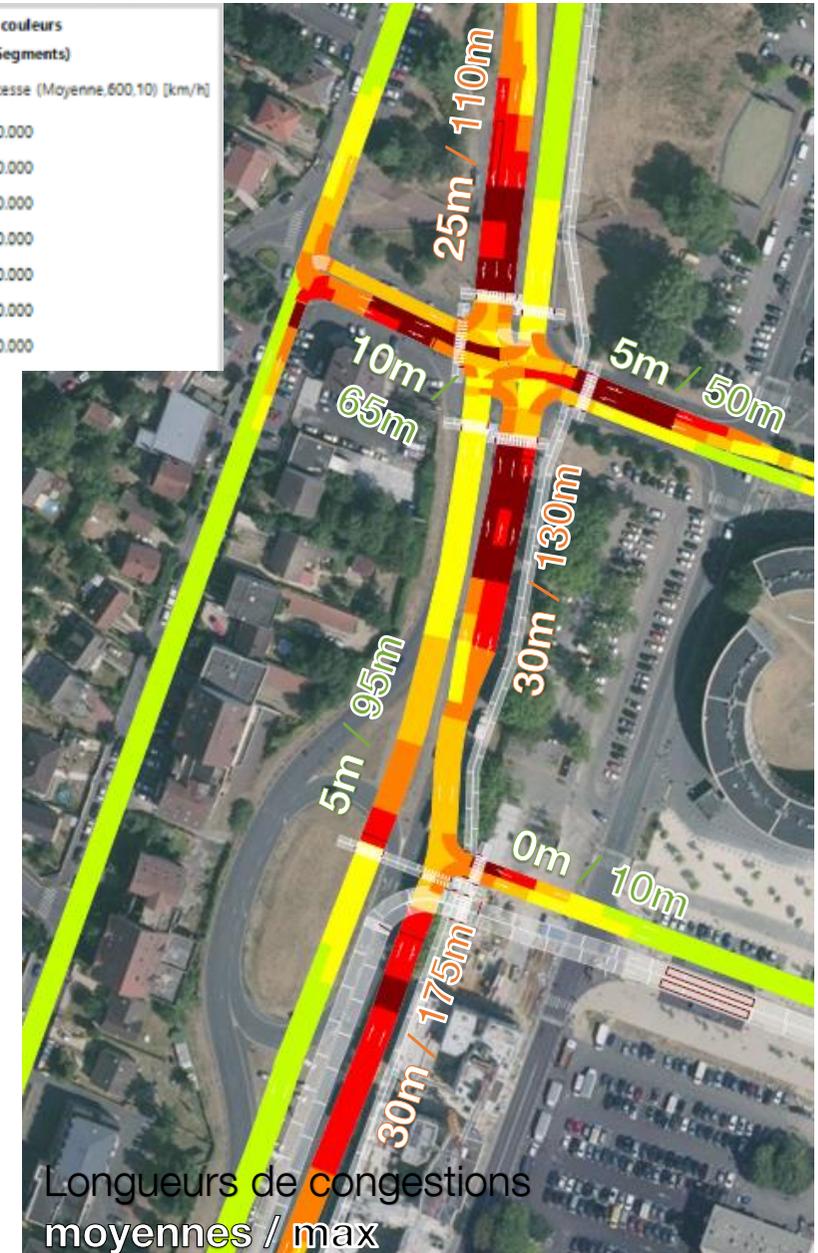
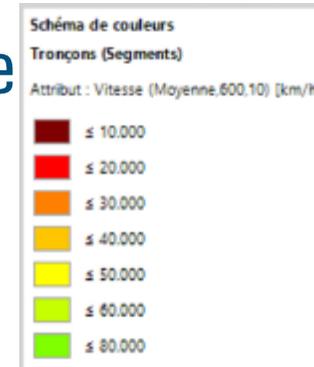
# Vitesse moyennes et conge

## Carrefour Fournil

- Fonctionnement quasi-similaire au scénario central
- Très légère hausse des congestions vers le nord du fait de la coordination avec le carrefour RD445/Plaine qui peut être rompue du fait du TZen

## Carrefour Plaine

- Hausse légère des congestions sur la RD445 du fait du TZen qui diminue le temps de vert disponible en nord<>sud



# Vitesse moyennes et congestions

## Carrefours sud

- Fonctionnement global correct, meilleur que dans le scénario latéral du fait de la suppression d'un carrefour à feux (avec le nord de la place de la Quinconce)
- Limitation du nombre de carrefours à feux > moins de perturbations dans le trafic quand le TZen circule
- Possibilité d'optimiser encore le fonctionnement des feux en travaillant finement la coordination entre les carrefours et le nombre de phases



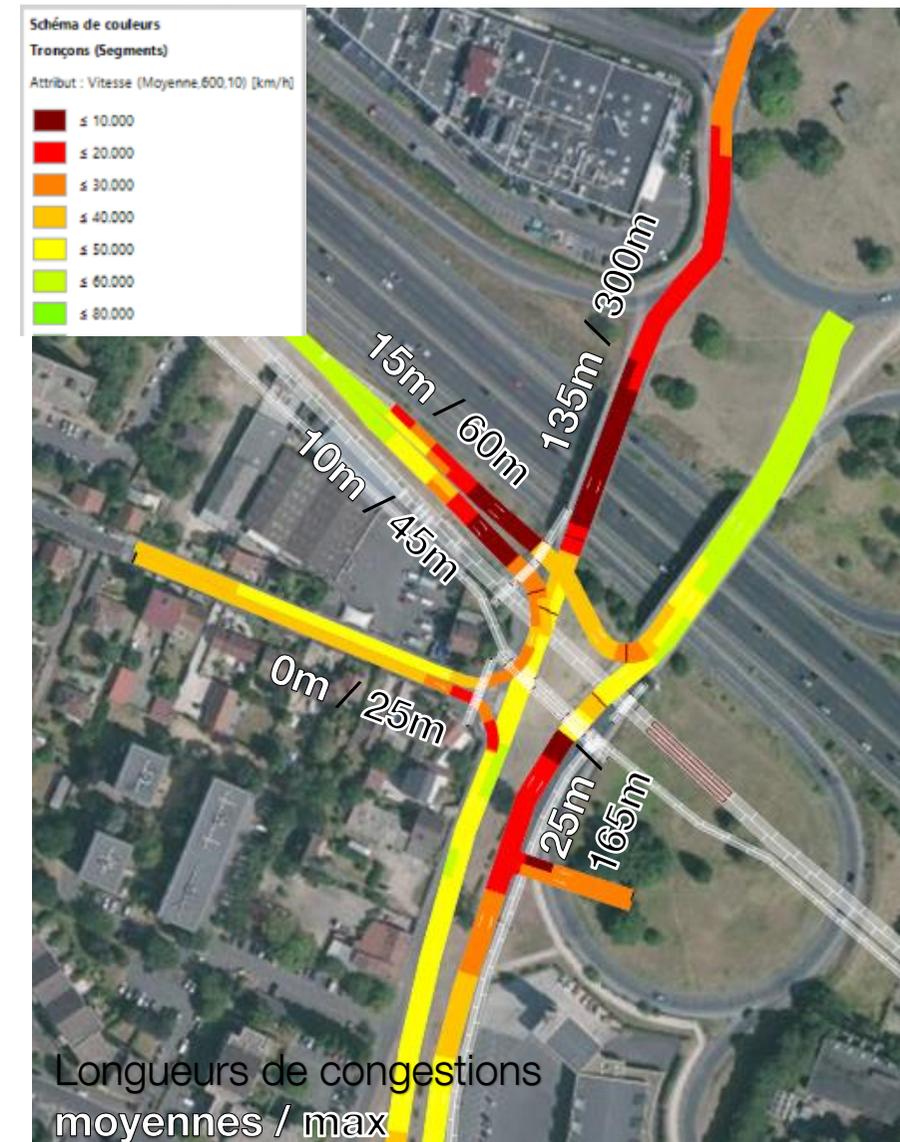
# Annexes

## Résultats de la simulation – TZen en central – Cas de charge n°2

# Vitesse moyennes et congestions

## Carrefour tramway

- Fonctionnement global quasi identique à la situation de référence



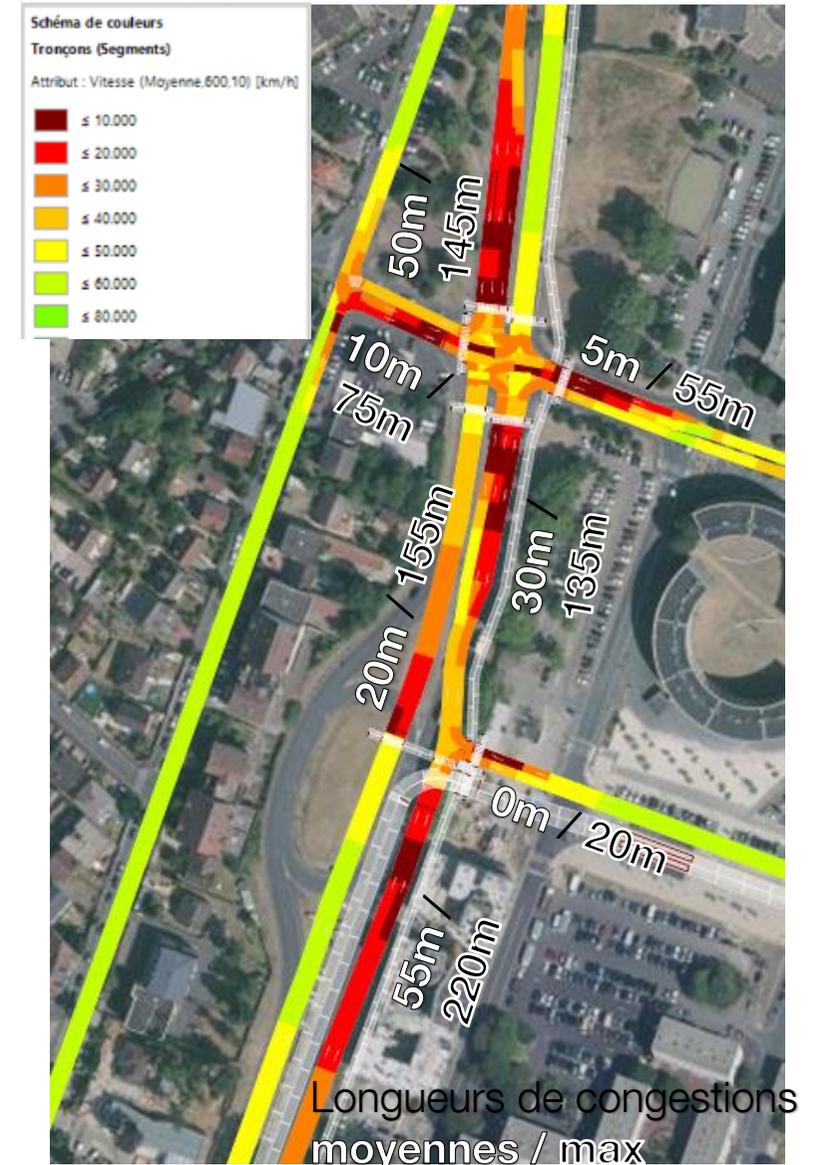
# Vitesses moyennes et congestions

## Carrefour Fournil

- Fonctionnement quasi-similaire au scénario latéral ;
- Très légère hausse des congestions vers le nord du fait de la coordination avec le carrefour RD445/Plaine qui peut être rompue par le passage du Tzen ;

## Carrefour Plaine

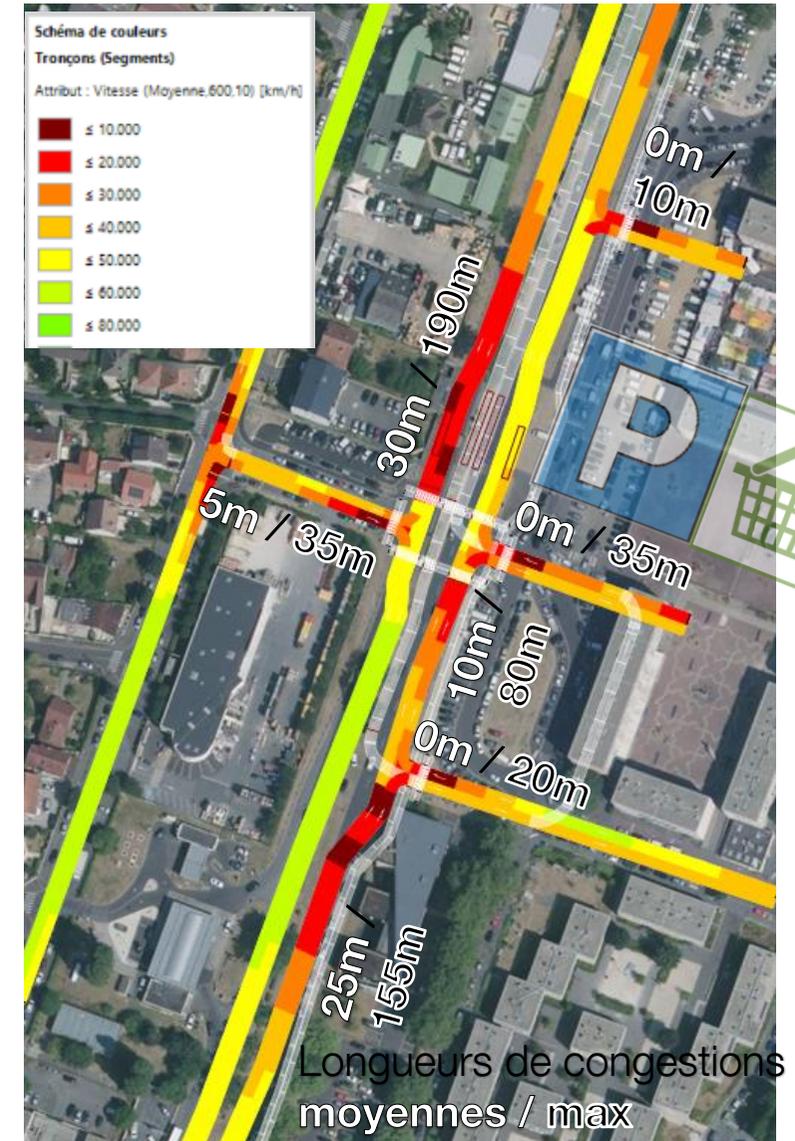
- Hausse des congestions sur la RD445, notamment vers le nord (congestions moyennes multipliées par 2), du fait du TZen qui diminue le temps de vert disponible en nord-sud, et qui perturbe la coordination avec le carrefour du Fournil



# Vitesses moyennes et congestions

## Carrefours sud

- Fonctionnement global correct, malgré des congestions moyennes et max légèrement supérieures au scénario latéral sur les carrefours Erables et Peupleraie (temps de vert en baisse sur la RD445) ;
- Suppression d'un carrefour à feux (avec le nord de la place de la Quinconce) par rapport au scénario latéral : fonctionnement amélioré par rapport au latéral en termes de coordination inter-carrefours ;
- Limitation du nombre de carrefours à feux > moins de perturbations dans le trafic quand le TZen circule ;
- Possibilité d'optimiser encore le fonctionnement des feux en travaillant finement la coordination entre les carrefours et le nombre de phases.



**ANNEXE 4 : ÉTUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES – ARTELIA – MARS 2021**

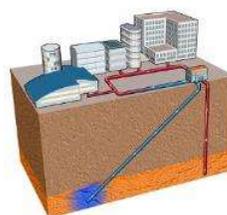


## ZAC Grigny – Viry Chatillon

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables

### RAPPORT PHASE 1 ET 2

Grand Paris Aménagement



## ZAC Grigny – Viry Chatillon

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables  
Grand Paris Aménagement  
Rapport phase 1 et 2

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
V0	Phase 1	NDI	AFN	AFN	Avril 2019
V1	Phase 1 révision	NDI	AFN	AFN	Février 2020
V2	Phase 2	NDI	AFN	AFN	Juin 2020
V3	Phase 2 révision	NDI	AFN	AFN	Mars 2021

### **ARTELIA**

#### **EAU, AFRIQUE ET MOYEN ORIENT**

#### **BRANCHE ÉNERGIES RENOUVELABLES**

Le First Part-Dieu  
2 Avenue Lacassagne  
69425 Lyon Cedex 03  
Tel. : +33 (0)4 37 65 56 00

# SOMMAIRE

<b>PRÉAMBULE .....</b>	<b>8</b>
Rappel des objectifs .....	8
Ressources bibliographiques utilisées .....	8
Clés de lecture .....	8
Lexique .....	9
<b>A. PHASE I : DIAGNOSTIC.....</b>	<b>10</b>
<b>1. PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE .....</b>	<b>11</b>
<b>2. PASSAGE EN REVUE DES DIFFÉRENTS GISEMENTS ÉNERGÉTIQUES .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Energie géothermale .....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Généralités.....	12
2.1.2. Aspects réglementaires .....	13
2.1.3. Géothermie sur nappe.....	16
2.1.4. Géothermie sur sonde verticale .....	19
<b>2.2. Energie biomasse .....</b>	<b>21</b>
2.2.1. Généralités.....	21
2.2.2. Bois-énergie .....	21
2.2.3. Biomasse agricole.....	23
2.2.4. Biogaz .....	24
2.2.4.1. Valorisation des déchets .....	24
2.2.4.2. Valorisation des sous-produits agro-alimentaires et boues de STEP .....	24
<b>2.3. Energie éolienne.....</b>	<b>25</b>
2.3.1. Généralités.....	25
2.3.2. Grand éolien .....	25
2.3.3. Moyen et petit éolien.....	27
<b>2.4. Hydroélectricité.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5. Energie solaire.....</b>	<b>29</b>
2.5.1. Solaire photovoltaïque (PV).....	29
2.5.1.1. Gisement solaire .....	29

2.5.1.2. Filière photovoltaïque .....	30
2.5.2. Solaire thermique.....	31
<b>2.6. Récupération.....</b>	<b>32</b>
2.6.1. Eaux usées .....	32
2.6.2. Unité de valorisation énergétique.....	32
2.6.3. Chaleur fatale.....	32
2.7. Opportunité raccordement réseau chaleur.....	33
<b>3. COMPARAISON ET SÉLECTION D'ENR .....</b>	<b>36</b>
<b>B. PHASE II : BESOINS ET POTENTIELS.....</b>	<b>39</b>
<b>1. ANALYSE DE LA FUTURE DEMANDE ÉNERGÉTIQUE .....</b>	<b>40</b>
1.1. Méthodologie et hypothèses.....	40
1.1.1. Périmètre de l'étude .....	40
1.1.2. Rappel du programme de construction.....	40
1.1.3. Niveaux de performance énergétique retenus .....	41
1.2. Description des besoins estimés.....	42
1.3. Evaluation des besoins énergétiques futurs.....	43
<b>2. CONSTRUCTION DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE .....</b>	<b>45</b>
2.1. Une conception bioclimatique et démarche de sobriété.....	45
2.2. Réduire les besoins de froid .....	46
<b>3. ANALYSE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1. Génération décentralisée d'électricité par effet photovoltaïque .....</b>	<b>47</b>
3.1.1. Montages organisationnels possibles.....	47
3.1.2. Potentiel technique .....	48
3.1.3. Approche économique .....	48
3.1.4. Approche environnementale .....	49
<b>3.2. Génération de la chaleur à partir de la ressource solaire (thermique).....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Gisement .....	51
3.2.2. Potentiel technique .....	51
3.2.3. Approche économique et environnementale .....	51

<b>3.3.</b>	<b>Génération de chaleur à partir de la ressource bois-énergie ....</b>	<b>53</b>
3.3.1.	Limites .....	53
3.3.2.	Approche économique .....	53
3.3.3.	Approche environnementale .....	54
<b>3.4.</b>	<b>Génération de la chaleur à partir de la ressource géothermale</b>	<b>56</b>
3.4.1.	Gisement .....	56
3.4.2.	Potentiel technique .....	56
3.4.3.	Approche économique et environnementale .....	56
<b>3.5.</b>	<b>Réseaux de chaleur .....</b>	<b>59</b>
3.5.1.	Approche économique et environnementale .....	59
3.5.2.	Raccordement au réseau de chaleur existant .....	59
3.5.3.	Création d'un réseau de chaleur .....	61
<b>4.</b>	<b>ELABORATION DE SCÉNARIIS INTÉGRANT LES ÉNERGIES RENOUVELABLES .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.</b>	<b>Hypothèses générales .....</b>	<b>63</b>
4.1.1.	Scénario de référence : recours aux « énergies traditionnelles » .....	63
	Hypothèses du scénario de référence.....	63
4.1.2.	Hypothèses concernant la consommation d'énergies primaires de la zone par scénario .....	64
4.1.3.	Hypothèses économiques.....	64
4.1.4.	Hypothèses environnementales .....	65
<b>4.2.</b>	<b>Scénario 1 : Solaire PV + solaire thermique.....</b>	<b>65</b>
4.2.1.	Description du scénario .....	65
4.2.2.	Résultats .....	65
<b>4.3.</b>	<b>Scénario 2 : raccordement réseau existant + solaire PV .....</b>	<b>67</b>
4.3.1.	Description du scénario .....	67
4.3.2.	Résultats .....	67
<b>4.4.</b>	<b>Scénario 3 : Création réseau bois énergie + solaire thermique.</b>	<b>69</b>
4.4.1.	Description du scénario .....	69
4.4.2.	Résultats .....	69
<b>4.5.</b>	<b>Comparatif des scénariis .....</b>	<b>71</b>
	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>74</b>

## FIGURES

Figure 1 : périmètre de la zone d'étude considérée (source : Grand Paris Aménagement) .....	11
Figure 2 : Schématisation des différentes pratiques de la géothermie .....	13
Figure 3 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur échangeur fermé (Source : geothermies.fr).....	14
Figure 4 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur échangeur ouvert (Source : geothermies.fr).....	15
Figure 5 : Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère autour de la zone d'étude sur système ouvert (Source : géothermie perspectives).....	16
Figure 6 :Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère profond (source : BRGM, évaluation du potentiel géothermique de l'Essonne <a href="http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56966-FR.pdf">http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56966-FR.pdf</a> ).....	17
Figure 7: Mode d'emploi de la géothermie à Grigny ( <a href="http://grigny91.fr/grigny-avance/geothermie/">http://grigny91.fr/grigny-avance/geothermie/</a> ) .....	19
Figure 8 : Carte des producteurs de bois de chauffage (en orange) et des fournisseurs de bois déchiqueté en Ile-de-France (en vert) (source : FRANCILBOIS, observatoire du bois énergie d'Île-de-France) .....	21
Figure 9: Répartition des types de cultures en Île-de-France (Source : Agreste).....	23
Figure 10 : Localisation des STEP autour de la zone d'étude (source : <a href="http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/">http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/</a> ) .....	25
Figure 11 : Gisement éolien régional (Source: SRE Île-de-France).....	26
Figure 12 : Carte des zones favorables à l'implantation de l'éolien en Île-de-France (source : SRE Île-de-France 2012).....	27
Figure 13 : Réseau hydrographique à proximité de la zone d'étude (Source : Geoportail) .....	28
Figure 14 : Carte du potentiel solaire (Irradiation solaire globale sur le plan horizontal) (Source : Global Solar Atlas).....	30
Figure 15 : Carte des réseaux chaleur autour de la zone d'étude, réseau géré par la SEER (Source : <a href="http://carmen.developpement-durable.gouv.fr">carmen.developpement-durable.gouv.fr</a> ) .....	34
Figure 16 : Quartiers concernés par le réseau chaleur de Grigny et Viry-Chatillon (Source : <a href="http://www.viry-chatillon.fr/images/rubriques/cadrevie/environnement/pdf/geothermie.pdf">http://www.viry-chatillon.fr/images/rubriques/cadrevie/environnement/pdf/geothermie.pdf</a> ) .....	35
Figure 17 : Différents périmètres de l'OIN Grigny-Viry. La zone d'étude sur laquelle se focalise ce rapport est la ZAC Grande Borne Ouest (source : Grand Paris Aménagement, 2020).....	40
Figure 18 : Répartition des besoins énergétiques en fonction des usages (en %) (source : ARTELIA, 2020) .....	44
Figure 19 : Couverture en énergies renouvelables des besoins de la ZAC - Scénario 1 .....	67
Figure 20 : Couverture en énergies renouvelables et/ou du réseau des besoins de la zone d'études – scénario 2 .....	69
Figure 21 : Couverture en énergies renouvelables et/ou du réseau des besoins de la zones d'étude – scénario 3 .....	71
Figure 22 : Comparaison des scénarii avec le scénario de référence .....	72

## TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des gisements analysés .....	37
Tableau 2 : Récapitulatif des surfaces du programme de construction .....	41
Tableau 3 : Hypothèses sur les données du projet pour l'estimation des besoins en énergie de la ZAC .....	42
Tableau 4: Bilan des besoins énergétiques surfaciques de l'opération par usage et activité.....	43
Tableau 5 : Bilan des besoins énergétiques de l'opération par usage et activités .....	43

Tableau 6 : Bilan du potentiel technique photovoltaïque .....	50
Tableau 7 : Bilan du potentiel technique solaire thermique.....	52
Tableau 8 : Bilan de potentiel technique de la filière bois-énergie.....	55
Tableau 9 : Bilan du potentiel de la ressource géothermale.....	58
Tableau 10 : Bilan du potentiel de raccordement au réseau de chaleur existant .....	60
Tableau 11 : Bilan du potentiel de la création d'un nouveau réseau de chaleur .....	62
Tableau 12 : Caractéristiques techniques et économiques des énergies renouvelables du scénario 1 .....	66
Tableau 13 : Caractéristiques techniques et économiques des énergies renouvelables du scénario 2 .....	68
Tableau 14 : Caractéristiques techniques et économiques des énergies renouvelables du scénario 3 .....	70

## PREAMBULE

### Rappel des objectifs

L'objectif de la présente mission consiste à réaliser pour Grand Paris Aménagement une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables du site de l'opération d'intérêt national (OIN) de Grigny et Viry-Châtillon, en accord avec les dispositions législatives en vigueur (article L 128-4 du Code de l'Urbanisme).

L'étude est menée selon deux phases principales :

- **Phase 1 « Diagnostic et besoins »** sur la base du programme d'aménagement de la zone, les ressources maximales en énergies renouvelables et de récupération disponibles, pour ensuite sélectionner les énergies renouvelables ayant le potentiel le plus intéressant dans le cadre du projet. La phase 1 s'achève par la sélection des filières EnR les plus pertinentes pour le projet.
- **Phase 2 – « Faisabilité » (ou préconisations)** Cette deuxième phase étudiera la faisabilité d'intégration des énergies renouvelables sélectionnées à partir de plusieurs scénarii d'énergies issus de la première phase. Cette phase se terminera par la phase de restitution.

### Ressources bibliographiques utilisées

- Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie de l'Île-de-France, 2012
- Schéma régional éolien Île-de-France, septembre 2012
- Tableau de bord de l'énergie en Île-de-France, édition 2014, consommations finales 2009 et production d'énergies renouvelables 2012, Arene
- La géothermie arrive chez vous, juin 2016, ville de Grigny
- Ressources géothermiques du département de l'Essonne (91), rapport de synthèse, BRGM, décembre 2008

### Clés de lecture

Afin de contextualiser le projet dans un cadre plus large, les objectifs et grandeurs sont rappelés pour chaque filière à l'échelle régionale et locale. Ceux-ci sont surlignés en bleu.

Les conclusions intermédiaires sont dans un cadre bleu

Les conclusions sur la pertinence de chaque filière sont surlignées en gris

## Lexique

<b>EnR</b>	Energies Renouvelables
<b>RT2012</b>	Réglementation Thermique 2012
<b>SDP</b>	Surface de plancher
<b>Cep</b>	Consommation conventionnelle en énergie primaire
<b>SRCAE</b>	Schéma Régional Climat Air Energie
<b>SRE</b>	Schéma Régional Eolien
<b>PCAET</b>	Plan Climat Air Energie Territorial
<b>PLU</b>	Plan Local d'Urbanisme
<b>5C</b>	Communauté de Communes Cœurs et Coteaux du Comminges
<b>SHP</b>	Sodium Haute Pression
<b>ECS</b>	Eau Chaude Sanitaire
<b>CESI</b>	Chauffe-Eau Solaire Individuel
<b>CESC</b>	Chauffe-Eau Solaire Collectif
<b>PAC</b>	Pompe à Chaleur
<b>CGA</b>	Coût global actualisé

<b>tep</b>	tonne équivalent pétrole
<b>ktep</b>	kilotonne équivalent pétrole
<b>kW<sub>e</sub></b>	kilowatt électrique
<b>kW<sub>th</sub></b>	kilowatt thermique
<b>kW<sub>f</sub></b>	kilowatt frigorifique
<b>W<sub>c</sub></b>	Watt crête (puissance électrique d'une installation photovoltaïque dans les conditions standards : 1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C)
<b>kWh<sub>ep</sub></b>	kilowattheure énergie primaire
<b>kWh<sub>f</sub></b>	kilowattheure énergie finale



# A. PHASE I : DIAGNOSTIC

Cette partie traite des résultats de l'étude de Phase 1 – Diagnostic

## 1. PERIMETRE D'ETUDE

Le périmètre considéré pour la suivante étude est représenté ci-dessous (en rouge) :

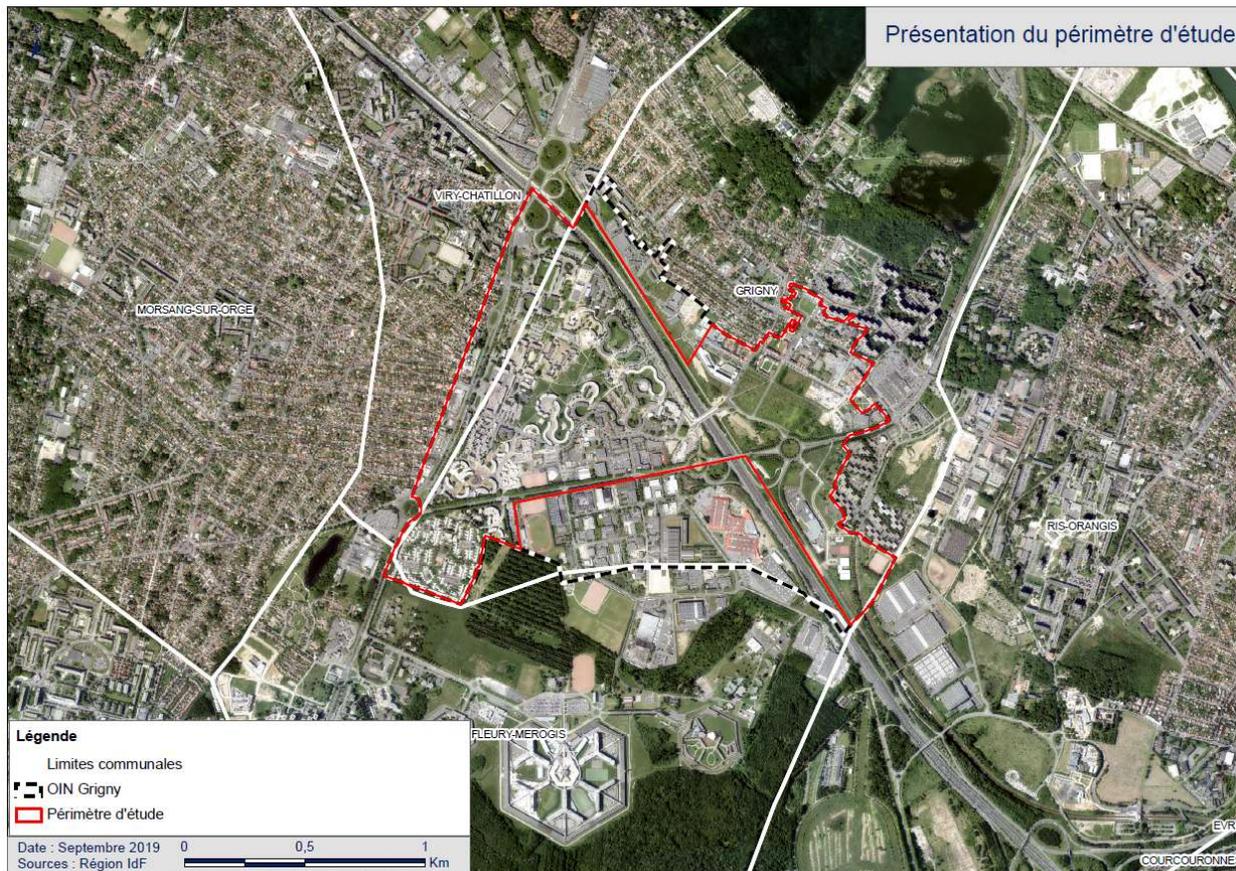


Figure 1 : périmètre de la zone d'étude considérée (source : Grand Paris Aménagement)

## 2. PASSAGE EN REVUE DES DIFFERENTS GISEMENTS ENERGETIQUES

Cette partie s'attache à présenter les gisements bruts mobilisables au regard de la localisation du futur projet :

- Ressource géothermale ;
- Ressource solaire photovoltaïque et thermique (ensoleillement moyen annuel) ;
- Ressources biomasse : bois-énergie, biogaz ;
- Ressource éolienne terrestre ;

- Ressource hydraulique ;
- Récupération d'eaux usées, chaleur fatale ;
- Opportunité de raccordement/création d'un réseau de chaleur

Une fois la ressource en EnR évaluée, ARTELIA formulera des recommandations sur les opportunités de mise en place des différentes technologies EnR sur la zone. Pour chacune de ces solutions, ARTELIA décrira les caractéristiques d'implantation et les mises en garde afin d'alimenter les réflexions lors de l'élaboration du plan de masse.

Les parties qui suivent détailleront la ressource disponible et les préconisations pour chaque énergie envisagée. Il conviendra à ce stade de bien faire la distinction entre :

- Les énergies qui vont directement contribuer à l'approvisionnement en énergie de la zone d'étude, en répondant aux besoins identifiés précédemment (solaire thermique, biomasse, etc.) ;
- Les énergies qui pourraient être développées, à titre expérimental, à titre d'image ou à des fins économiques, mais qui ne répondront pas aux besoins, car provenant d'une source d'énergie intermittente. Il s'agit là du solaire photovoltaïque ou de l'éolien pour lesquels, à moins de mettre en place des systèmes de stockage coûteux, la production d'énergie (en l'occurrence d'électricité) est réalisée selon le gisement (vent, soleil) et non obligatoirement en phase avec les besoins. La production sera probablement réinjectée sur le réseau électrique pour bénéficier des mécanismes d'aide propres à chacune des filières. La production d'énergie d'origine renouvelable vient alors compenser « virtuellement » une partie des besoins de la zone d'étude.

## 2.1. ENERGIE GEOTHERMALE

L'énergie géothermale est de plus en plus présente dans le mix énergétique des réseaux de chaleur en Île de France. En effet, la ville de Grigny dispose déjà d'un puit de géothermie alimentant son réseau de chaleur. Cette partie traite du potentiel brut et du contexte réglementaire de la filière dans le périmètre étudié. Les opportunités de raccordement aux réseaux de chaleur existants sont traitées dans la partie 2.7 du rapport.

### 2.1.1. Généralités

On distingue en géothermie :

- **La géothermie haute énergie** (température supérieure à 150°C) : il s'agit de réservoirs généralement localisés entre 1 500 m et 3 000 m de profondeur. Lorsqu'un tel réservoir existe, le fluide peut être capté directement sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.
- **La géothermie moyenne énergie** (température comprise entre 90°C et 150°C) : le BRGM la définit comme une zone propice à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 m. Elle est adaptée à la production d'électricité grâce à une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire.

Ces deux premiers types de géothermie nécessitent des investissements importants et sont réservés à des projets d'ampleur (réseau de chaleur ou production d'électricité). La mise en œuvre employée de ce genre de système n'est envisageable que pour des puissances de plusieurs MW. Par ailleurs, ils demandent des contextes géologiques bien particuliers (présence d'une ressource à haute température). Ces solutions ne sont donc pas adaptées au projet étudié.

- **La géothermie basse énergie** (température comprise entre 30°C et 90°C) : elle concerne l'extraction d'eau inférieure à 90°C dont le niveau de chaleur est insuffisant pour la production d'électricité mais adapté à une utilisation directe (sans pompe à chaleur) pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.

- La **géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : elle concerne l'exploitation des aquifères peu profonds et de l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines, voire quelques centaines de mètres. Il s'agit de nappes d'eau souterraine et sols peu profonds dont la température est inférieure à 30°C et qui permettent la production de chaleur via des équipements complémentaires (pompe à chaleur notamment). On recense deux techniques en géothermie très basse énergie :
  - La géothermie sur nappe, qui consiste à pomper l'eau de la nappe souterraine pour en extraire les calories dans la pompe à chaleur, puis à la réinjecter dans la nappe (circuit ouvert),
  - La géothermie sur sondes sèches, qui consiste à faire circuler un fluide caloporteur dans des sondes (circuit fermé), puis à en extraire la chaleur.

La géothermie très basse énergie est la plus simple à mettre en place en termes de potentiel et de faisabilité technique (réglementation, coûts, etc.). Il est à noter que le recours à ce type de géothermie peut fournir de la chaleur mais aussi un rafraîchissement direct (géocooling) ou une climatisation (via une pompe à chaleur) pendant la période estivale.

La géothermie profonde en Île-de-France représentait 1 175 GWh en 2012. Le SRCAE indiquait que le potentiel de géothermie est important dans la région étant donné les nombreux aquifères qui y existent, qu'ils soient superficiels ou profonds. Le schéma visait comme objectif d'atteindre 2 000 GWh/an de production géothermique en 2020.

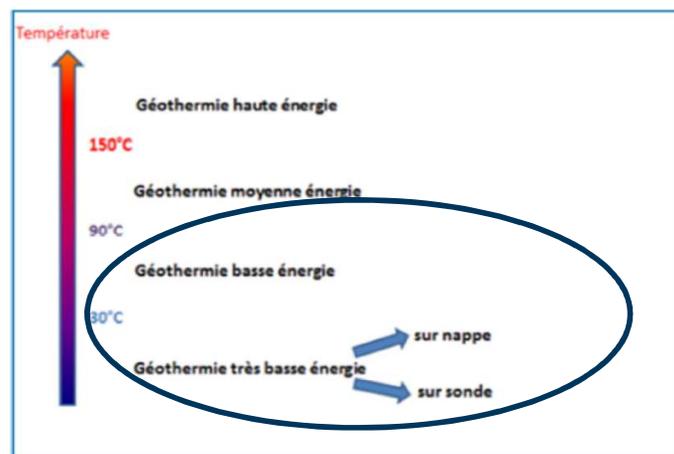


Figure 2 : Schématisation des différentes pratiques de la géothermie

### 2.1.2. Aspects réglementaires

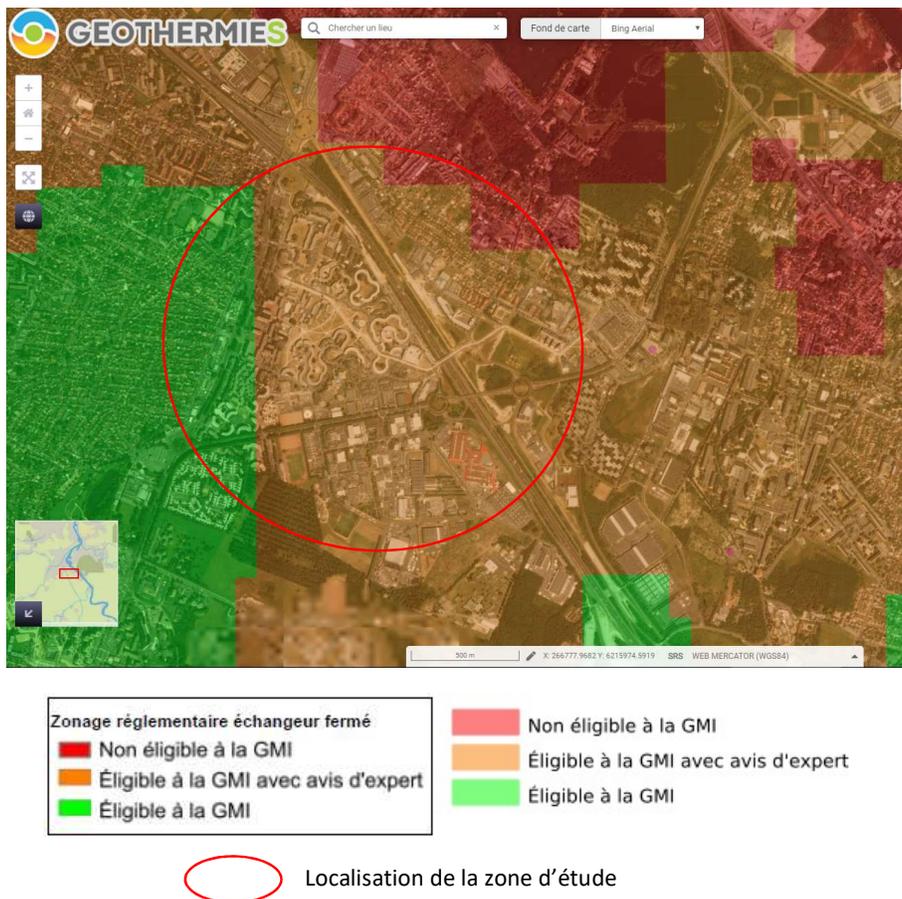
D'un point de vue réglementaire, le nouveau code minier définit les activités ou installations de géothermie dites de minime importance (GMI) qui n'ont pas d'incidence significative sur l'environnement et il en élargit le périmètre. Le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 qui définit et régit les activités de géothermie dite de minime importance simplifie le cadre réglementaire qui leur est applicable en substituant au régime d'autorisation en vigueur une déclaration de travaux effectuée par voie dématérialisée.

Un zonage (Source : <https://www.geothermies.fr/viewer/>) a été publié pour apprécier l'éligibilité à ce statut de géothermie de minime importance, il comporte :

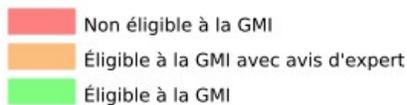
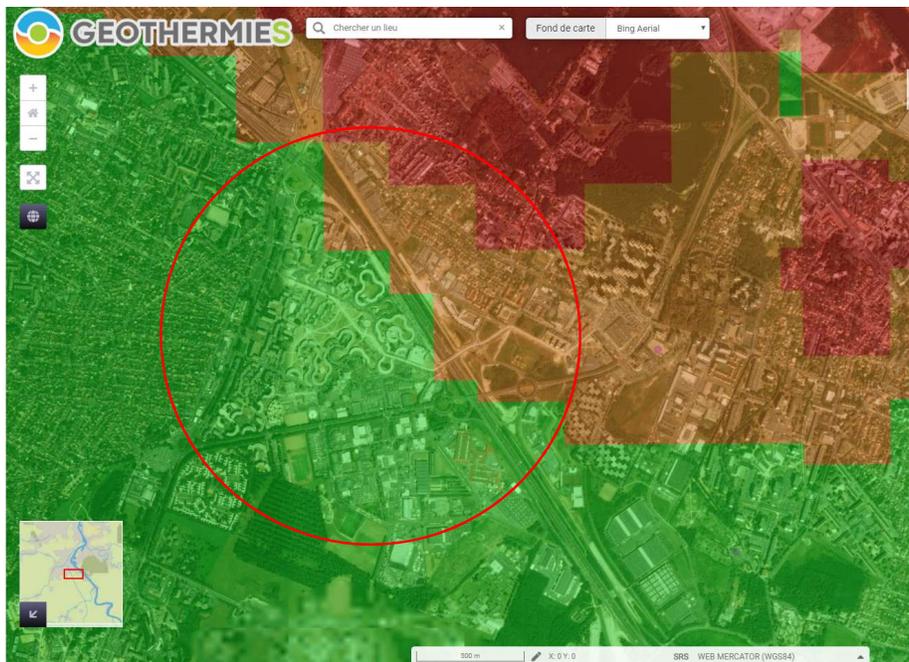
- Des zones ne présentant pas de risques, dites vertes ;
- Des zones dans lesquelles, en l'absence de connaissances suffisantes des risques ou compte tenu de risques déjà identifiés, il doit être joint à la déclaration l'attestation d'un expert agréé, qui garantit l'absence de risques graves du projet ;

- Des zones à risque significatif dans lesquelles les ouvrages de géothermie ne pourront pas être considérés de minime importance, dites zones rouges. Dans ces zones, un projet ne pourra être réalisé qu'après autorisation complète de l'installation au titre du code Minier.

L'éligibilité à la géothermie de minime importance pour ce projet est représentée sur les figures ci-après :



**Figure 3 :** Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur échangeur **fermé** (Source : [geothermies.fr](http://geothermies.fr))



 Localisation de la zone d'étude

**Figure 4 :** Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur échangeur **ouvert** (Source : *geothermies.fr*)

La zone d'aménagement étudiée est :

- Pour les installations à **échangeur ouvert**<sup>1</sup>, située en grande partie sur une surface éligible à la GMI
- Pour les installations à **échangeur fermé**<sup>2</sup>, située à l'intersection de surfaces éligibles à la GMI et de surfaces éligibles à la GMI avec avis d'expert

<sup>1</sup> Les ressources géothermiques dites « en boucle ouverte » proviennent des nappes d'eau souterraine. Un système géothermique en boucle ouverte nécessite un doublet de forage : un forage utilisé pour pomper l'eau souterraine vers l'échangeur thermique (puis la PAC) et un second forage pour assurer la réinjection de l'eau souterraine dans son milieu d'origine.

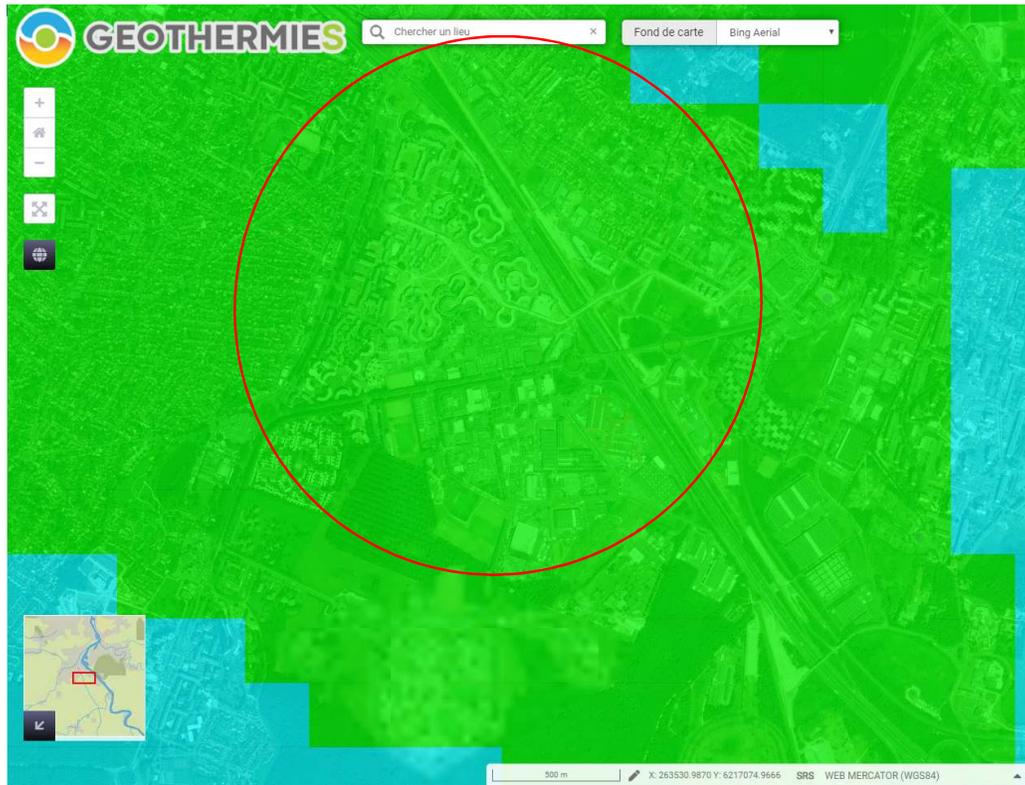
<sup>2</sup> Les ressources géothermiques dites "en boucle fermé" se situent au sein de roches du sous-sol. Les systèmes géothermiques associés sont constitués d'une boucle dans laquelle circule un fluide caloporteur qui transmet son énergie à une PAC.

Source : *geothermies.fr*

### 2.1.3. Géothermie sur nappe

La géothermie sur aquifère consiste à pomper l'eau d'une nappe souterraine par forage jusqu'à la pompe à chaleur permettant d'en extraire des calories. Elle est ensuite réinjectée dans l'aquifère.

Un zonage des caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère est publié par le BRGM (<https://www.geothermies.fr/viewer/>) :



Ressources géothermiques de surface sur système ouvert (nappe) en Ile de France



  Localisation de la zone d'étude

**Figure 5 :** Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère autour de la zone d'étude sur système ouvert (Source : géothermie perspectives)

**Les caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère autour de la zone d'étude sont moyennes.** Ce zonage concerne les caractéristiques des aquifères superficiels (Oligocène, Eocène supérieur, moyen et inférieur et la Craie).

En ce qui concerne les aquifères profonds, il faut noter que deux nappes profondes sont exploitables en Essonne, le crétacé inférieur (aquifères de l'Albien et du Néocomien-Barrémien) et le Jurassique Moyen (aquifère du Dogger). L'exploitabilité de ces deux aquifères est représentée ci-dessous :

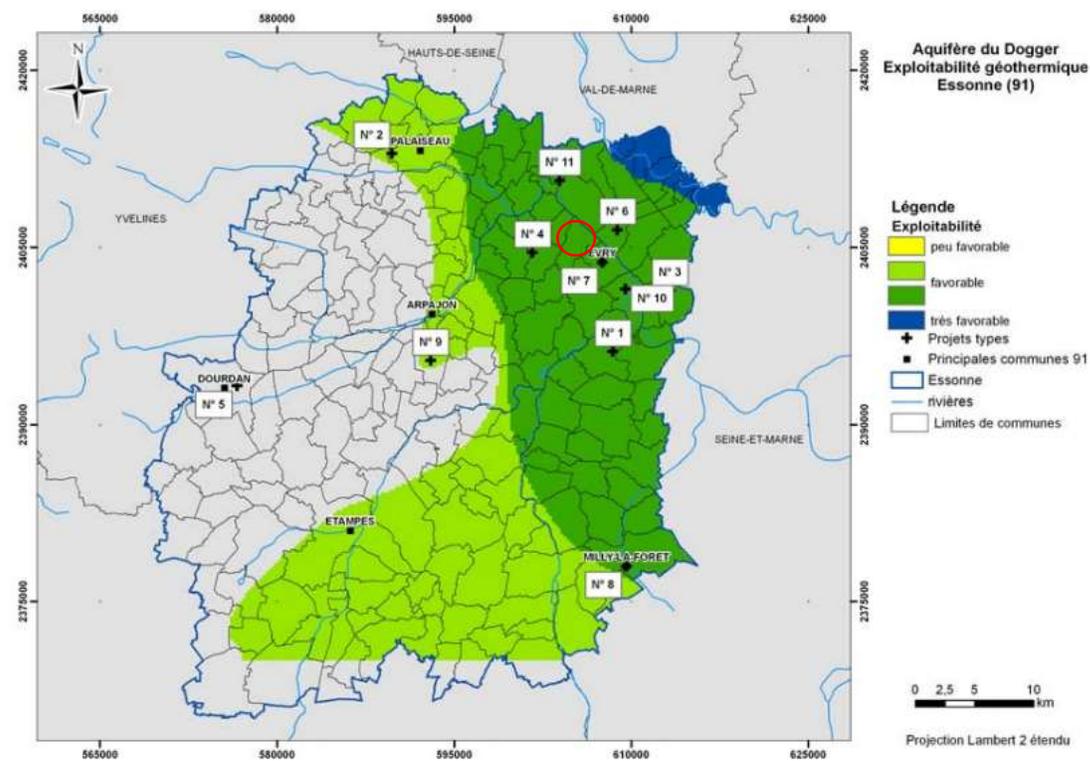
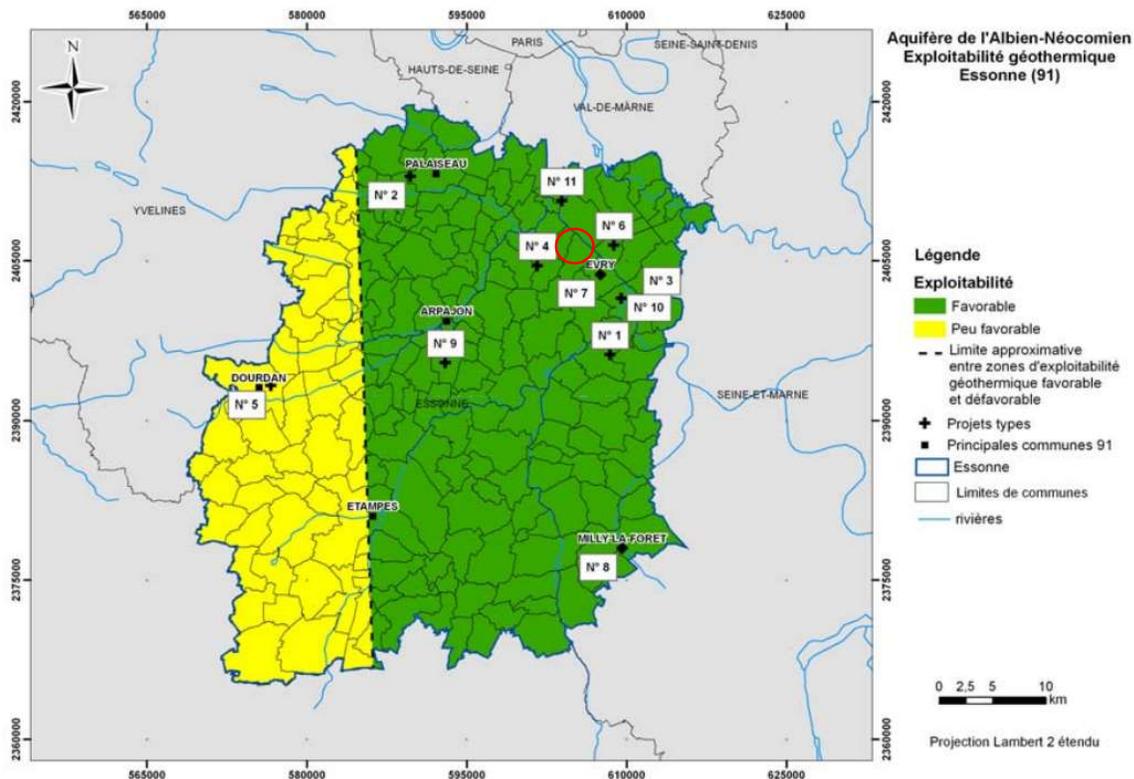


Figure 6 :Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère profond (source : BRGM, évaluation du potentiel géothermique de l'Essonne <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56966-FR.pdf>)

**La zone d'étude est située en zone d'exploitabilité favorable pour les deux aquifères profonds.** Cependant, le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) réglemente fortement l'accès à ces deux aquifères, et une analyse fine sur la possibilité d'exploitation dans la zone doit être réalisée.

Les caractéristiques de ces deux aquifères sont les suivantes :

Crétacé inférieur :

- Température : 25 - 30°C pour Albien et 30 – 45°C pour Néocomien
- Profondeur : 300 – 400 m pour Albien et 400 – 900 m pour Néocomien
- Débit (maxi testé de réinjection) : 120 m<sup>3</sup>/h
- Puissance maximale thermique par forage : 3 200 – 4 800 kW

Dogger :

- Température : 65 – 77°C
- Profondeur : 1 300 – 1 600 m
- Débit : 200 – 250 m<sup>3</sup>/h
- Puissance maximale thermique par forage : 8 000 – 10 000 kW

Par ailleurs, les données fournies par la DRIEE sur le potentiel de la géothermie profonde en Île-de-France ([http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/18/donnees\\_publicques\\_IDF.map#](http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/18/donnees_publicques_IDF.map#)), Grigny est caractérisée comme une commune où il existe un réseau de chaleur géothermisable par des ressources profondes.

**La zone d'étude présente des caractéristiques géothermiques moyennes du milieu aquifère superficiel. L'exploitation de la géothermie basse énergie et très basse énergie sur nappe sont envisageables sur la zone d'étude.**

Il est intéressant de se pencher sur les caractéristiques du puit de géothermie alimentant le réseau de Grigny. Les données communiquées suite à nos échanges avec la SEER (société d'exploitation des énergies renouvelables) de Grigny Viry sont les suivantes :

Propriétés de la ressource géothermique :

- Profondeur du forage : 1 613 m
- Température de l'eau souterraine au forage (en °C) : 71°
- Débit de pompage nécessaire (en m<sup>3</sup>/h) : 300 m<sup>3</sup>/h
- Production annuelle totale par géothermie (MWh) : 46 680 MWh
- Pas de PAC utilisée

Les données liées au réseau de chaleur et aux perspectives de raccordement sont traitées dans une partie dédiée (partie 2.7).

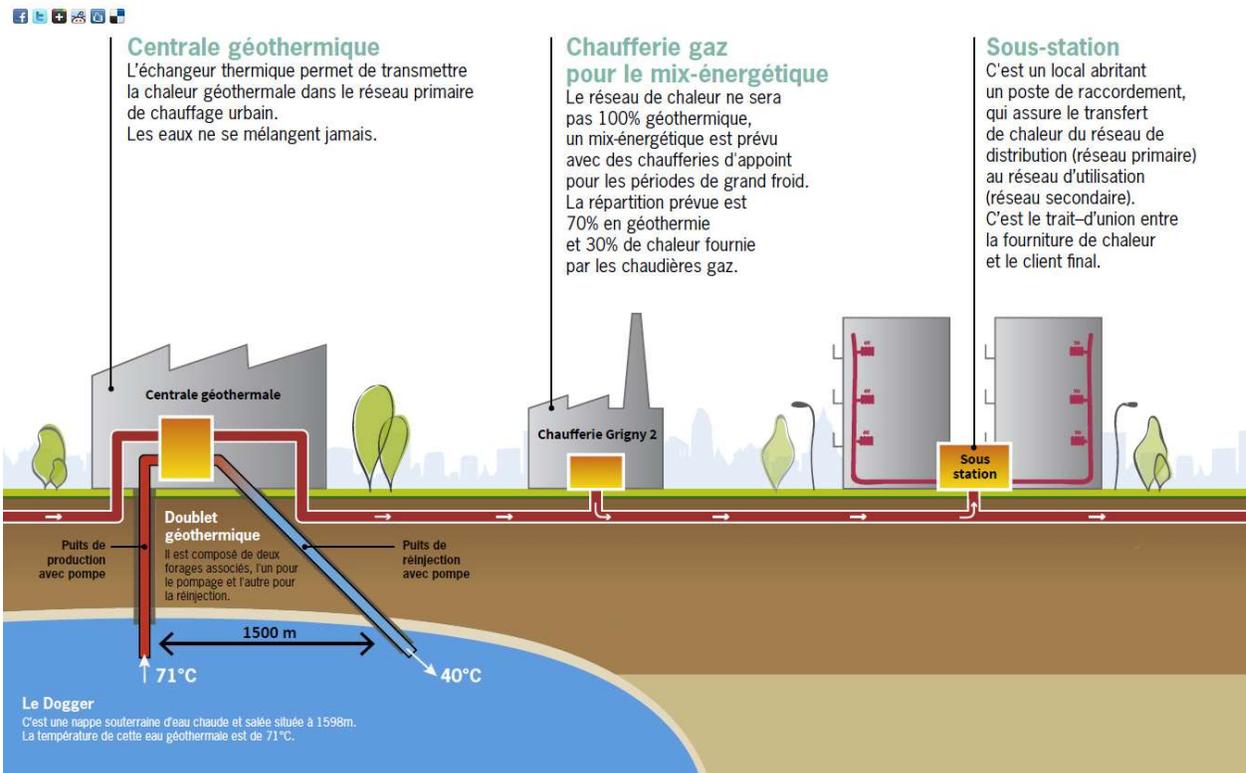


Figure 7: Mode d'emploi de la géothermie à Grigny (<http://griqny91.fr/griqny-avance/geothermie/>)

#### 2.1.4. Géothermie sur sonde verticale

Les sondes verticales permettent d'exploiter l'énergie du sol même en absence de nappe. La capacité de prélèvement dépend de la nature des roches traversées. Des études spécifiques sont à réaliser dans la zone concernée pour déterminer le potentiel et la profondeur à forer.

Il faut noter que la réglementation impose à tout forage d'au-delà de 200 m une autorisation administrative. Ainsi, la plupart des forages sur sonde n'excèdent pas les 200 m. La puissance soutirée du sous-sol est de l'ordre de 45 W/ml (puissance source froide de la pompe à chaleur).

Pour donner une idée, la puissance soutirée du sous-sol est de l'ordre de 45 W/ml (puissance source froide de la pompe à chaleur). Deux sondes géothermiques de 60 m de profondeur peuvent chauffer une maison de 100 m<sup>2</sup>.

Afin de vérifier la possibilité de la mise en place de sondes verticales, il est nécessaire de s'assurer du **respect d'une distance minimale** pour éviter les interactions thermiques et mécaniques avec d'autres éléments du sous-sol : canalisations, ouvrages enterrés, arbres... Il est également nécessaire de vérifier que le forage n'ait pas lieu dans un périmètre de protection d'un captage d'eau potable.

Le principal inconvénient de cette technique est la nécessité de **mettre en place plusieurs sondes et donc le caractère potentiellement encombrant de l'installation**. Ces dernières doivent être distantes de 10 m, d'où un grand besoin d'espace d'implantation.

**Une étude plus fine au niveau de la zone d'étude doit être réalisée afin de confirmer la possibilité de mettre en place de la géothermie sur sonde verticale.** L'étude doit vérifier le respect des autres éléments du sous-sol, ainsi que la faisabilité du forage par rapport à la nature du sous-sol. La profondeur possible de forage ainsi que la puissance potentielle échangée doivent être évaluées.

#### PERTINENCE DU GISEMENT

Potentiel moyen pour la géothermie sur nappe (à retenir pour la scénarisation) / à préciser pour la géothermie sur sonde

La présence du quartier sur une zone présentant des caractéristiques favorables du meilleur aquifère est une opportunité pour développer davantage la filière.

## 2.2. ENERGIE BIOMASSE

### 2.2.1. Généralités

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques, d'origine végétale ou animale, pouvant être utilisées pour produire de l'énergie. Ce paragraphe traite de la biomasse végétale sous la forme de bois ou de déchets agricoles.

La combustion de la biomasse est considérée comme non émettrice de gaz à effet de serre car l'intégralité du CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère lors de sa combustion a été prélevée dans cette même atmosphère lors de la phase de croissance de la biomasse. Sous réserve d'une gestion responsable et durable des forêts (ou autres gisements en biomasse), le bilan CO<sub>2</sub> de photosynthèse-combustion est donc neutre.

Cependant la combustion de 1 kWh PCI de biomasse est pondérée de l'émission de 0,004 à 0,015 kgCO<sub>2</sub>e (source : ADEME) dû aux transformations de la récolte jusqu'à sa mise en forme combustible. Au regard des autres énergies (0,235 kgCO<sub>2</sub>e pour 1 kWh PCI de gaz produit puis brûlé), la biomasse reste une énergie peu carbonée.

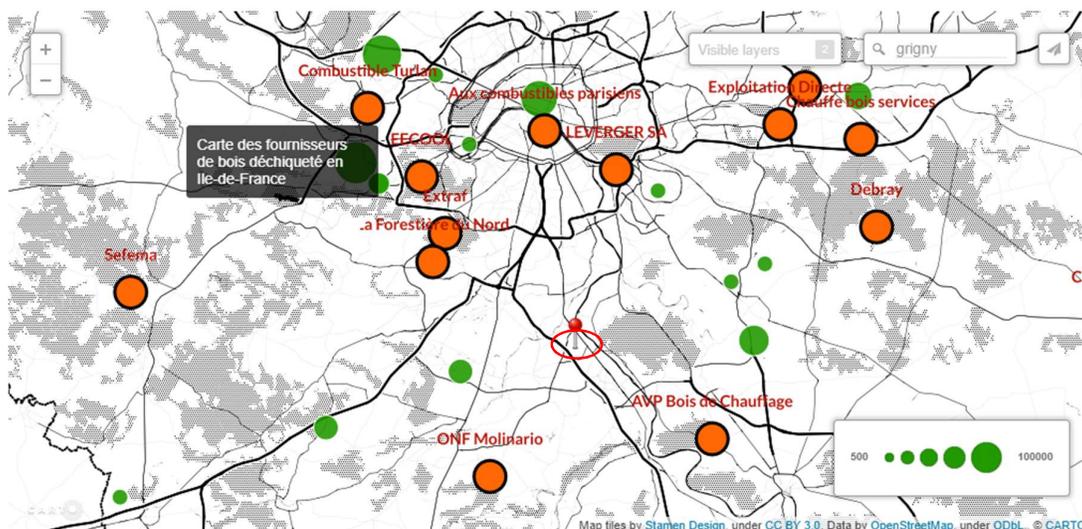
### 2.2.2. Bois-énergie

La forêt représente 261 000 ha de territoire francilien (source IFN 2013), correspondant à un taux de boisement de 21% avec une répartition spatiale régionale très hétérogène.

Le territoire Île-de-France recensait 53 chaufferies biomasse en 2012 avec une puissance cumulée de 99,6 MW et une production de 370 GWh.

Selon le SRCAE, les ressources de bois énergie les plus importantes en Île-de-France sont celles des bois déchets non souillés de classe A provenant des déchets des ménages, des déchets du BTP et des déchets provenant d'autres activités économiques. En deuxième lieu, viennent le bois forestier et la paille. L'objectif retenu pour 2020 est de 2,4 TWh en énergie primaire consommée provenant de biomasse en réseaux de chauffage urbain.

L'observatoire du bois énergie d'Île-de-France (francilbois) fournit la répartition suivante des acteurs du bois sur le territoire concernant la zone d'étude :



**Figure 8 :** Carte des producteurs de bois de chauffage (en orange) et des fournisseurs de bois déchiqueté en Ile-de-France (en vert) (source : FRANCILBOIS, observatoire du bois énergie d'Île-de-France)

Aucun acteur, producteur de bois ou fournisseur de bois déchiqueté n'est recensé à proximité immédiate de la zone d'étude (rayon < 10 km). **La mise en place d'une nouvelle chaufferie biomasse autour de la ZAC présenterait donc un enjeu en termes de rentabilité et de transport des ressources bois énergie.**

Cependant, des chaufferies biomasse collectives liées à des réseaux de chaleur sont recensées à Savigny-sur-Orge (chaufferie collective dédiée raccordée à des logements sociaux, 720 kW de puissance), à Evry (chaufferie collective sur réseau de chaleur, 3 500 kW de puissance). Ces chaufferies sont situées à proximité de producteurs de bois, respectivement La Forestière du Nord (Igny, environ 15 km de la zone d'études) et AVP Bois de Chauffage (Savigny-le-Temple, 16 km environ de la zone d'études). A cela, s'ajoute la chaufferie bois à Ris-Orangis (éco-quartier des Dock, chaudière bois de 800 kW, à environ 4 km de la zone d'études mais présentant un bassin d'approvisionnement situé dans un rayon de 80 km autour de Ris-Orangis). Ces chaufferies ne présentent pas une proximité immédiate avec la zone d'étude et ne peuvent donc pas être raccordées directement. Cependant, elles témoignent de la disponibilité de la ressource bois-énergie dans le périmètre large de Grigny.

**Etant donné l'existence de producteurs de bois et des chaufferies biomasse dans un rayon d'environ 20 km de la zone d'étude, le potentiel en bois-énergie pourra être examiné.**

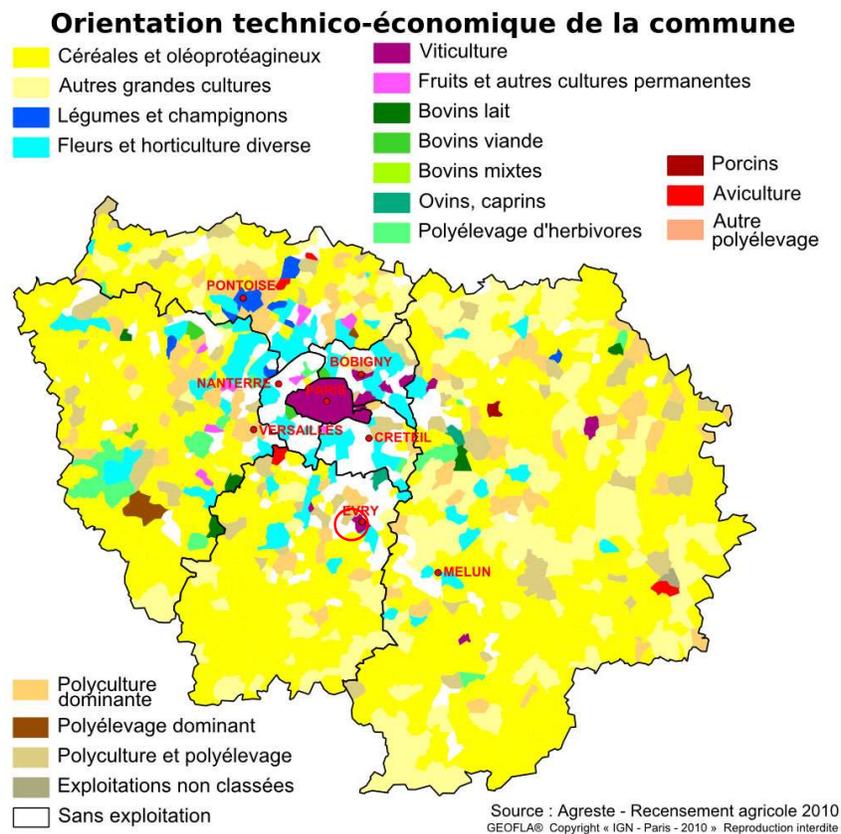
### 2.2.3. Biomasse agricole

On entend par biomasse agricole les sous-produits d'exploitation ne présentant plus de valorisation possible en termes d'alimentation ou d'utilisation comme matière première techniquement, économiquement et écologiquement viable. Le Grenelle 1 de l'environnement définit clairement cette priorité d'usage au recours de la biomasse en général :

- Priorité 1 : alimentaires ;
- Priorité 2 : matériaux ;
- Priorité 3 : énergie.

L'utilisation de ces sous-produits en valorisation énergétique est généralement rendue compliquée par la diversité des matériaux (générant autant de procédés différents), leur répartition géographique, leur périodicité de disponibilité et l'absence de filières dédiées. Une grande partie des sous-produits existants est d'ores et souvent déjà utilisée pour des usages agricoles (retour organique à la terre, constitution de litières pour le bétail, etc.).

La carte ci-dessous présente la diversité des cultures aux alentours de la zone d'étude (source Agreste) :



**Figure 9:** Répartition des types de cultures en Île-de-France (Source : Agreste)

Les alentours du périmètre de la zone d'étude sont en partie non exploités, et en partie dédiés à la polyculture et au polyélevage. Les ressources disponibles sur le périmètre strict de la zone d'étude sont limitées.

Le développement d'une solution biomasse agricole pour cette zone d'étude paraît difficilement envisageable. La zone est en effet entourée de terrains non exploités et la diversité des cultures dans les zones exploitées ne facilite pas la valorisation des sous-produits agricoles.

#### 2.2.4. Biogaz

Le biogaz est un gaz issu de la fermentation de matières organiques animales ou végétales. Une fois récupéré, il peut être valorisé sous forme de chaleur et/ou d'électricité. Deux techniques de production existent : la méthanisation ou la récupération sur centre d'enfouissement technique. Seule la méthanisation dans un digesteur semble adaptée aux contraintes d'un projet d'aménagement urbain.

Le SRCAE affiche un objectif de production de biogaz sur le territoire francilien pour atteindre une production de l'ordre de 2000 GWh/an en 2020. Le territoire francilien dispose de 13 unités biogaz (2012) présentant une puissance cumulée de 32 MW (175 GWh de production annuelle).

##### 2.2.4.1. Valorisation des déchets

Le biogaz est constitué à la fois de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de méthane (CH<sub>4</sub>) dont les proportions peuvent varier selon la qualité des déchets et le processus de méthanisation. Dans le cas d'un digesteur moderne, la teneur en CH<sub>4</sub> du biogaz peut aisément atteindre 50%, la production de méthane par tonne de déchets organiques est donc de l'ordre de 110 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tbp.

A titre d'exemple, un habitant français moyen génère environ 350 kg de déchets ménagers chaque année, dont environ 55% peuvent servir à la méthanisation.

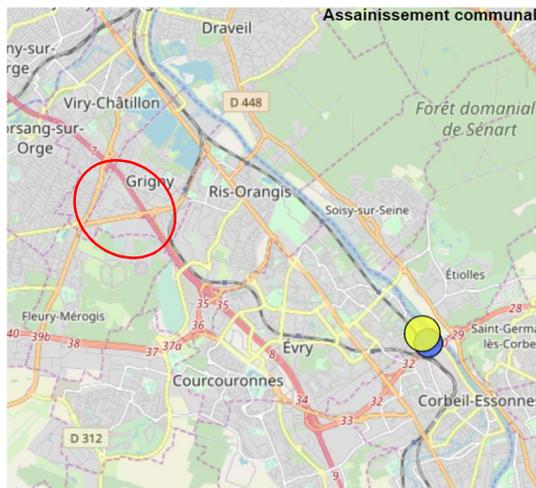
A ce stade de la programmation il n'est toujours pas possible de connaître de manière précise le gisement de déchets organiques qui sera produit. Il n'est donc pas possible à ce stade de connaître la rentabilité d'une éventuelle installation de méthanisation sachant que parmi les déchets issus de la ZAC, seuls les **déchets ménagers** pourraient y être utilisés. Le gisement sur le périmètre strict ne sera probablement pas suffisamment significatif. Une étude plus large incluant d'autres zones pourrait être développée pour connaître le potentiel général de méthanisation, dans le cadre d'une éventuelle conception d'un méthaniseur à Grigny.

Le potentiel de la valorisation des déchets dans la zone d'étude n'est pas connu à ce stade. La mise en place d'une solution de biogaz présente des enjeux complexes pour un gisement peu connu à ce stade.

##### 2.2.4.2. Valorisation des sous-produits agro-alimentaires et boues de STEP

Certaines productions ou certains résidus d'agriculture ou d'élevage ainsi que les boues de STEP peuvent également donner lieu à la production de biogaz via une unité de méthanisation.

Les deux stations d'épurations les plus proches de la zone d'étude sont celles de la commune Evry-Courcouronnes et celle de la commune de Corbeil-Essonnes :



○ Localisation de la zone d'étude

**Figure 10 :** Localisation des STEP autour de la zone d'étude (source : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>)

Cependant, les deux stations ne sont pas dans le périmètre proche de la zone et les informations sur la destination des boues ne sont pas disponibles.

La valorisation des sous-produits de STEP n'est pas envisageable pour la zone d'étude.

#### PERTINENCE DU GISEMENT

Potentiel moyen pour le **bois-énergie**/

Potentiel faible pour la **biomasse agricole et la méthanisation**

## 2.3. ENERGIE EOLIENNE

### 2.3.1. Généralités

L'énergie éolienne consiste à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, par l'intermédiaire d'une éolienne. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau). L'application « connecté réseau » ou « grand éolien » représente, en termes de puissance installée, la quasi-totalité du marché éolien. De même que les systèmes solaires, les systèmes éoliens nécessitent la mise en place d'un appoint.

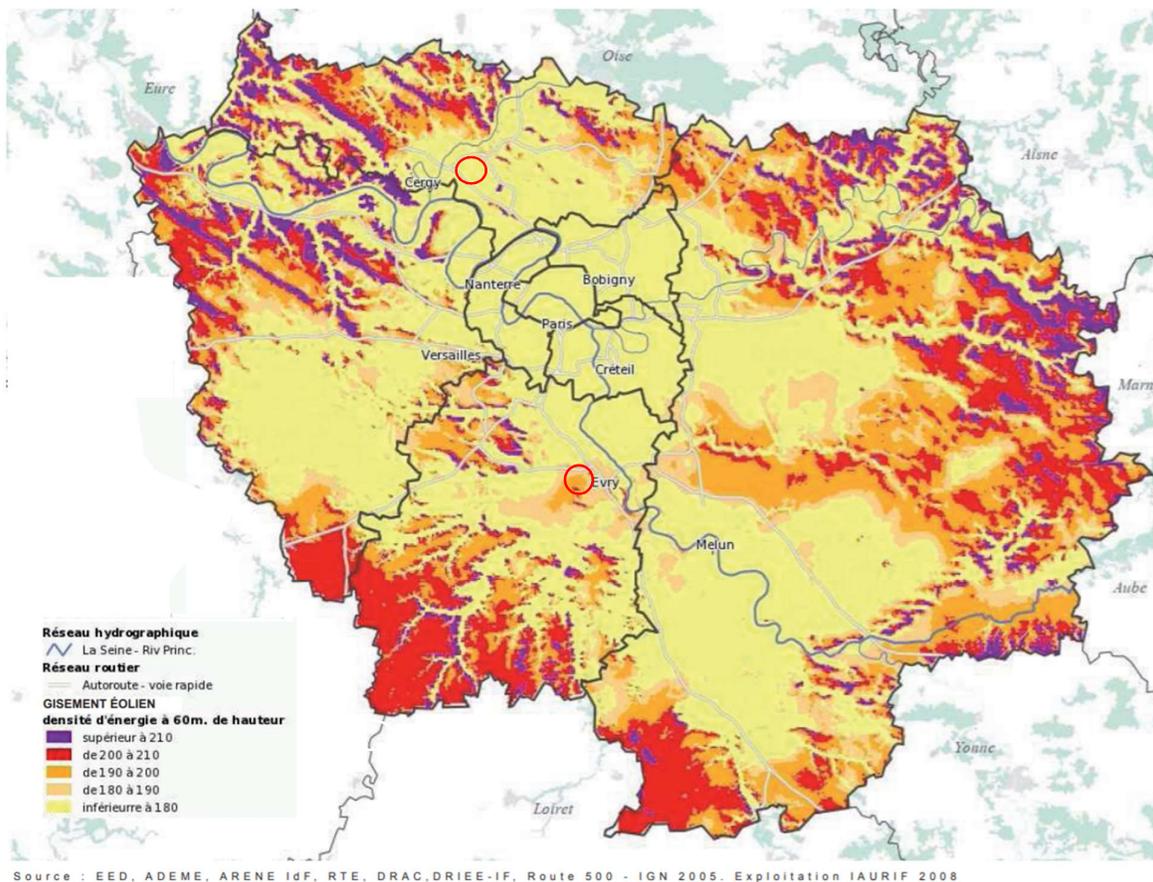
En 2012, uniquement 4 éoliennes étaient installées sur le territoire francilien, présentant une puissance cumulée de 9 MW (20 GWh de production annuelle).

### 2.3.2. Grand éolien

Pour le grand éolien, on utilise des machines à axe horizontal ; elles se composent, dans la plupart des applications, d'un rotor tripale. Les technologies de conversion et de contrôle peuvent différer d'une machine à l'autre. Les gammes de puissance nominale vont de 1 à 7,5 MW. Les éoliennes à axe horizontal sont plus performantes que celles à axe vertical essentiellement en termes de rendement aérodynamique et de coût de maintenance.

Le gisement éolien régional, présenté dans le Schéma régional éolien d’Île-de-France, est présenté ci-dessous :

### GISEMENT ÉOLIEN RÉGIONAL

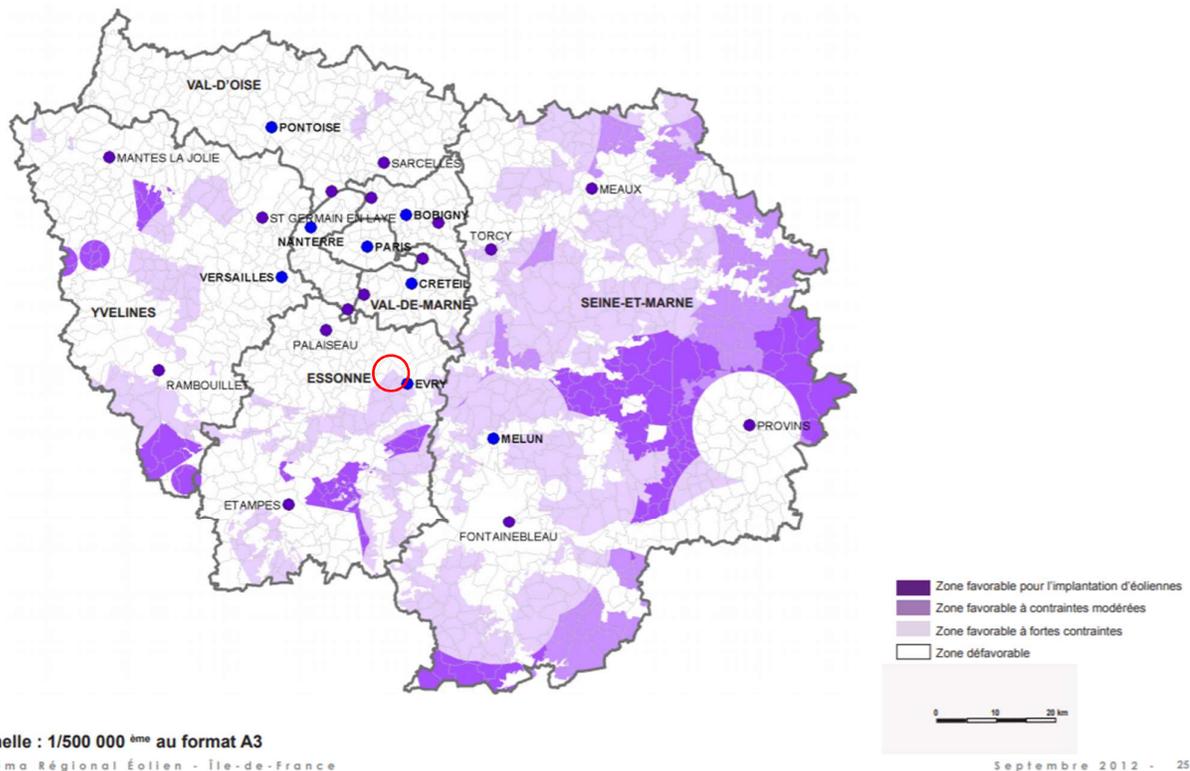


○ Localisation de la zone d'étude

**Figure 11** : Gisement éolien régional (Source: SRE Île-de-France)

Le gisement éolien du périmètre de la zone d'étude est défavorable.

Par ailleurs, la carte ci-dessous est issue du Schéma Régional Eolien d’Île-de-France, elle montre la distribution géographique des zones favorables à l’implantation de l’éolien.



○ Localisation de la zone d'étude

**Figure 12** : Carte des zones favorables à l'implantation de l'éolien en Île-de-France (source : SRE Île-de-France 2012)

Le périmètre de la zone d'étude fait partie d'une zone défavorable à l'implantation d'éoliennes. De plus, la commune de Grigny ne fait pas partie de la liste des communes d'Essonne (91) susceptibles d'être concernées par un développement de l'éolien.

Le site de l'opération n'est donc pas favorable à l'implantation de grande éolienne (>50 mètres).

### 2.3.3. Moyen et petit éolien

Le moyen éolien (36 kW < P < 350 kW) est généralement composé de petites éoliennes à axe horizontal adaptées au milieu semi-urbain ou urbain.

Le petit éolien (< 36 kW) en milieu urbain est peu développé. Pour répondre aux problématiques d'utilisation de l'espace, plusieurs types d'éoliennes à axe vertical se sont développés. Les retours d'expériences montrent une technologie peu fiable voire sans intérêt économique.

Les dimensions de telles éoliennes peuvent être de l'ordre de 2 à 5 mètres de haut (sans mat) pour 3 à 10 mètres de diamètre.

Dans les deux cas, il existe beaucoup trop d'incertitudes (vent réellement disponible, direction changeante, efficacité des systèmes) et de contraintes (bruit, structure, maintenance) pour proposer ces solutions à grande échelle. De plus, la faible hauteur des installations les rend très sensibles aux perturbations aérodynamiques engendrées par les bâtiments alentours.

La fiche technique de l'ADEME concernant le petit éolien, parue en février 2015, déconseille les installations de petit éolien en milieu urbain ou péri-urbain, en citant comme constat que :

- « i) Le vent est en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable
- ii) Risque élevé de modification du paysage urbain, impactant la ressource en vent »

Cette typologie de ressource, même si elle apparaît plus adaptée à la zone d'étude que le grand éolien, ne connaît pas suffisamment de maturité technico-économique pour être utilisée dans le cadre du projet.

#### PERTINENCE DU GISEMENT

Potentiel faible pour l'éolien

## 2.4. HYDROELECTRICITE

Les installations hydroélectriques représentent une part non-négligeable de la production d'énergie électrique française : en moyenne 13% de la production d'électricité (énergie), et 20% de la capacité électrique installée (puissance) sur le territoire en 2013 (soit environ 25 400 MW). L'hydroélectricité est la première source renouvelable d'électricité en France métropolitaine en termes de production.

La région francilienne dispose de 5 centrales hydroélectriques, présentant une puissance cumulée de 19,2 MW (37 GWh de production électrique annuelle). Le SRCAE visait une production de 85 GWh en hydraulique d'ici 2020.

Le site « Geoportail » permet d'identifier le réseau hydrographique à proximité de la zone étudiée :

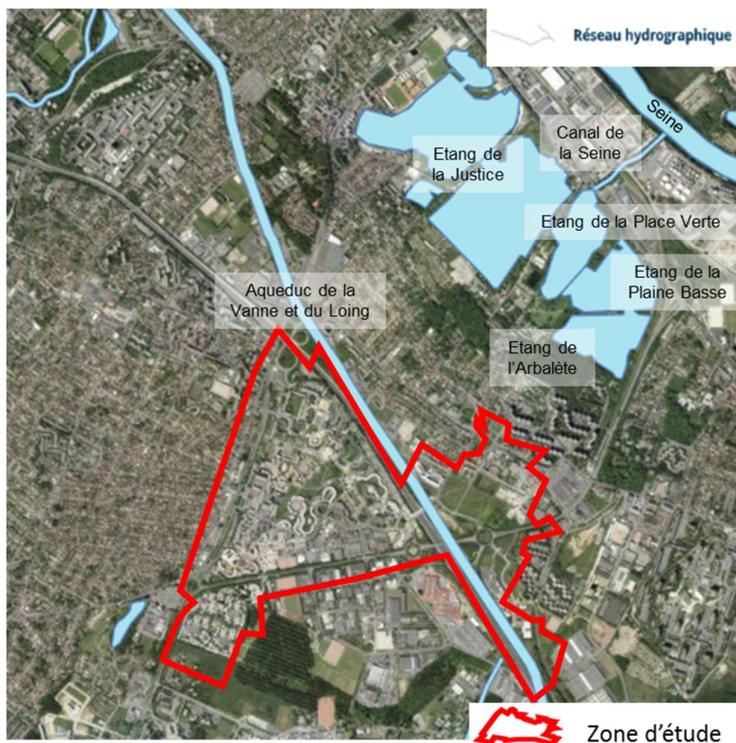


Figure 13 : Réseau hydrographique à proximité de la zone d'étude (Source : Geoportail)

La Seine passe à proximité de la zone d'étude. Cependant, une étude topographique de la zone révèle l'inexistence d'un dénivelé, ne permettant pas l'exploitation de l'énergie hydraulique du fleuve de manière significative.

Les ressources hydrographiques disponibles ne sont par conséquent pas convenables pour envisager une production d'électricité hydroélectrique.

#### PERTINENCE DU GISEMENT

Potentiel faible pour l'hydroélectricité

## 2.5. ENERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est présente partout (énergie de « flux »), intermittente (cycle journalier et saisonnier, nébulosité), disponible (pas de prix d'achat, pas d'intermédiaire, pas de réseau) et renouvelable. Cependant, elle nécessite des installations pour sa conversion en chaleur ou en électricité. Le caractère intermittent impose de se munir d'un système d'appoint pour assurer une production énergétique suffisante tout au long de la journée et de l'année.

Le présent rapport se focalise sur les technologies jugées pertinentes à l'échelle d'une opération d'aménagement : la production d'électricité par panneau solaire photovoltaïque et la production d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique.

Les autres technologies existantes sont principalement regroupées sous le terme solaire à concentration. Il s'agit alors d'installations :

- De production d'électricité à grande échelle ;
- De grande taille non compatibles avec un environnement urbain/semi urbain.

Celles-ci ne sont pas étudiées dans le cadre du projet de l'OIN Grigny-Viry.

### 2.5.1. Solaire photovoltaïque (PV)

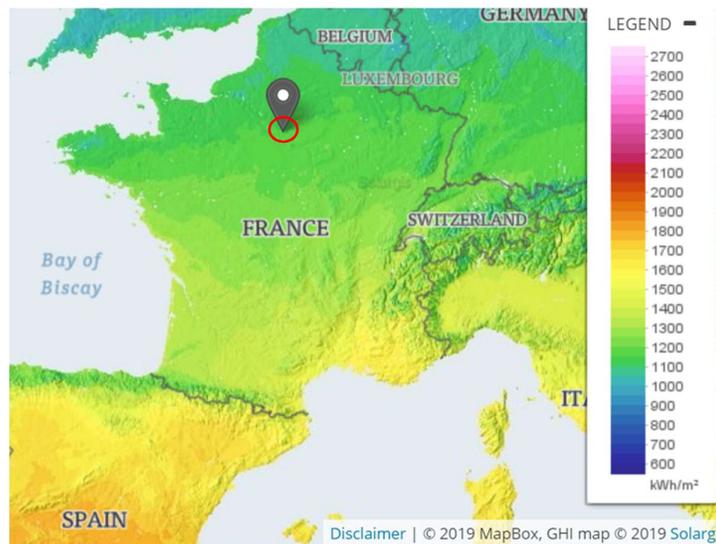
#### 2.5.1.1. Gisement solaire

Le solaire photovoltaïque en Île-de-France est représenté en 2012 par 10 754 sites raccordés au réseau, dotés d'une puissance cumulée de 66 MW (production annuelle estimée de 55 GWh). Le SRCAE propose un objectif de production de 517 GWh pour 2020.

Le rayonnement solaire annuel reçu par une surface plane horizontale est d'environ 1 230 kWh/(an.m<sup>2</sup>) (Source : PVGIS).

Lorsqu'ils sont inclinés à 40°, l'irradiation annuelle sur les panneaux peut être augmentée pour atteindre 1400 kWh/an.m<sup>2</sup> (Source : PVGIS).

Cependant, ces résultats ne tiennent pas compte des particularités locales telles que les masques solaires liés au relief ou aux structures alentours (ouvrages existants).



○ Localisation de la zone d'étude

*Figure 14 : Carte du potentiel solaire (Irradiation solaire globale sur le plan horizontal) (Source : Global Solar Atlas)*

La zone d'étude est dotée d'un ensoleillement moyen par rapport au reste du territoire français.

### 2.5.1.2. Filière photovoltaïque

La filière photovoltaïque (PV) peut être séparée en deux types d'application, à savoir les systèmes de production d'électricité autonomes et les systèmes de production d'électricité raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

Compte tenu du contexte de la mission, et de la désynchronisation possible entre les périodes de besoin en électricité et les périodes de production pour les usages électriques majeurs des sites, seule la filière photovoltaïque raccordée au réseau sera évoquée par la suite.

Les panneaux solaires PV produisent de l'électricité à l'aide du rayonnement solaire (énergie solaire renouvelable). La performance énergétique d'un système photovoltaïque est influencée par un certain nombre de facteurs, notamment climatiques, technologiques, de conception et de mise en œuvre.

Potentiellement les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'installer partout : en toiture ou en terrasse, en façade, au sol, en écran antibruit, etc. Autant d'endroits possibles tant qu'ils respectent quelques règles de mise en œuvre : orientation favorable et inclinaison optimale (le rendement maximal étant observé lorsque les panneaux sont perpendiculaires au rayonnement solaire direct), sans masques ni ombres portées.

L'électricité produite est sous forme de courant continu. Afin de pouvoir l'injecter dans le réseau, il faut la transformer en courant alternatif et changer sa tension. Des modules appelés onduleurs permettent cette transformation, mais ils représentent un investissement supplémentaire et génèrent de nouvelles pertes énergétiques.

Le solaire photovoltaïque apparaît envisageable dans le cadre du projet malgré l'ensoleillement moyennement favorable de la région : il pourra être mobilisé sur certaines surfaces de toiture plus pertinentes que d'autres (grandes surfaces peu encombrées et bien orientées vers le sud).

Cependant, les points suivants ne sont pas à négliger pour cette technologie :

- Il subsiste une incertitude importante quant à l'existence d'un tarif d'achat au moment où le projet sortira réellement (réduction trimestrielle des tarifs, risque de nouvel arrêté dans les années à venir).
- Le photovoltaïque en toiture entre en compétition avec la végétalisation de toiture en termes de surface disponible.

## 2.5.2. Solaire thermique

Le SRCAE de la région prévoit un objectif de 766 GWhef à atteindre en 2020 pour le solaire thermique.

De plus, le gisement solaire thermique autour de la zone d'étude est favorable avec une irradiation solaire horizontale estimée à environ 1 230 kWh/m<sup>2</sup>.an (données Solar Global Atlas).

En effet, l'usage d'eau chaude sanitaire au sein d'un bâtiment tertiaire, d'un commerce ou d'un site industriel est trop faible pour envisager l'exploitation des toitures pour la mise en place de panneaux solaires thermiques. Cependant, la zone d'étude est principalement une zone résidentielle : la présence d'habitats et donc de consommations d'eau chaude sanitaire régulières justifient l'utilisation de l'énergie solaire thermique.

La productivité solaire annuelle minimale à atteindre pour une installation solaire thermique correctement dimensionnée est de 450 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Proche de la zone d'étude, pour alimenter un ballon de 250 L, une installation solaire thermique implantée sur la zone d'étude (environ 4.7 m<sup>2</sup> de capteurs plans inclinés à 45° et orientés plein sud) permet de couvrir 55 % des besoins en chaude sanitaire. La productivité obtenue est d'environ 370 kWh/m<sup>2</sup>/an (pré-dimensionnement SOLO 2000, appliqué à la station d'Evry, la plus proche de la zone d'étude). La productivité est légèrement inférieure au minimum optimal, cependant, le taux de couverture est intéressant, notamment en été, où il atteint 88% en juillet.

Par ailleurs, il faut noter que le solaire thermique en toiture entre en compétition avec la végétalisation de toiture et le solaire photovoltaïque en termes de surface disponible. Cet élément devra être pris en considération lors du dimensionnement.

Ainsi, le solaire thermique apparaît adapté au projet étant donné l'existence d'un gisement solaire.

### PERTINENCE DU GISEMENT

Potentiel intéressant pour le **solaire photovoltaïque** et le **solaire thermique**

## 2.6. RECUPERATION

Dans le cadre de la valorisation des énergies de récupération sur le territoire francilien, le SRCAE met en priorité l'alimentation des réseaux de chaleur.

### 2.6.1. Eaux usées

La valorisation des eaux usées en sortie de station d'épuration est présentée dans cette partie. Ce volet est mentionné dans le SRCAE : le premier réseau français de chaleur alimenté en partie par la récupération calorifique des eaux usées a été créé à Nanterre dans le cadre d'un éco-quartier.

Comme mentionné dans la partie 3.2, il n'existe pas de STEP à proximité de la zone d'étude. Les deux stations les plus proches sont celle d'Evry Centre et celle de la commune de Corbeil-Essonnes, et elles sont toutes les deux à une distance trop éloignée de la ZAC pour que la récupération de chaleur issues de leurs effluents soit envisageable.

Une autre possibilité serait d'utiliser la récupération directe de la chaleur des eaux grises (eau des douches) ou des eaux usées des bâtiments (chargée en polluants) pour préchauffer ou chauffer l'eau chaude sanitaire avec des pompes à chaleur. Ces systèmes sont en cours de développement et il existe des projets dans d'autres territoires les ayant mis en place. Cependant, à ce stade, il existe peu de retour d'expérience pour valider leur rentabilité dans le cadre de la zone d'étude.

La récupération de chaleur sur eaux usées n'est pas envisageable dans le cadre de ce projet.

### 2.6.2. Unité de valorisation énergétique

La vapeur produite par les Unités d'Incinération d'Ordures Ménagères peut représenter un potentiel important correspondant à de la chaleur à très haute température.

Selon le Plan Régional d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés (PREDMA) d'Ile-de-France, l'objectif de la région serait de ne pas construire de nouvelles unités d'incinération sur le territoire. Le SRCAE prévoit ainsi d'optimiser la part d'énergie récupérée des unités existantes.

Cependant, et selon le site de France Incinération (<http://france-incineration.fr/spip.php?rubrique4>), recensant toutes les installations d'incinération présentes sur le territoire, aucune UVE n'est à proximité du site. Les deux installations les plus proches sont l'incinérateur de Vert-le-Grand et celui de Villejuste (dans la ZI de Courtabœuf). Elles sont toutes les deux à plus de 9 km de distance de la zone considérée.

Ainsi, la récupération de chaleur des UVE à proximité n'est pas envisageable.

### 2.6.3. Chaleur fatale

Les locaux techniques (serveurs, stations d'air comprimé en site industriel, etc.) émettent beaucoup de chaleur et il est nécessaire de ventiler ou de climatiser ces zones.

Ce système n'est pas une source d'énergie renouvelable, mais plutôt de la récupération de chaleur fatale. Cette solution consiste à utiliser la chaleur issue des locaux techniques afin de préchauffer l'air neuf servant à ventiler les autres zones, à l'aide d'un échangeur de chaleur.

Ce système est à intégrer dans les locaux techniques à forte charge thermique non ventilés naturellement, soit pour les sites industriels avec process thermique.