

CŒUR D'ESSONNE AGGLOMERATION

Aménagement du pôle gare de Sainte-
Geneviève-des-Bois (91)

Etude d'impact environnementale – Volet Air et Santé

Rapport

Réf : CICEIF213212 / RICEIF01280-01

AMBE / OL / RBO

29/07/2024



CŒUR D'ESSONNE AGGLOMERATION

Aménagement du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91)

Etude d'impact environnementale – Volet Air et Santé

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Validation Nom / signature
Rapport	08/06/2022	01	A.BERTRAND 	O. LLONGARIO 	O. LLONGARIO 
Rapport – MAJ	29/07/2024	01	AMBE 	R.BOISSAT 	R.BOISSAT 

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CICEIF213212 / RICEIF01280-01
Numéro d'affaire :	A58309
Domaine technique :	PA01

GINGER BURGEAP Agence Ile-de-France • 143 avenue de Verdun – 92442 Issy-les-Moulineaux
Cedex

Tél : 01.46.10.25.70 • burgeap.paris@groupeginger.com

SOMMAIRE

Introduction	6
1. Notions générales sur les polluants atmosphériques	7
1.1 Présentation et sources d'émission	7
1.2 La réglementation des polluants atmosphériques	8
1.2.1 Synthèse des valeurs réglementaires	8
1.2.2 Révision de la directive européenne à l'horizon 2030	12
1.3 Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur les populations	13
1.3.1 Effets des polluants sur la santé	13
1.3.2 Impacts sanitaires et économiques de la pollution de l'air	14
3. Cadre réglementaire de l'étude.....	17
3.1 Situation géographique du projet.....	17
3.2 Scénarii étudiés	17
3.3 Bande d'étude	18
3.4 Niveau d'étude	19
3.5 Polluants étudiés.....	21
4. Description de la zone d'étude	22
4.1 Caractéristiques générales du projet	22
4.2 Occupation des sols	23
4.3 Climatologie	23
4.3.1 Les vents.....	24
4.3.2 La pluviométrie.....	24
4.3.3 L'ensoleillement	25
4.3.4 Les températures	25
4.4 Population	26
4.4.1 Population générale	26
4.4.2 Populations sensibles	28
5. Qualité de l'air à l'état initial.....	30
5.1 Inventaire sectoriel des émissions.....	30
5.2 Bilan de la qualité de l'air de la zone d'étude entre 2021 et 2023.....	31
5.2.1 Concentrations modélisées PM10, PM2.5 et NO ₂	31
5.2.2 L'indice ATMO.....	32
5.3 Campagnes de mesures in situ	33
5.3.1 Méthodologie du prélèvement et de l'analyse	33
5.3.2 Emplacement des points de mesure	34
5.3.3 Campagne de mesures	36
5.4 Conclusions sur l'état initial de la qualité de l'air	40
6. Estimation des émissions	41
6.1 Méthodologie	41
6.1.1 Méthodologie générale.....	41
6.1.2 Méthodologie – émissions à l'échappement et à l'évaporation	42
6.1.3 Méthodologie – émissions dues aux équipements automobiles.....	42
6.1.4 Méthodologie – émissions dues à l'entretien des voies	42
6.3 Données d'entrée	43
6.3.1 Données trafic.....	43
6.3.2 Répartition du parc automobile	45
6.3.3 Les facteurs d'émission.....	45
6.4 Résultats des estimations des émissions totales de la zone d'étude	46
6.5 Bilan de la consommation énergétique	49

6.6	Bilan des Gaz à Effet de Serre (GES)	50
7.	Monétarisation des coûts collectifs	51
7.1	Coûts liés à la pollution locale de l'air	51
7.2	Coûts liés à l'effet de serre.....	52
8.	Mesures de lutte contre la pollution atmosphérique	54
8.1	Mesures destinées à limiter les impacts du projet	54
8.1.1	Air extérieur.....	54
8.1.2	Air intérieur.....	59
8.2	Mesures destinées à limiter les impacts du projet en phase chantier	60
9.	Conclusions	61

TABLEAUX

Tableau 1 :	Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour le dioxyde d'azote (NO ₂).....	9
Tableau 2 :	Réglementation française pour le dioxyde d'azote (NO ₂)	9
Tableau 3 :	Réglementation du benzène (C ₆ H ₆)	9
Tableau 4 :	Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour les particules PM _{2.5}	9
Tableau 5 :	Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour les particules PM ₁₀	10
Tableau 6 :	Réglementation pour le benzo(a)pyrène (BaP).....	10
Tableau 7 :	Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour le dioxyde de soufre (SO ₂).....	10
Tableau 8 :	Réglementation pour les métaux lourds.....	11
Tableau 9 :	Réglementation pour le monoxyde de carbone (CO).....	11
Tableau 10 :	Réglementation pour l'ozone (O ₃)	11
Tableau 11 :	Valeurs limites réglementaires actuelles et proposition de révision par la Commission Européenne des valeurs limites pour la protection de la santé humaine	12
Tableau 12 :	Principaux risques sur la santé liés à la pollution atmosphérique	14
Tableau 13 :	Définition de la largeur de la bande d'étude.....	18
Tableau 14 :	Définition des niveaux d'étude – Le niveau d'étude retenu dans cette étude est indiqué en vert.....	20
Tableau 15 :	Liste des polluants à prendre en compte (d'après le guide Cerema, 2019)	21
Tableau 16 :	Effectif de la population municipale	26
Tableau 17 :	Répartition de la population par tranche d'âge.....	26
Tableau 18 :	Répartition du type de logement	26
Tableau 19 :	Evolution démographique de la population municipale de 1968 à 2018.....	27
Tableau 20 :	Emissions sur la zone d'étude	30
Tableau 21 :	Concentrations annuelles modélisées par AIRPARIF au droit du projet	31
Tableau 22 :	Concentrations en µg/m ³ - Blancs	37
Tableau 23 :	Concentrations en µg/m ³ – Doublon point 1.....	38
Tableau 24 :	Résultats de la campagne de mesures (µg/m ³)	38
Tableau 25 :	Liste des origines des émissions de polluants	41
Tableau 26 :	Distances totales sur le domaine d'étude par scénario.....	43
Tableau 27 :	Répartition par catégories de véhicules (hors Poids Lourds) du trafic.....	45
Tableau 28 :	Émissions totales journalières des tronçons de routes étudiées	47
Tableau 29 :	Consommation énergétique totale sur le domaine d'étude	49
Tableau 30 :	Bilan de gaz à effet de serre sur le domaine d'étude	50
Tableau 31 :	Coûts de pollution (en €/100 véh.km).....	51
Tableau 32 :	Densité de population du projet.....	51
Tableau 33 :	Valeur de la pollution atmosphérique (€/jour).....	52
Tableau 34 :	Résultats du calcul des coûts collectifs liés à l'effet de serre additionnel	52
Tableau 35 :	Valeur du CO ₂ recommandée par la commission A.Quinet	53

Tableau 36. Tableau récapitulatif des espèces de végétaux en fonction de leur pouvoir allergisant	55
Tableau 37. Critères rue canyon	57

FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du projet	17
Figure 2 : Domaine d'étude et axes routiers pris en compte dans les 5 scénarii	19
Figure 3 : Vue globale du projet	22
Figure 4 : Occupation des sols sur le domaine d'étude	23
Figure 5 : Rose des vents 2014-2023	24
Figure 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle (2014-2023).....	25
Figure 7 : Températures moyennes mensuelles (2014 – 2023)	25
Figure 8 : Evolution démographique de la population municipale de 1968 à 2018	27
Figure 9 : Localisation des populations les plus proches	28
Figure 10 : Concentrations modélisées de NO ₂ et PM10 (µg/m ³) au droit du projet.....	31
Figure 11 : Classes de l'indice ATMO	32
Figure 12 : Répartition de l'indice ATMO de Sainte-Geneviève-des-Bois en 2023	32
Figure 13 : Principe de l'échantillonnage passif	33
Figure 14 : Localisation des points de mesures	35
Figure 15 : Comparaison des conditions météorologiques	36
Figure 16 : Températures et Précipitations pendant la campagne	37
Figure 17 : Concentrations en NO ₂ (en µg/m ³).....	39
Figure 18 : Concentrations en PM10 (en µg/m ³)	39
Figure 19 : Méthodologie générale d'estimation des émissions.....	41
Figure 20 : Méthodologie d'estimation des émissions à l'échappement et à l'évaporation	42
Figure 21 : Trafics exprimés en TMJA pour les différents scénarii étudiés.....	44
Figure 22 : Accumulation des polluants dans une rue canyon.....	57
Figure 23 : Comparaison des teneurs en NO ₂ entre une rue canyon et non canyon – Etude Lig'air	57

Introduction

Dans le cadre du projet d'aménagement du pôle gare situé place de la gare à Sainte-Geneviève-des-Bois (91), Coeur d'Essonne Agglomération a sollicité GINGER BURGEAP pour être accompagné sur le processus d'évaluation environnementale, au travers de la réalisation d'une **demande d'examen au cas par cas puis d'une étude d'impact environnementale**.

La présente étude concerne l'évaluation détaillée des impacts du projet sur la qualité de l'air et sur la santé publique à travers la réalisation d'un **volet « Air et Santé »**.

Les méthodes et le contenu du volet « Air et Santé » sont définis par le « Guide méthodologique sur le volet « Air et Santé » des études d'impact routières » (Cerema – Février 2019). Ainsi, cette étude comprend :

- Une description fine de la qualité de l'air actuelle sur la base de données bibliographiques et des résultats d'une campagne de mesures réalisées in situ ;
- Une évaluation des impacts du projet sur la qualité de l'air à partir de l'estimation des émissions liées au trafic routier ;
- Une estimation des coûts collectifs ;
- Un rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé ;
- Une proposition de mesures de lutte contre la pollution atmosphérique.

Cette étude porte sur les 5 scénarii suivants :

- Le scénario « actuel » pour l'année 2022 ;
- A la mise en service du projet
 - Le scénario « futur sans projet » pour l'année 2028 ;
 - Le scénario « futur avec projet » pour l'année 2048.
- A la mise en service du projet + 20 ans
 - Le scénario « futur sans projet » pour l'année 2028 ;
 - Le scénario « futur avec projet » pour l'année 2048.

1. Notions générales sur les polluants atmosphériques

1.1 Présentation et sources d'émission

Les polluants atmosphériques sont trop nombreux pour être surveillés en totalité. Certains d'entre eux sont choisis parce qu'ils sont caractéristiques d'un type de pollution (industrielle ou automobile), et parce que leurs effets nuisibles sur la santé et sur l'environnement sont avérés. Les principaux indicateurs de pollution atmosphérique sont les suivants :

- **Oxydes d'azote (NO_x)** : les oxydes d'azote sont formés lors de combustions, par oxydation de l'azote contenu dans le carburant. La proportion entre le NO (monoxyde d'azote) et le NO₂ (dioxyde d'azote) varie selon le procédé de combustion, et est entre autres fonction de la température. Le NO est majoritairement émis, mais il s'oxyde et évolue en NO₂ dans l'air d'autant plus rapidement que la température est élevée. Dans l'air ambiant, le NO₂ est essentiellement issu de combustion automobile, industrielle et thermique. Le secteur du transport (routier et non-routier) contribue pour environ 49% aux émissions de NO_x nationales en 2022¹.
- **Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM)** : les composés organiques volatils (dont le benzène) sont émis lors des processus de combustion (transport, résidentiel/tertiaire, industrie, transformation d'énergie) et par évaporation notamment de carburants. En 2022, le secteur agricole est le plus émissif (35%), suivi par l'industrie manufacturière (22%), et le résidentiel (37%). Le transport contribue à hauteur de 5% des émissions totales de COVNM.
- **Particules en suspension (PM)** : on distingue les particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) et les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM2.5). En ce qui concerne les PM10, la répartition des émissions anthropiques en France est en 2022 est la suivante : 52% résidentiel/tertiaire, 20% industrie manufacturière, 18% agriculture/sylviculture, 9% transports. En ce qui concerne, les PM2.5, le résidentiel/tertiaire le contributeur le plus important (73%), suivi par l'industrie manufacturière (11%) et les transports (9%).
- **Monoxyde de carbone (CO)** : Le CO est exclusivement d'origine anthropique. Sa formation se déroule lors de combustions incomplètes de tout combustible fossile ou non (gaz, charbon, fioul ou bois) dans le trafic routier (gaz d'échappement) et le chauffage résidentiel (bois notamment). Le CO est également émis depuis certains secteurs industriels (métallurgie par exemple). En 2022, les émissions de CO en France sont réparties comme suit : 52% résidentiel/tertiaire, 26% industries, 15% transports.
- **Dioxyde de soufre (SO₂)** : les émissions de dioxyde de soufre peuvent être d'origine naturelle (océans et volcans), mais sont principalement d'origine anthropique en zone urbaine et industrielle. Le SO₂ est un sous-produit de combustion du soufre contenu dans des matières organiques. Les émissions de SO₂ sont donc directement liées aux teneurs en soufre des combustibles (gazole, fuel, charbon...). Le dioxyde de soufre est généralement associé à une pollution d'origine industrielle, en raison principalement des consommations en fioul lourd et charbon du secteur. Le secteur du transport routier ne contribue quasiment pas aux émissions de SO₂ nationales en 2022, les principaux secteurs étant l'industrie manufacturière (52%) et le secteur de l'énergie (28%).
- **Métaux lourds** : les émissions de métaux lourds peuvent provenir de différentes sources. En ce qui concerne le zinc et le cuivre, le transport routier est le principal émetteur. Pour les autres métaux (arsenic, cadmium, chrome, mercure, nickel, sélénium, plomb), ils proviennent majoritairement d'autres sources d'émission (industrie manufacturière, transformation d'énergie, résidentiel et tertiaire, ...).
- **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** : les HAP tels que le benzo(a)pyrène (HAP reconnu comme cancérigène) proviennent principalement de combustion incomplète ou de pyrolyse. Les transports contribuent peu (6%) aux émissions de HAP nationales en 2022, le principal émetteur étant le secteur résidentiel et tertiaire (86%).
- **Ozone (O₃)** : l'ozone est considéré comme un polluant « secondaire » (non émis directement dans l'atmosphère), produit à partir de polluants dits « primaires » (oxydes d'azote, COV) dans des conditions

¹CITEPA - Dernières données consolidées

d'ensoleillement particulières et par des mécanismes complexes. Les concentrations les plus élevées sont identifiées en périphérie des zones émettrices de polluants primaires, engendrant ainsi un transport de l'ozone sur de grandes distances.

1.2 La réglementation des polluants atmosphériques

1.2.1 Synthèse des valeurs réglementaires

Les concentrations de polluants dans l'air sont réglementées. On distingue ainsi **5 niveaux de valeurs réglementaires** :

- **Objectif de Qualité (OQ)** : niveau de concentration à atteindre à long terme et à maintenir, 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 ;
- **Valeur Cible (VC)** : niveau de concentration à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble ;
- **Valeur Limite pour la protection de la santé (VL)** : niveau de concentration à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques, afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble ;
- **Seuil d'Information et de recommandation (SI)** : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population, et qui rend nécessaire l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions ;
- **Seuil d'Alerte de la population (SA)** : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

L'organisation Mondiale pour la Santé (OMS) indique également des valeurs guides que nous précisons dans le tableau ci-après.

Rappelons qu'en France, la qualité de l'air au cours des 20 dernières années s'est améliorée, cependant certaines valeurs limites fixées par le droit Européen ne sont pas respectées dans plusieurs zones de surveillance. Dans ce contexte, l'Etat est actuellement visé par 3 procédures contentieuses, de non-respect de la directive (EU) 2008/50 :

- Deux contentieux communautaires relatifs au non-respect des objectifs fixés pour le NO₂ et les particules PM10 ;
- Un contentieux national concernant le non-respect des valeurs limites le NO₂ et les particules PM10.

Tableau 1 : Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour le dioxyde d'azote (NO₂)

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 40 µg/m ³
Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Centile 99,8 : (à partir des valeurs moyennes horaires) 200 µg/m ³ (depuis le 01/01/10 : à ne pas dépasser plus de 18 heures par an)
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 40 µg/m ³
Période de référence	Seuils d'information et d'alerte
1 heure	Seuil de recommandation et d'information : 200 µg/m ³ (moyenne horaire)
1 heure	Seuil d'alerte : - 400 µg/m ³ (moyenne horaire pendant 3 heures consécutives) ; - 200 µg/m ³ si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.
Période de référence	Valeur Guide OMS en vigueur depuis 2021
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	10 µg/m ³
24 heures	25 µg/m ³
1 heure	200 µg/m ³

Tableau 2 : Réglementation française pour le dioxyde d'azote (NO₂)

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle (équivalent NO ₂) : 30 µg/m ³ (protection de la végétation)

Tableau 3 : Réglementation du benzène (C₆H₆)

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 2 µg/m ³
Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 5 µg/m ³ (depuis le 01/01/10)

Tableau 4 : Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour les particules PM_{2.5}

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 10 µg/m ³
Période de référence	Valeur cible
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 20 µg/m ³
Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 25 µg/m ³ (depuis le 01/01/15)
Période de référence	Valeur Guide OMS en vigueur depuis 2021
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	5 µg/m ³

24 heures	15 µg/m ³
-----------	----------------------

Tableau 5 : Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour les particules PM10

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 30 µg/m ³
Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Centile 90,4 : (à partir des valeurs moyennes journalières) 50 µg/m ³ (depuis le 01/01/2005, à ne pas dépasser plus de 35 jours par an)
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 40 µg/m ³ (depuis le 01/01/05)
Période de référence	Seuils d'information et d'alerte
24 heures	Seuil de recommandation et d'information : 50 µg/m ³ (moyenne 24 heures)
24 heures	Seuil d'alerte : 80 µg/m ³ (moyenne 24 heures)
Période de référence	Valeur Guide OMS en vigueur depuis 2021
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	15 µg/m ³
24 heures	45 µg/m ³

Tableau 6 : Réglementation pour le benzo(a)pyrène (BaP)

Période de référence	Valeur cible
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	1 ng/m ³

Tableau 7 : Réglementation française et valeurs guides de l'OMS pour le dioxyde de soufre (SO₂)

Période de référence	Objectif de qualité
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle : 50 µg/m ³
Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Centile 99,7 : (à partir des valeurs moyennes horaires) 350 µg/m ³ (depuis le 01/01/05, à ne pas dépasser plus de 24 heures par an)
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Centile 99,2 : (à partir des valeurs moyennes journalières) 125 µg/m ³ (à ne pas dépasser plus de 3 jours par an)
Période de référence	Seuils d'information et d'alerte
1 heure	Seuil de recommandation et d'information : 300 µg/m ³ (moyenne horaire)
1 heure	Seuil d'alerte : 500 µg/m ³ (moyenne horaire pendant 3 heures consécutives)
Période de référence	Niveau critique
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Moyenne annuelle et hivernale : 20 µg/m ³ (protection de la végétation)
Période de référence	Valeur Guide OMS en vigueur depuis 2021
24 heures	40 µg/m ³
10 minutes	500 µg/m ³

Tableau 8 : Réglementation pour les métaux lourds

Composé	Période de référence	Valeur cible*
Arsenic	Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	6 ng/m ³
Composé	Période de référence	Valeur cible*
Cadmium	Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	5 ng/m ³
Composé	Période de référence	Valeur cible*
Nickel	Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	20 ng/m ³
Composé	Période de référence	Objectif de qualité
Plomb	Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	250 ng/m ³
	Période de référence	Valeur limite*
	Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	500 ng/m ³

* moyenne calculée sur l'année civile du contenu totale de la fraction PM10 (qui devraient être respectés le 31 décembre 2012)

Tableau 9 : Réglementation pour le monoxyde de carbone (CO)

Période de référence	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
Année civile (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures : 10 mg/m ³
Période de référence	Valeur guide OMS en vigueur depuis 2021
24 heures	4 mg/m ³
8 heures	10 mg/m ³
1 heure	35 mg/m ³
15 minutes	100 mg/m ³

Tableau 10 : Réglementation pour l'ozone (O₃)

Période de référence	Valeur cible pour la protection de la santé humaine
Année civile	120 µg/m ³ (en moyenne glissante sur 8 h, à ne pas dépasser plus de 25 j/an en moyenne calculée sur 3 ans)
Période de référence	Valeur cible pour la protection de la santé humaine
Année civile	AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m ³ .h en moyenne calculée sur 5 ans (appliquée depuis 2010)
Période de référence	Objectif de qualité pour la santé humaine
Année civile	120 µg/m ³ (maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h)
Période de référence	Objectif de qualité pour la végétation
Année civile	AOT40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m ³ .h
Période de référence	Seuils d'information et d'alerte
1 heure	Seuil de recommandation et d'information : 180 µg/m ³ (moyenne horaire)
1 heure	Seuil d'alerte : 240 µg/m ³ (moyenne horaire) Trois seuils d'alerte avec mise en place de mesures d'urgence graduées : - 240 µg/m ³ (moyenne horaire sur 3 h consécutives) - 300 µg/m ³ (moyenne horaire sur 3 h consécutives) - 360 µg/m ³ en moyenne horaire
Période	Valeur guide OMS en vigueur depuis 2021
Saison de pointe	60 µg/m ³ moyenne de la concentration moyenne maximale sur 8 heures et six mois consécutifs, avec la plus forte concentration des moyennes glissantes sur six mois
8 heures	100 µg/m ³

AOT 40* (en µg/m³.h) est la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et le seuil de 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8h et 20h (40 ppb ou partie par milliard : 80 µg/m³)

1.2.2 Révision de la directive européenne à l'horizon 2030

Le 26 octobre 2022, la Commission Européenne a publié sa proposition de texte pour la révision de la directive sur la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2030.

Cette révision n'est pas encore en vigueur mais indique les tendances de la réglementation à venir dans les prochaines années. Le tableau suivant fait état des seuils réglementaires qui pourraient être applicables en 2030 si la proposition n'évolue pas d'ici cette échéance.²

Tableau 11 : Valeurs limites réglementaires actuelles et proposition de révision par la Commission Européenne des valeurs limites pour la protection de la santé humaine

	Valeurs limites actuelles				Propositions de valeurs limites			
	En moyenne annuelle	En moyenne journalière	En moyenne horaire	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures	En moyenne annuelle	En moyenne journalière	En moyenne horaire	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures
PM2.5	25 µg/m ³	-	-	-	10 µg/m ³	25 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 jours par an	-	-
PM10	40 µg/m ³	50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an	-	-	20 µg/m ³	45 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 jours par an	-	-
NO₂	40 µg/m ³	-	200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an	-	20 µg/m ³	50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 jours par an	200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus d'1 heure par an	-
SO₂	-	125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an	-	20 µg/m ³	50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 jours par an	350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus d'1 heure par an	-
Benzène	5 µg/m ³	-	-	-	3,4 µg/m ³	-	-	-
CO	-	-	-	10 mg/m ³	-	4 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 jours par an	-	10 mg/m ³

² https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0318_FR.html

1.3 Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur les populations

1.3.1 Effets des polluants sur la santé

Il convient de distinguer deux types d'impact de l'exposition à la pollution atmosphérique sur la santé :

- Les effets à courte durée : qui surviennent dans des délais rapides suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique. Cela peut se manifester par des irritations oculaires ou des voies respiratoires, des crises d'asthme, une exacerbation de troubles cardiovasculaires et respiratoires pouvant conduire à une hospitalisation, et dans les cas les plus graves au décès ;
- Les effets à long terme : les polluants de l'air favorisent la poursuite et/ou l'accroissement d'événements de santé, induisent une surmortalité et une baisse de l'espérance de vie. Ils peuvent contribuer au développement ou à l'aggravation de maladies chroniques telles que : cancers, pathologies cardiovasculaires et respiratoires, troubles neurologiques, troubles du développement, etc.

Les principaux risques sur la santé liée à la pollution atmosphérique peuvent être synthétisés dans le tableau ci-dessous.

En particulier, il est à retenir que :

- Les particules de l'air extérieur sont classées comme cancérogènes pour l'Homme par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). La toxicité de ces particules dépend à la fois de leur composition et de leur taille ; plus les particules sont fines, plus elles sont capables de pénétrer profondément dans l'organisme et de passer par la circulation sanguine vers d'autres organes ;
- Le CIRC a classé les effluents d'échappement des moteurs diesel (véhicules, bateaux, trains, engins de chantier, etc.) comme cancérogènes pour l'Homme. Actuellement, les effluents d'échappement des moteurs à essence sont « peut-être cancérogènes » pour l'Homme (Groupe 2B). Les moteurs diesel sont également la source majeure de dioxyde d'azote (NO₂), substance fortement irritante des voies respiratoires.

Tableau 12 : Principaux risques sur la santé liés à la pollution atmosphérique

Polluants	Principaux risques sur la santé
Ammoniac NH₃	<ul style="list-style-type: none"> • L'exposition à de très fortes concentrations provoque des irritations, voire des brûlures oculaires et respiratoires
Dioxyde de Soufre SO₂	<ul style="list-style-type: none"> • A court terme, irritations des voies respiratoires (toux, gêne respiratoire, asthme)
Hydrocarbures et composés volatils COV	<ul style="list-style-type: none"> • Irritations, difficultés respiratoires, nuisances olfactives fréquentes ; • Le benzène est classé cancérigène pour l'Homme
Oxydes d'azote NO_x	<ul style="list-style-type: none"> • A court terme, irritations et aggravations de maladies respiratoires (asthme) • A long terme, développement de maladies respiratoires ou cardiovasculaires, faible poids du nourrisson et risque accru de décès
Ozone O₃	<ul style="list-style-type: none"> • Gêne respiratoire, toux, irritations des yeux, crises d'asthme, apparition de maladies respiratoires
Particules ou matières particulaires PM₁₀, PM_{2,5}	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de cancers (poumon, vessie), maladies cardiovasculaires et respiratoires, atteinte du développement neurologique de l'enfant, diabète, ...
Monoxyde de carbone CO	<ul style="list-style-type: none"> • Hypoxies (baisse de l'oxygénation du sang), céphalées, troubles du comportement, vomissements, troubles sensoriels, ...
Métaux Pb, Cd, As, Ni	<ul style="list-style-type: none"> • A long terme, propriétés cancérigènes
Benzo(a)pyrène B(a)P	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune étude de toxicité par inhalation chez l'homme • Par voie cutanée, lésions locales

1.3.2 Impacts sanitaires et économiques de la pollution de l'air

1.3.2.1 Dans le monde

Selon l'OMS, la pollution de l'air est le principal risque environnemental pour la santé dans le monde. Ainsi, l'exposition à la pollution de l'air extérieur conduit chaque année au décès d'environ 4.2 millions de personnes dans le monde. Dans la zone Europe de l'OMS (53 pays), il est estimé qu'environ 600 000 décès par an sont liés à la pollution de l'air (482 000 sont dus à la pollution de l'air extérieur et 117 200 à la pollution de l'air intérieur).

Dans le programme CAFE (*Clean Air for Europe*), la Commission Européenne estimait à près de 300 000 le nombre de décès anticipés liés à l'exposition aux niveaux de particules observés en 2000 à travers les États membres (soit une perte d'espérance de vie de 9 mois en moyenne en Europe) et à 21 000 pour l'ozone. Le coût sanitaire pour ces deux polluants était évalué à un montant compris entre 189 et 609 milliards d'euros par an en 2020.

1.3.2.2 En France

Pour un grand nombre d'agglomérations de plus de 100 000 habitants, une Etude d'Impact Sanitaire de la Pollution Atmosphérique (EIS-PA) est réalisée afin de quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans l'agglomération considérée. Elle permet également de fournir des estimations des bénéfices attendus en termes de santé publique, pour différents scénarios d'évolution de la pollution atmosphérique, de façon à comparer l'efficacité de différentes stratégies en termes de bénéfices sanitaires et d'orienter les décisions pouvant avoir une influence sur la qualité de l'air.

D'autres données relatives à l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sont également disponibles suite aux travaux menés notamment dans le cadre du programme européen APHEKOM (Amélioration des connaissances et de la communication sur la pollution de l'air et la santé en Europe). Neuf villes françaises ont participé au projet. Aussi selon l'Etude de Santé France publique³, sur le poids total pour la période 2016-2019, chaque année, 40 000 décès seraient attribuables à une exposition de la population aux particules (PM_{2,5}) et 7 000 décès à une exposition de la population au NO₂, représentant respectivement 7% et 1% de la mortalité totale annuelle.

Cela correspond en moyenne une perte d'espérance de vie de 7,6 mois en raison d'une exposition aux PM_{2,5} et de 1,6 mois en raison d'une exposition au NO₂ pour les personnes âgées de 30 ans et plus.

En complément, un certain nombre d'actions de mesure de réduction de la pollution atmosphérique peuvent être mises en place. Les Évaluations Quantitatives d'Impact Sanitaire (EQIS) permettent de quantifier les bénéfices sanitaires de ces actions. L'article de S. Host et L. Duchesne (septembre 2017) décrit les résultats de 16 EQIS visant à améliorer la qualité de l'air ambiant, recensées dans la littérature scientifique jusqu'en 2015, et fournit une illustration de nombreux cas d'application de cette approche.

En termes d'impact économique, la Commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air du Sénat estime que le coût total de la pollution de l'air (extérieur et intérieur) s'établit entre 68 et 97 milliards d'euros par an pour la France, dont une très large part est liée aux impacts sanitaires.

³ <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/enquetes-etudes/impact-de-pollution-de-l-air-ambiant-sur-la-mortalite-en-france-metropolitaine.-reduction-en-lien-avec-le-confinement-du-printemps-2020-et-nouvelle#>

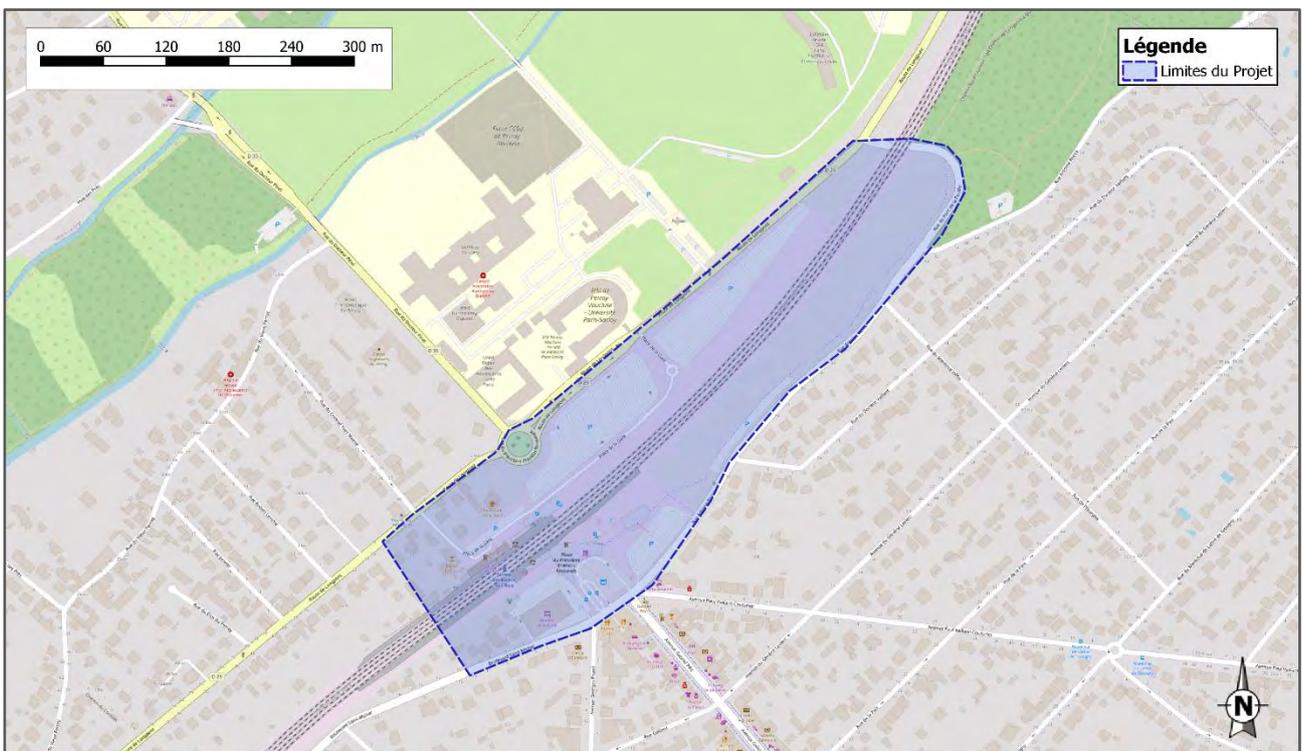
3. Cadre réglementaire de l'étude

3.1 Situation géographique du projet

La présente étude « Air et Santé » concerne le projet d'aménagement du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91).

Située en limite Nord-Ouest de la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois face au Parc du Perray, siège de l'Hôpital Perray Vaucluse, et positionnée sur l'axe historique de l'Avenue Gabriel Péri. Le projet est délimité au Nord par la RD25 (Route de Longpont) et au Sud par la rue Antoine Rocca.

Figure 1 : Situation géographique du projet



3.2 Scénarii étudiés

Les scénarii, retenus dans cette étude, correspondent aux scénarii ci-après, définis selon les données de l'étude trafic transmises par le bureau d'étude TECNA dont les données brutes sont présentées en Annexe 1. Ils sont :

- **Scénario actuel (2022)**. Il s'agit du scénario caractérisant les conditions de circulation actuelles d'après dans la zone d'étude à partir des données trafic de TECNA ;
- **Scénario futur sans projet (2028)**. Il correspond au scénario fil de l'eau à l'horizon 1. Il reprend les conditions de circulation dans la zone d'étude à l'état actuel, mais en intégrant les évolutions de parc roulant entre 2022 et 2028 (remplacement des véhicules les plus anciens, prise en compte de nouvelles technologies moins émissives, etc.) ;

- **Scénario futur avec projet (2028).** Il correspond au scénario à l'horizon de mise en service du projet, intégrant les évolutions de conditions de circulation dans la zone d'étude. A l'instar du scénario futur sans projet, ce scénario tient compte des évolutions du parc roulant entre 2022 et 2028.
- **Scénario futur sans projet (2028 + 20 ans).** Il correspond au scénario fil de l'eau à l'horizon 2. Il reprend les conditions de circulation dans la zone d'étude similaire au précédent scénario fil de l'eau mais en intégrant les évolutions de parc roulant entre 2022 et 2048 ;
- **Scénario futur avec projet (2028 + 20 ans).** Il correspond au scénario avec le projet à l'horizon 2. Il reprend les conditions de circulation dans la zone d'étude similaire au précédent scénario avec projet mais en intégrant les évolutions de parc roulant entre 2022 et 2048 ;

3.3 Bande d'étude

En termes de qualité de l'air et de santé, le domaine d'étude doit être composé selon les recommandations du Cerema :

- Du projet et du nouveau réseau créé ;
- De l'ensemble des axes du réseau routier subissant, du fait du projet :
 - Pour des tronçons avec des volumes de trafic > 5000 véh/j en Trafic Moyen Journalier Annuel, une modification (augmentation ou diminution) de plus de 10 % ;
 - Pour des tronçons avec des volumes de trafic < 5000 véh/j Trafic Moyen Journalier Annuel, une modification (augmentation ou diminution) de 500 véh/j.

Cette définition du domaine d'étude reste toutefois indicative.

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des tronçons évalués par TECNA ont été retenus.

Dans le cas de la pollution particulaire, le document méthodologique du Cerema (2019) recommande une largeur de la bande d'étude à 200 m centrée sur les axes routiers considérés.

Tableau 13. Définition de la largeur de la bande d'étude

TMJA à l'horizon d'étude (véh/jour)	Largeur minimale de la bande d'étude (en m) centrée sur l'axe de la voie
T > 50 000	600
25 000 < T < 50 000	400
10 000 < T < 25 000	300
≤ 10 000	200

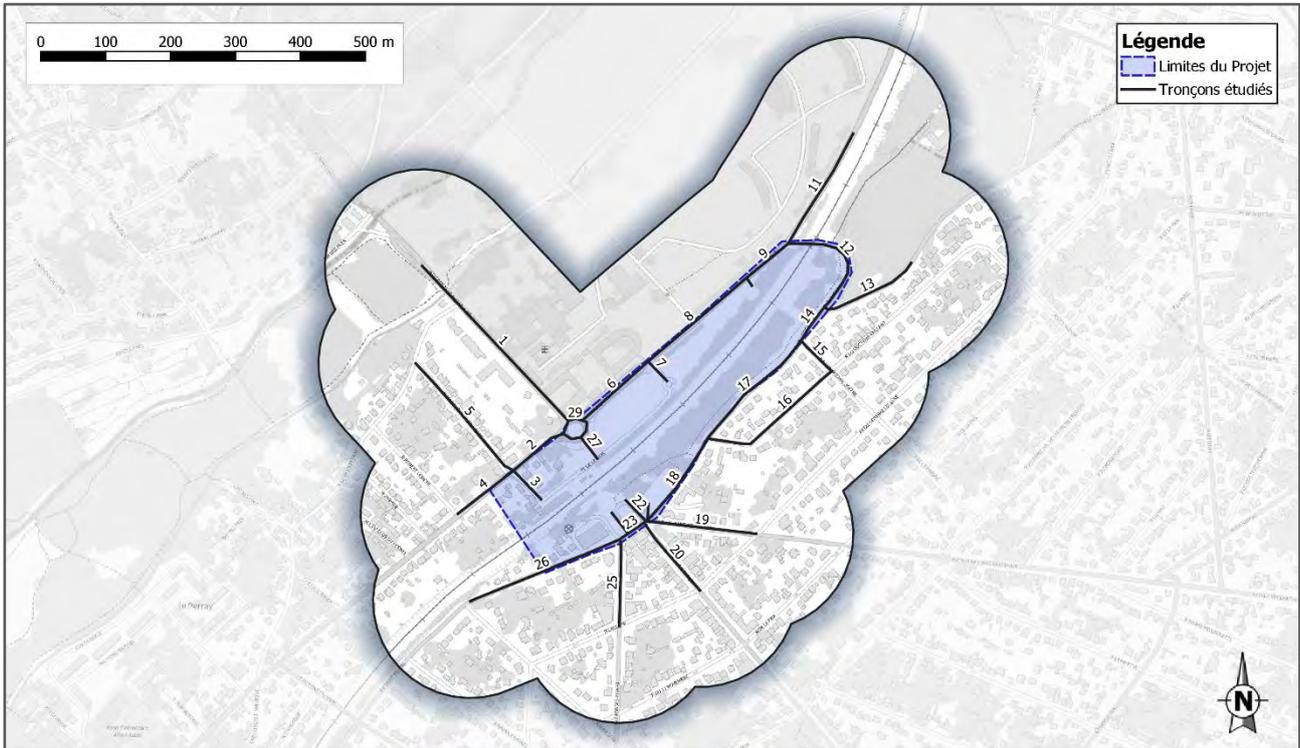
Source : Note méthodologique du Cerema – Février 2019

Avec des trafics < 25 000 véh/j sur les axes routiers pris en compte, une bande d'étude de 300 m centrée sur les axes étudiés a été appliquée, quel que soit le trafic supporté, afin d'obtenir une homogénéité de traitement sur l'ensemble du domaine d'étude.

Pour cette étude 30 tronçons ont été retenus.

Les limites du domaine d'étude ainsi que les axes pris en compte sont présentés sur la carte ci-après.

Figure 2 : Domaine d'étude et axes routiers pris en compte dans les 5 scénarii



3.4 Niveau d'étude

Le guide Cerema (2019) définit le contenu des études « Air et Santé » qui se veulent plus ou moins détaillées selon les enjeux du projet d'aménagement. Le niveau d'étude est défini, à l'horizon d'étude le plus lointain et avec aménagement, c'est-à-dire celui pour lequel les trafics seront les plus élevés ; et ceci à l'aide de trois critères :

- La charge prévisionnelle du trafic exprimé en TMJA ;
- La densité de population correspondant à la zone la plus densément peuplée traversée par le projet ;
- La longueur du projet d'aménagement.

Quatre niveaux d'étude sont ainsi définis en fonction des niveaux de trafics attendus à terme sur la voirie concernée et de la densité de population à proximité de cette dernière.

Tableau 14. Définition des niveaux d'étude – Le niveau d'étude retenu dans cette étude est indiqué en vert

Trafic à l'horizon d'étude et densité de population (hab/km ²) dans la bande d'étude	> 50 000 véh/j	25 000 véh/j à 50 000 véh/j	10 000 véh/j à 25 000 véh/j	≤ 10 000véh/j
G I Bâti avec densité ≥ 10 000 hab/km ²	I	I	II	II si Le projet > 5 km OU III si Le projet ≤ 5 km
G II Bâti avec densité 2 000 à 10 000 hab/km ²	I	II	II	II si Le projet > 25 km OU III si Le projet ≤ 25 km
G III Bâti avec densité < 2 000 hab/km ²	I	II	II	II si Le projet > 50 km OU III si Le projet ≤ 50 km
G IV Pas de bâti	III	III	IV	IV

Source : Guide méthodologique du Cerema – Février 2019

Compte tenu, d'une part des trafics attendus sur les axes étudiés (≤ 10 000 véh/j sur les axes routiers impactés de plus de 10% par le projet) ; et d'autre part de la densité de population sur le domaine d'étude (de type G II), la note méthodologique du Cerema (2019) préconise la réalisation **d'une étude de niveau III**.

Une étude de niveau III comprend les éléments suivants et repris dans ce document :

- Un diagnostic de l'état actuel de la qualité de l'air (données bibliographiques et mesures in situ) ;
- Une évaluation des impacts sur la qualité de l'air avec :
 - Une estimation des émissions de polluants dans le domaine d'étude ;
 - Une estimation des concentrations de polluants dans la bande d'étude autour du projet (modélisation de la dispersion des émissions) ;
- Une estimation des coûts collectifs ;
- Une proposition de mesures de lutte contre la pollution atmosphérique ;
- Des mesures visant, en phase chantier et en phase exploitation, à réduire les impacts sur la qualité de l'air.

3.5 Polluants étudiés

Conformément à la note méthodologique du Cerema (2019), dans le cadre d'une étude de niveau III, les polluants à prendre en considération sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Liste des polluants à prendre en compte (d'après le guide Cerema, 2019)

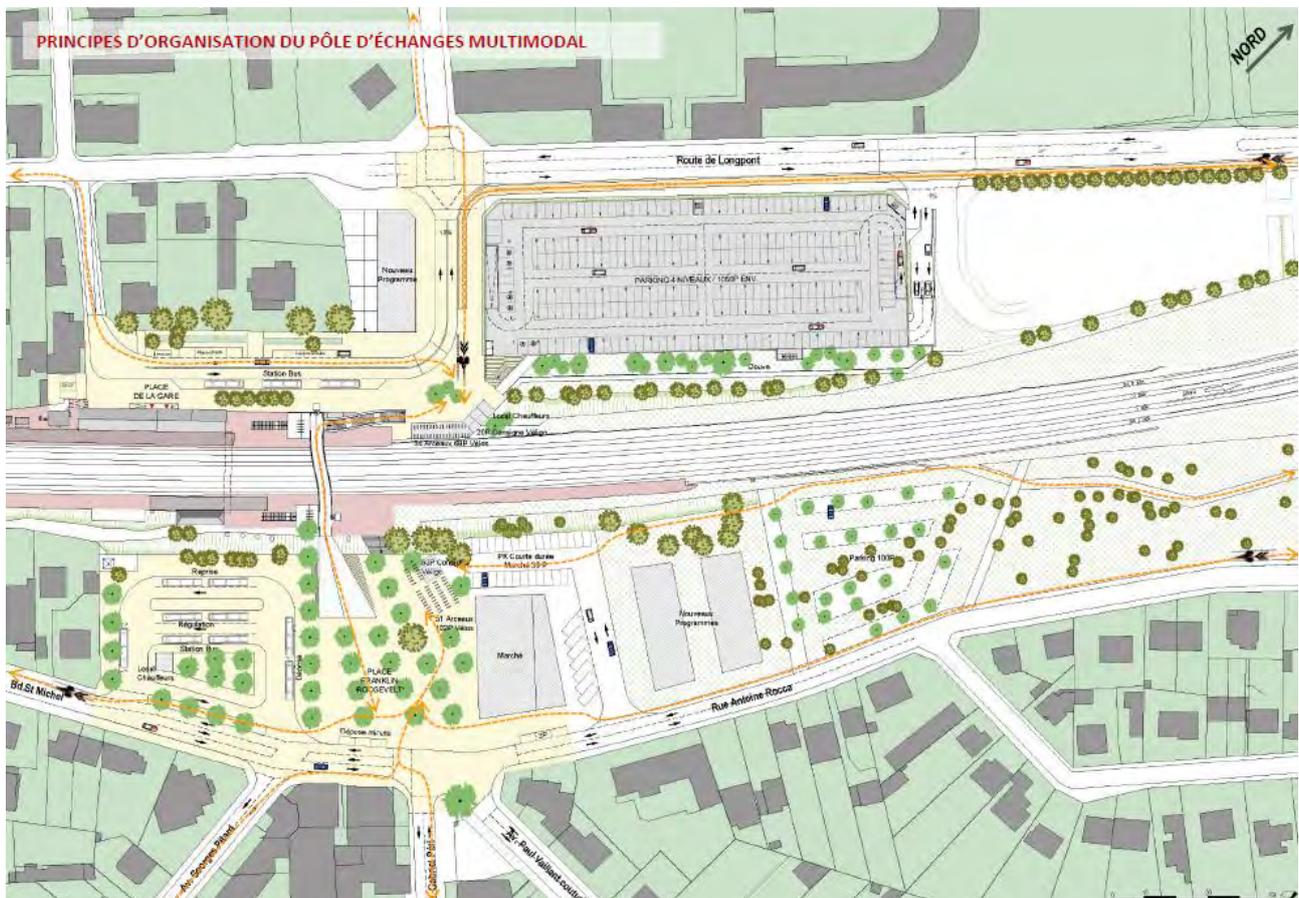
Polluants à prendre en compte dans une étude air et santé de niveau III	
<ul style="list-style-type: none">• Oxydes d'azote (NOx)• Particules (PM10 et PM2.5)• Monoxyde de Carbone (CO)• Composés organiques volatils non méthaniques (COVM)	<ul style="list-style-type: none">• Arsenic• Nickel• Benzo(a)pyrène (BaP)• Benzène• Dioxyde de soufre (SO₂)

4. Description de la zone d'étude

4.1 Caractéristiques générales du projet

Le projet d'aménagement du pôle gare prévoit l'aménagement de places de stationnements, d'un pôle bus, d'un parvis central ouvert sur l'axe Gabriel Péri, d'un carrefour à feux au niveau du pont de la Fouille sur la RD25, et de création de passerelles d'usage mixte.

Figure 3 : Vue globale du projet

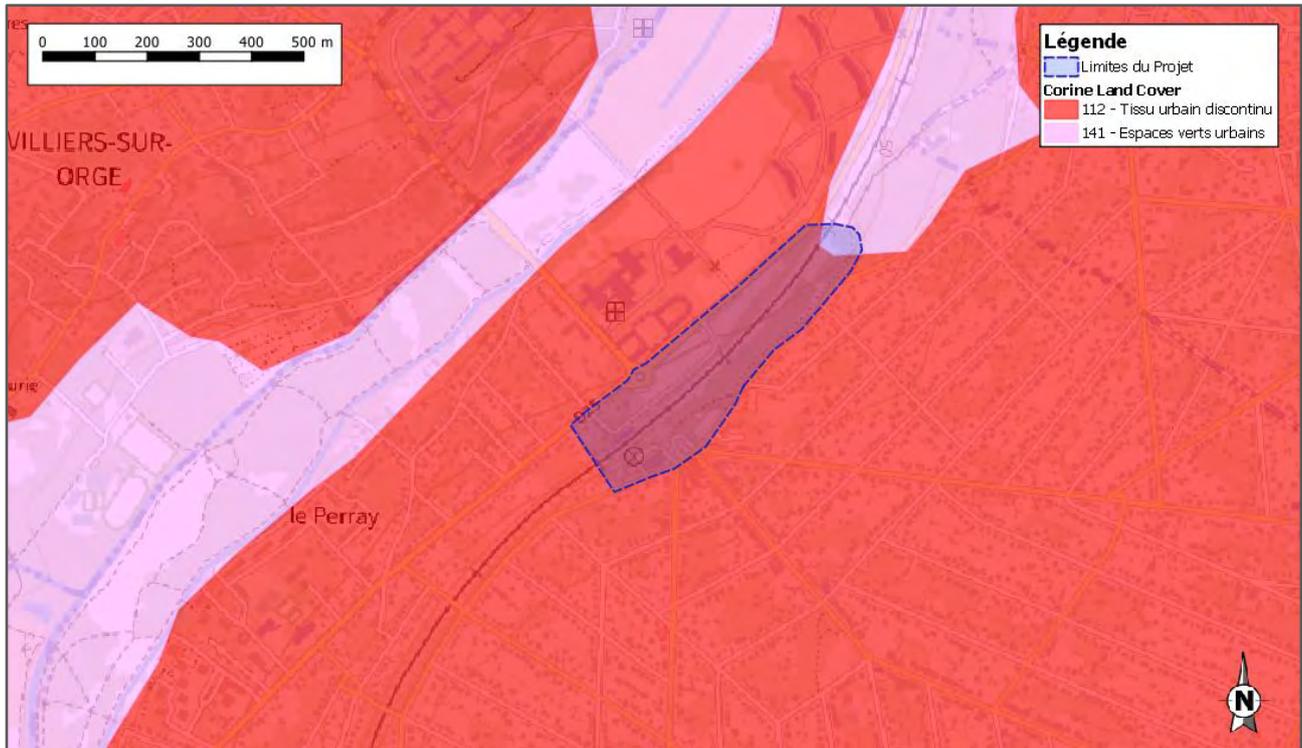


Source : SCHEMA DE REFERENCE DU POLE GARE DE SAINTE GENEVIEVE DES BOIS

4.2 Occupation des sols

La suivante illustre l'occupation des sols de la zone d'étude établie à partir de la base de données Corine Land Cover (CLC) datant de l'année 2018, fournie par l'IFEN (Institut Français de l'Environnement).

Figure 4 : Occupation des sols sur le domaine d'étude



Source : CLC 2018

Le projet est implanté au sein d'un environnement urbain dense, entrecoupé par le parc naturel du Perrey. Aucune Installation Classée pour la Protection Environnement (ICPE) n'est située à proximité du projet.

4.3 Climatologie

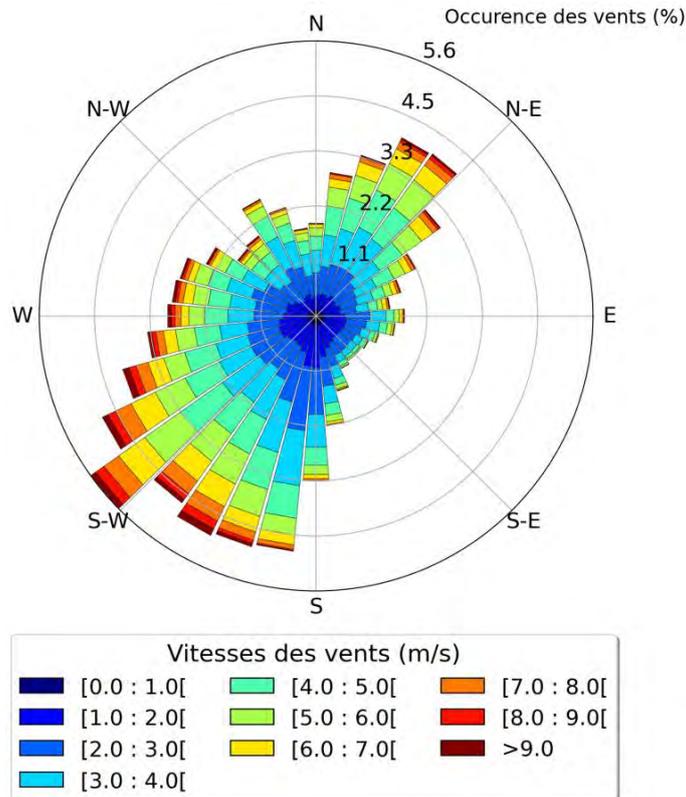
Le climat francilien est dans l'ensemble plutôt homogène. A la rencontre des grandes influences climatiques présentes sur les plaines et plateaux du Bassin Parisien, il se caractérise par une influence océanique dominante. Ce climat tempéré, souvent nuageux et doux, ne se prête que rarement à des excès de température en été comme en hiver. La neige y est rare et les précipitations modérées.

L'ensemble des données météorologiques prises en compte dans le présent chapitre est issu de la station Météo-France de Paris-Orly, station la plus représentative de la zone d'étude implantée à 10 km au Nord-Est du projet.

4.3.1 Les vents

À Paris-Orly, on observe principalement des vents d'un large secteur sud-ouest et de secteur nord-est. En effet, 20% des vents sont de secteur sud-ouest (200°-240°) et 13% de secteur nord-est (0°-40°).

Figure 5 : Rose des vents 2014-2023

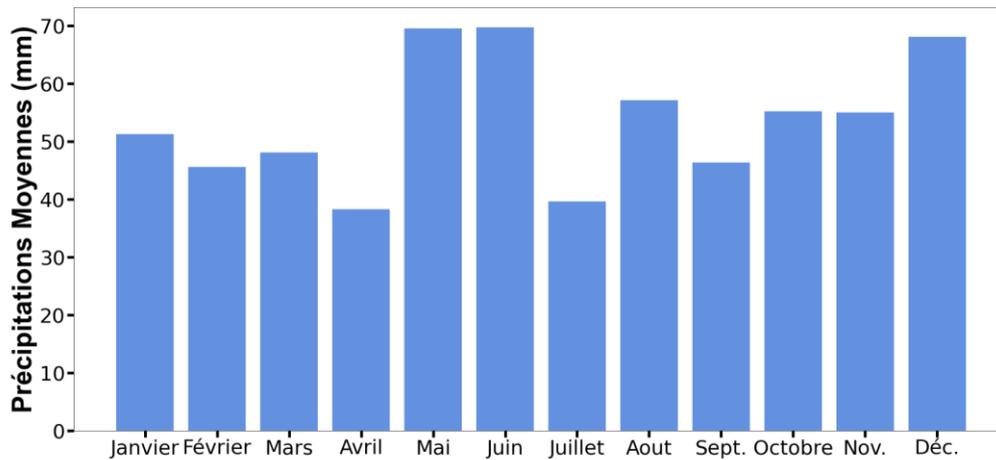


Source : Météo-France – Station météorologique de Paris-Orly

4.3.2 La pluviométrie

À Paris-Orly, le nombre moyen de jours avec précipitations (hauteur quotidienne supérieure à 1 mm d'eau) s'élève à 107 jours par an. La quantité moyenne annuelle de précipitation est de 644 mm. Ces précipitations sont globalement réparties de façon homogène tout au long de l'année.

Figure 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle (2014-2023)



Source : Météo-France – Station météorologique de Paris-Orly

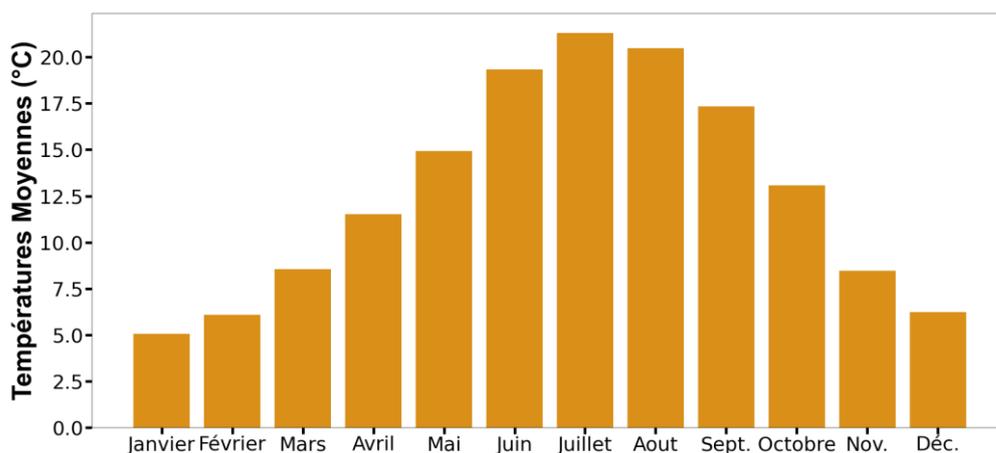
4.3.3 L'ensoleillement

La durée moyenne d'ensoleillement est d'environ 1669 heures par an à Sainte-Geneviève-des-Bois. Le nombre moyen de jours avec un bon ensoleillement est faible (52 jours par an).

4.3.4 Les températures

La température moyenne annuelle relevée au droit de la station Météo-France de Paris-Orly est de 12,7 °C. La température minimale moyenne annuelle est de 5°C ; la température maximale moyenne annuelle est de 21 °C.

Figure 7 : Températures moyennes mensuelles (2014 – 2023)



Source : Météo-France – Station météorologique de Paris-Orly

4.4 Population

4.4.1 Population générale

A partir des données INSEE (recensement de la population en 2018⁴), nous décrivons les populations en termes d'effectif total, de répartition par tranche d'âge et par sexe. Cette description concerne la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois sur laquelle s'étend le domaine d'étude.

L'effectif de la population est de 36 015 habitants.

Tableau 16 : Effectif de la population municipale

Commune	Population totale (INSEE, 2018)	Densité Moyenne (hab/km ²)
Sainte-Geneviève-des-Bois	36 015	3 885

Source : INSEE (2018)

Le tableau suivant présente les répartitions des effectifs de populations dans chaque commune par classe d'âge. 38 % des habitants ont moins de 30 ans.

Tableau 17 : Répartition de la population par tranche d'âge

Commune	0 - 14 ans	15 - 29 ans	30 - 44 ans	45 - 59 ans	60 - 74 ans	75 ans et plus
Sainte-Geneviève-des-Bois	7 201	6 392	7 005	7 377	5 092	2 948
	20.0	17.7	19.5	20.5	14.1	8.2

Source : INSEE (2018)

Au niveau des occupations des logements (Tableau 18), les communes sont principalement occupées par des résidences principales (> 97 %). Les logements secondaires et vacants n'occupent qu'une très faible proportion des résidences.

Tableau 18 : Répartition du type de logement

Commune	Résidences principales (en %)	Résidences secondaires et logements occasionnels (en %)	Logements vacants (en %)
	2017		
Sainte-Geneviève-des-Bois	97.6	0.8	1.6

Source : INSEE (2018)

Le tableau suivant présente les évolutions des effectifs des populations totales depuis 1968 à l'échelle communale.

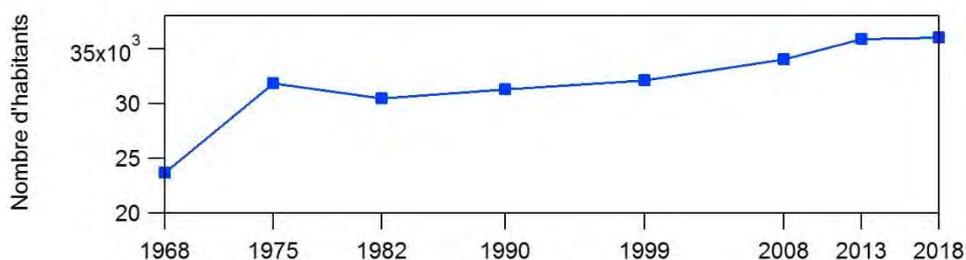
⁴ Il s'agit des données disponibles les plus récentes sur ces communes.

Tableau 19 : Evolution démographique de la population municipale de 1968 à 2018

Commune	1968	1975	1982	1990	1999	2008	2013	2018
Sainte-Geneviève-des-Bois	23 684	31 859	30 439	31 286	32 125	34 022	35 868	36 015

Source : INSEE (2018)

Figure 8 : Evolution démographique de la population municipale de 1968 à 2018



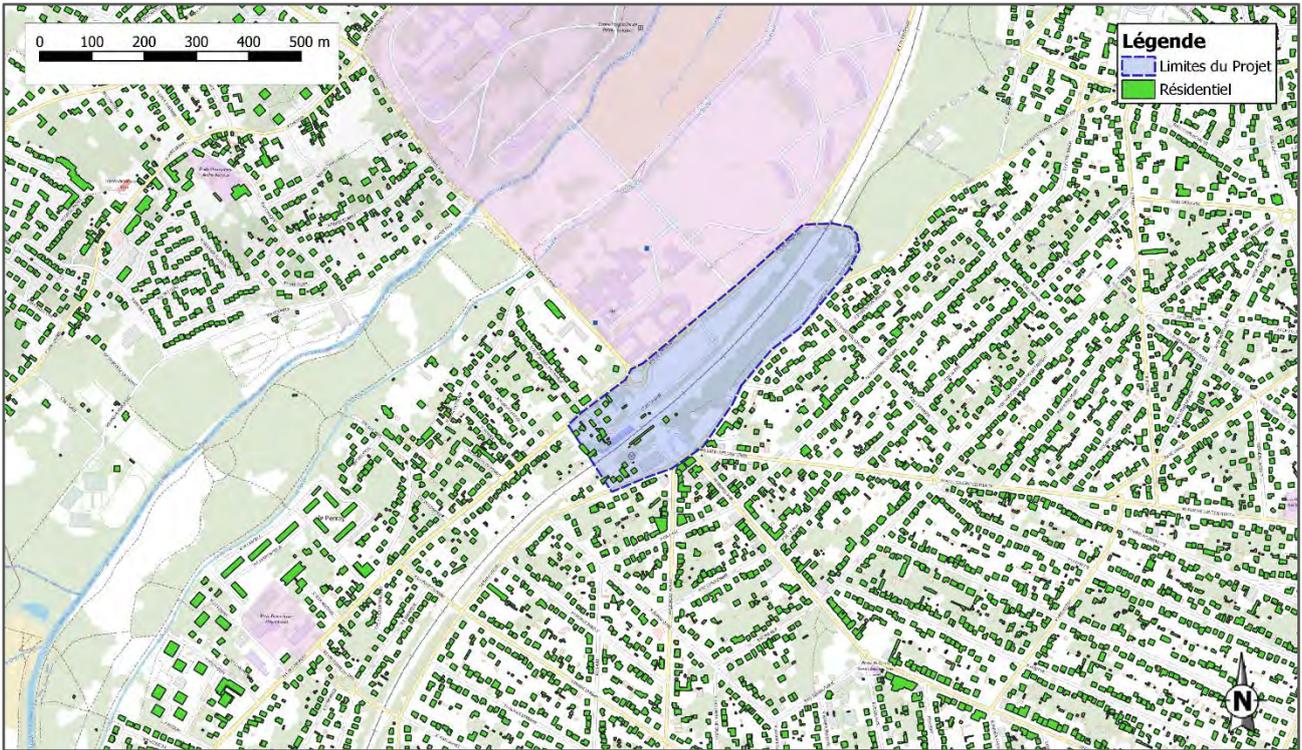
Ce tableau et le graphique associé montre que la population sur la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois connaît une augmentation démographique depuis 1968.

Ainsi, il apparaît que sur la zone d'étude, la population présente est de type **urbaine**, relativement **jeune** (38 % des personnes recensées ont moins de 30 ans, 35,4 % dans la population française).

La population résidant dans la zone d'étude a été caractérisée à l'échelle communale. Le recensement à l'échelle communale majore les effectifs du domaine d'étude étant donné que la commune n'est incluse qu'en partie dans le domaine d'étude.

Les riverains les plus proches de la zone d'étude sont localisés sur la figure ci-après,

Figure 9 : Localisation des populations les plus proches

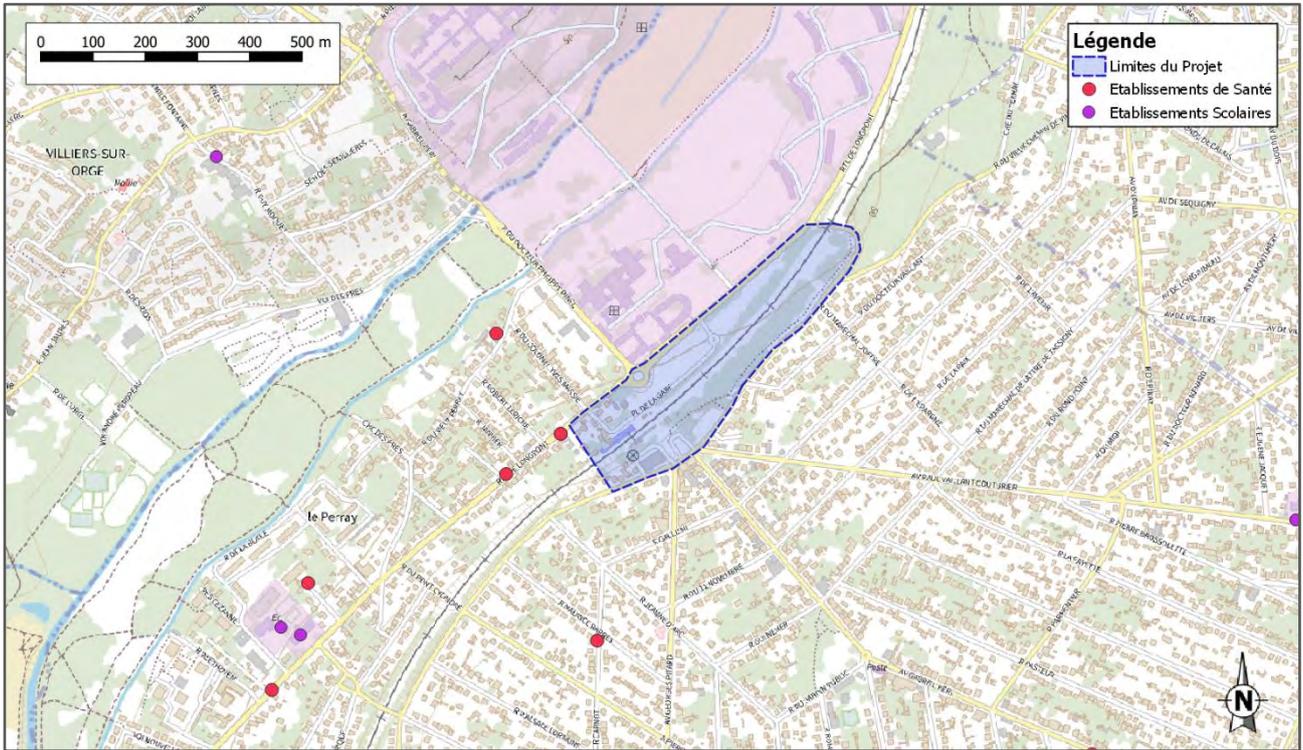


4.4.2 Populations sensibles

Il apparaît clairement que certaines populations sont plus vulnérables que d'autres en termes de santé. C'est pourquoi, dans le cadre du volet « Air et Santé », il est important de localiser les sites dits « sensibles » (écoles, crèches, équipements sportifs, maisons de retraite et établissements de santé) autour du site du projet.

Si aucune école n'est située à proximité immédiate du projet, plusieurs établissements de santé le sont en revanche. Ces sites sont localisés sur la figure suivante :

Figure 9 : Localisation des populations sensibles



5. Qualité de l'air à l'état initial

Ce paragraphe a pour objectif de décrire la qualité de l'air de la zone d'étude à partir des données bibliographiques disponibles. Cette analyse s'appuiera principalement sur :

- Le dernier bilan en date des émissions et de la qualité de l'air en Île-de-France (année 2021) publié par l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air : AIRPARIF ;
- Les concentrations mesurées sur les stations du réseau de mesures d'AIRPARIF sur les trois dernières années représentatives du bruit de fond moyen soit 2021, 2022, 2023

5.1 Inventaire sectoriel des émissions

Le tableau suivant expose le bilan des émissions atmosphériques de l'année 2021 réalisé par AIRPARIF pour l'intercommunalité Cœur d'Essonne Agglomération dont fait partie la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois

Tableau 20. Emissions sur la zone d'étude

Paramètre	NO _x	SO ₂	COVNM ⁵	PM10	PM2.5	GES ⁶ ktonnes/an
Emissions annuelles de Cœur d'Essonne Agglomération Ouest (t/an)	992	27	1 177	251	185	651
Emissions annuelles d'Ile de France (t/an)	57 840	4 200	72 610	14 420	8 780	37 410
% d'émission par rapport à l'Ile de France	1.7%	0.6%	1.6%	1.7%	2.1%	1.7%

Les émissions représentent moins de 2.5 % des émissions d'île de France.

Le secteur du transport routier est le principal émetteur de NO_x et le deuxième principal émetteur de PM10 et PM2.5 ; il représente respectivement 73 %, 25 % et 23 % des émissions de NO_x, PM10 et PM2.5. Le secteur résidentiel (chauffage résidentiel) est l'autre secteur principal d'émissions.

⁵ COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

⁶ GES : Gaz à Effet de Serre

5.2 Bilan de la qualité de l'air de la zone d'étude entre 2021 et 2023

Le bilan de la qualité de l'air au droit de la zone d'étude est établi pour les principaux traceurs de pollution du trafic routier et du milieu urbain : le NO₂, les PM10 et PM2.5.

Le réseau AIRPARIF ne dispose pas de stations de fond à proximité du projet.

A défaut de mesures, AIRPARIF met en ligne quotidiennement des données modélisées des concentrations de NO₂, PM2.5 et PM10 au droit du projet. AIRPARIF détermine également à partir de ces données un indice de la qualité de l'air.

5.2.1 Concentrations modélisées PM10, PM2.5 et NO₂

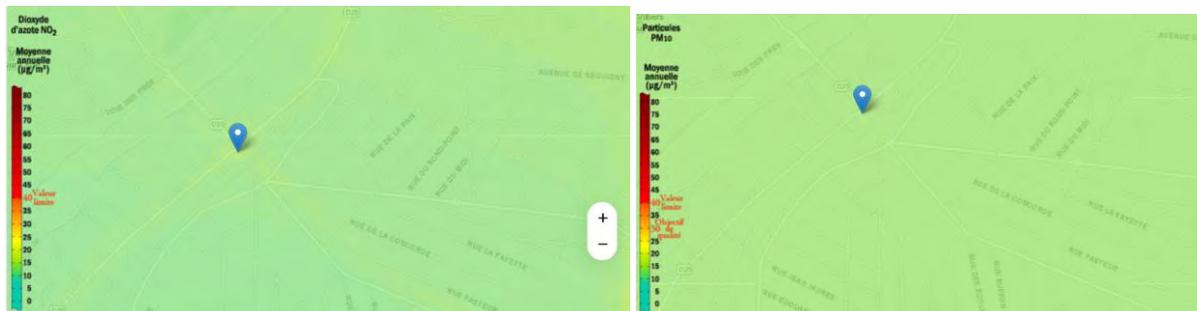
Le tableau ci-après présente les concentrations moyennes annuelles en NO₂, PM10 et PM2.5 modélisées au droit du projet entre 2021 et 2023.

Tableau 21 : Concentrations annuelles modélisées par AIRPARIF au droit du projet

Localisation	NO ₂ (µg/m ³)			PM10 (µg/m ³)			PM2.5 (µg/m ³)		
Année	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Emplacement du projet	23	18	15	15	16	14	9	10	8
Seuils réglementaires	40 µg/m³			40 µg/m³			25 µg/m³		
VG OMS	10 µg/m³			15 µg/m³			5 µg/m³		

Source : AIRPARIF

Figure 10 : Concentrations modélisées de NO₂ et PM10 (µg/m³) au droit du projet



D'après les modélisations AIRPARIF, les concentrations moyennes annuelles en NO₂, PM2.5 et PM10 au droit du projet sont inférieures aux valeurs limites annuelles, mais restent néanmoins supérieures aux valeurs recommandées par l'OMS.

Pour le NO₂, les concentrations sont sensiblement plus élevées au droit des principaux axes routiers. Pour rappel, le NO₂ est principalement émis par le transport routier.

La dégradation de la qualité de l'air à proximité immédiate des axes routiers doit être prise en compte dans l'aménagement et la ventilation des espaces intérieurs, notamment si des espaces intérieurs avec des populations vulnérables doivent être aménagés.

5.2.2 L'indice ATMO

L'indice ATMO, diffusé quotidiennement au grand public, est un indicateur permettant de caractériser la qualité de l'air moyenne de chaque jour.

Depuis le 1^{er} Janvier 2021, l'indice ATMO Français s'est harmonisé avec les seuils de l'indice de l'Agence Européenne pour l'Environnement, et qualifie l'air selon 6 classes.

Figure 11 : Classes de l'indice ATMO



Source : ATMO-France

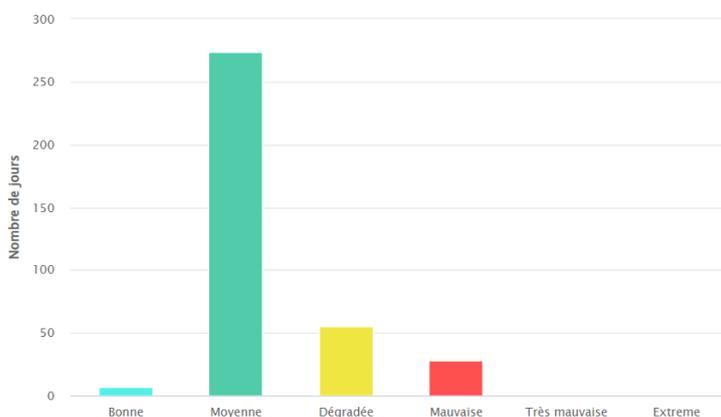
Cinq polluants entrent en compte dans le calcul de cet indice : NO₂, SO₂, O₃, PM2.5 et PM10.

Pour chaque polluant, un sous-indice est calculé. Chaque sous-indice est déterminé chaque jour à partir d'une moyenne des niveaux du polluant considéré sur l'ensemble des stations retenues.

Pour les particules, c'est la concentration moyenne journalière sur chaque site qui est considérées, tandis que pour le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et l'ozone, c'est la concentration maximale horaire du jour qui est prise en compte. C'est le sous-indice maximal qui est choisi comme indice Atmo final caractérisant la qualité de l'air globale de la journée considérée.

La figure en page suivante présente l'indice ATMO en 2023 sur la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois.

Figure 12 : Répartition de l'indice ATMO de Sainte-Geneviève-des-Bois en 2023



Source : AIRPARIF

En 2023, Sainte-Geneviève-des-Bois a bénéficié d'une qualité de l'air :

- Bonne jours de l'année ;
- Moyenne 274 jours de l'année, soit environ 75 % de l'année ;
- Dégradée 55 jours de l'année, soit environ 15 % de l'année ;
- Mauvaise 28 jours de l'année, soit environ 8 % de l'année

La qualité de l'air est donc de façon globale moyenne sur la commune en lien notamment avec les particules PM2.5 et les NO₂.

5.3 Campagnes de mesures in situ

Afin de qualifier au mieux la qualité de l'air sur la zone d'étude, une campagne de mesures complémentaires a été réalisée par GINGER BURGEAP en Avril 2022 dans l'environnement de la zone d'étude.

Conformément à la méthodologie du Cerema, la campagne de mesures a été adaptée aux enjeux de l'étude. Ainsi, le dioxyde d'azote (NO₂) et les poussières PM10 principaux polluants considérés comme étant un des indicateurs fiables de la pollution atmosphérique émise dans les zones avec un fort taux d'occupation urbaine ont été mesurés. Le NO₂ en particulier est typiquement le traceur le plus représentatif de la pollution routière tel que défini dans le guide du Cerema (2019).

5.3.1 Méthodologie du prélèvement et de l'analyse

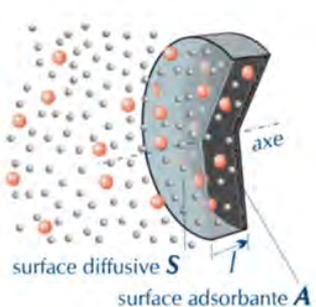
5.3.1.1 Prélèvement du NO₂

La méthode de prélèvement du NO₂ était la méthode par échantillonnage passif. Elle permet de mesurer la concentration en polluants gazeux de façon autonome.

Cette méthode ne nécessite pas d'alimentation électrique et l'analyse chimique en laboratoire des supports fournit une valeur moyenne (concentration des polluants gazeux) pendant la durée d'exposition.

Le tube contient un adsorbant adapté pour le piégeage du polluant à mesurer. Le prélèvement de l'échantillon s'effectue par une méthode naturelle. Celle-ci repose sur le principe de la diffusion passive des molécules sur le milieu adsorbant. Quand l'échantillonneur est exposé, un gradient de concentration s'établit entre l'air à l'extérieur du tube et l'air en contact avec la surface de l'adsorbant. Ce différentiel de concentration va entraîner une diffusion du composé à travers la membrane poreuse, sans mouvement actif de l'air. L'échantillonneur passif est exposé à l'air pour une durée de 15 jours.

Figure 13 : Principe de l'échantillonnage passif



Les surfaces diffusive et adsorbante de l'échantillonneur diffusif axial sont deux faces planes et opposées d'une boîte fermée, d'habitude cylindrique. Sous un gradient de concentration, les molécules adsorbables (en couleur sur le schéma) pénètrent la surface diffusive et viennent d'être piégées par celle adsorbante.

La quantité de polluant est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est décrite par la loi de Fick simplifiée :

$$C = \frac{m}{Q \times t}$$

Avec : C : concentration moyenne en polluant dans l'air pendant la période d'échantillonnage ;
m : masse du composé adsorbé sur le support ;
Q : facteur caractérisant la diffusion du polluant dans le capteur (déterminé par le fabricant) ;
t : temps d'échantillonnage.

Les tubes passifs sont reconnus et décrits par la norme Européenne « *Ambient Air Quality – Diffusive samplers for the determination of gases and vapours – requirements and test methods* » [EN 13528 :2002].

L'utilisation des tubes à diffusion passive est optimale pour des conditions de température comprises entre 5°C et 30°C. Pour des températures non comprises dans cet intervalle, une erreur relative de 20% peut être notée.

Le tube en extérieur est placé à 1,5 m du sol dans un abri pour le protéger de la pluie et pour minimiser les effets du vent.

Les obstacles doivent être évités autant que possible (poteaux, ...), le site doit être aéré pour éviter les phénomènes d'accumulation.

5.3.1.2 Prélèvement des PM10

Les poussières ont également été prélevées à l'aide de capteurs passifs. Le capteur passif est une plaque adhésive permettant de piéger les poussières. Le prélèvement de l'échantillon s'effectue par une méthode naturelle qui repose sur le principe d'impaction des particules par sédimentation. Les poussières piégées sont ensuite analysées par microscopie. Cette analyse permet d'obtenir le nombre de particules déposées et la distribution granulométrique de ces particules : ainsi une concentration approximative en PM10 peut être calculée.

L'utilisation de ces capteurs est optimale dans des conditions de température comprises entre -30 et 40°C ainsi que pour des vitesses de vent inférieures à 4,5 m/s. En dehors de ces plages, une erreur relative de 20% peut être notée.

Les plaques adhésives sont placées dans des supports qui permettent de les protéger de la pluie et de minimiser l'influence du vent. Ils sont placés en hauteur sur des supports existants ou sur des piquets métalliques disposés par GINGER BURGEAP, afin d'éviter les actes de vandalisme.

Photographie du dispositif de prélèvement des poussières PM10



5.3.2 Emplacement des points de mesure

Lors de la campagne de mesures, 5 points ont été échantillonnés pour le NO₂ et les PM10.

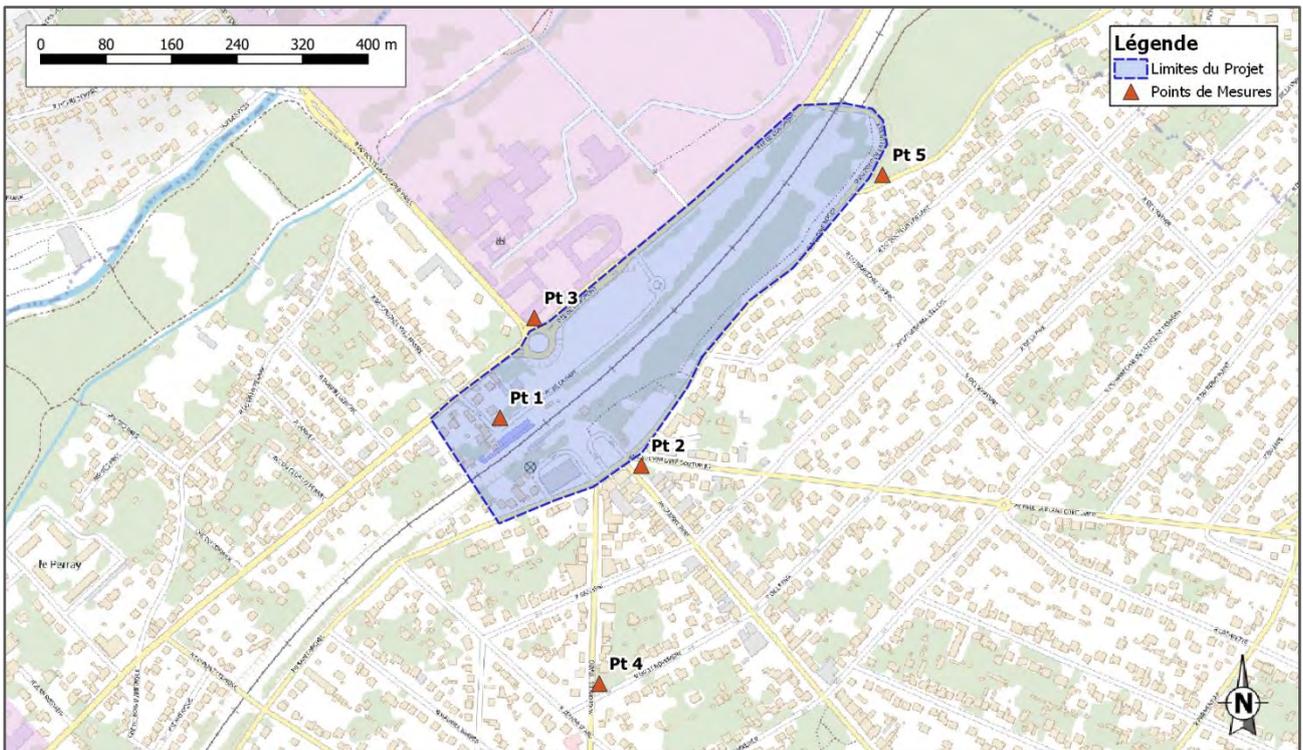
La carte suivante présente la localisation des points de mesures.

Le choix des emplacements des points de mesures répond au guide méthodologique du Cerema (2019) concernant le critère de représentativité des mesures dans le domaine d'étude. Le choix des emplacements

proposé dans cette étude résulte d'une analyse de la répartition spatiale des sources d'émissions et des populations ainsi que de la météorologie locale.

Par ailleurs, ces emplacements ont été sélectionnés pour étudier les niveaux de pollution résultants de l'influence des sources de pollution existants dans le domaine d'étude et plus largement dans un rayon d'1 km autour du domaine d'étude.

Figure 14 : Localisation des points de mesures



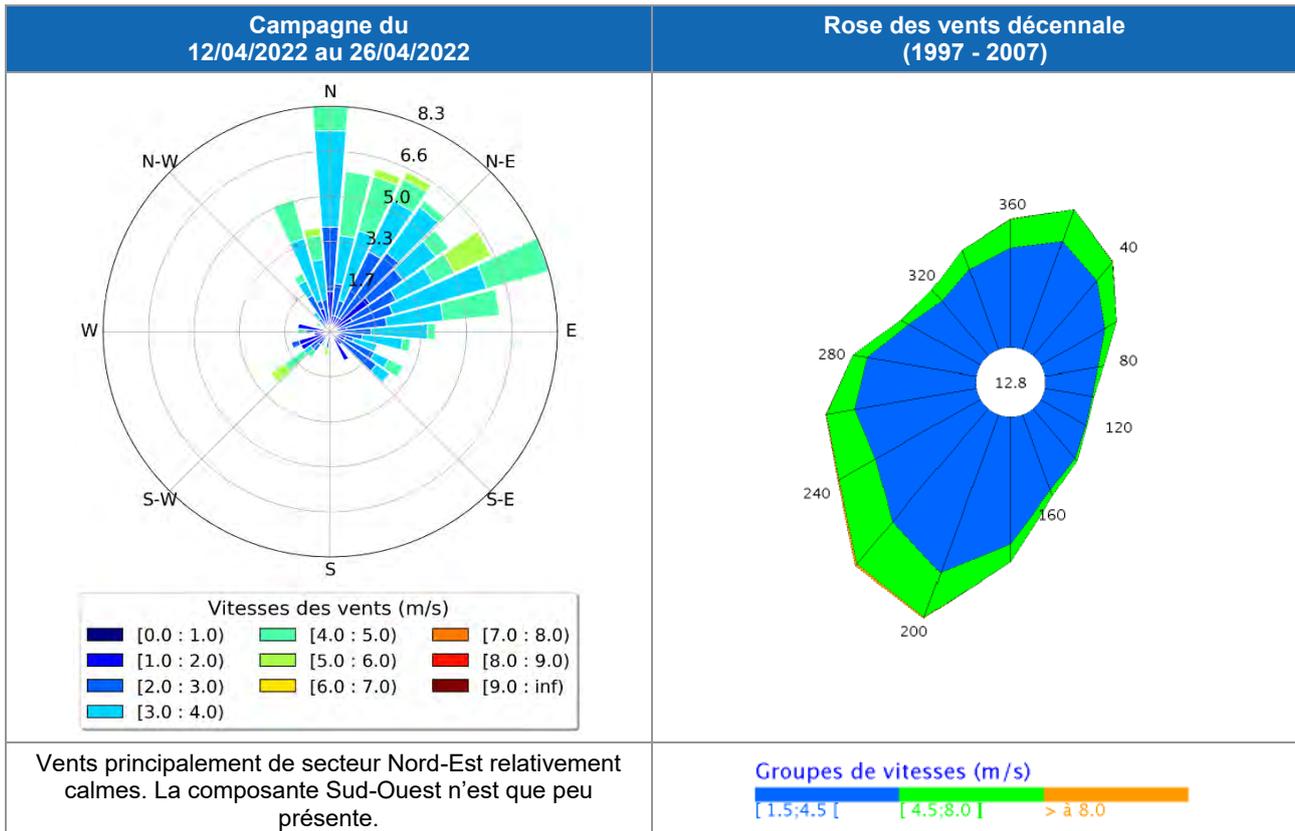
5.3.3 Campagne de mesures

Les prélèvements ont été effectués sur une période de 14 jours : du 12 au 26 avril 2022.

5.3.3.1 Données météorologiques durant la campagne

La figure suivante présente la rose des vents associée aux vents mesurés lors de la campagne sur la station Météo-France de Paris-Orly, ainsi que la rose des vents décennale issue de cette même station.

Figure 15 : Comparaison des conditions météorologiques

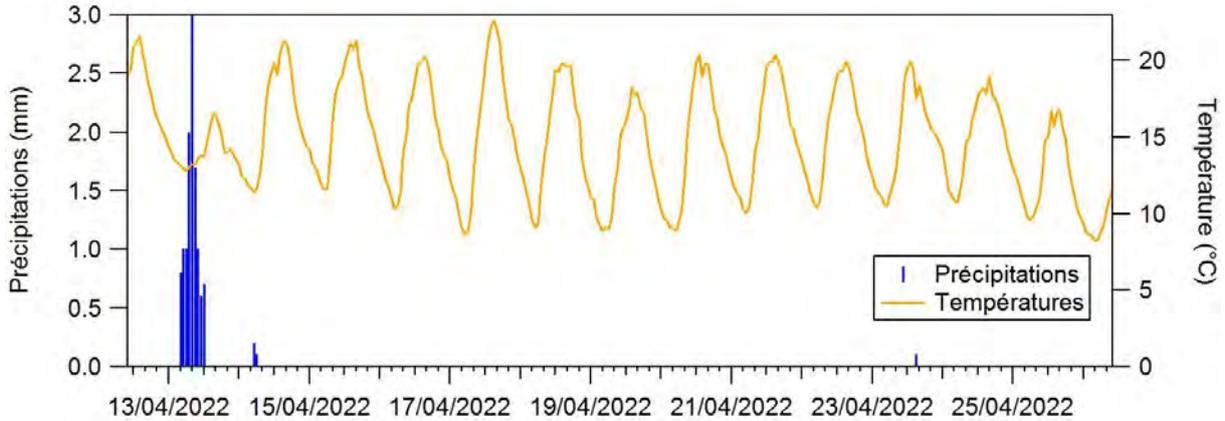


Source : Météo-France – Station météorologique de Paris - Orly

Lors de la campagne de mesure en 2022, on observe des vents essentiellement de secteurs Nord-Est. Les vents de secteurs Sud-Ouest habituellement rencontrés au droit de la zone d'étude n'ont pas été observés lors de la période de mesure.

Les graphiques suivants présentent l'évolution de la température et les précipitations mesurées lors de la campagne de mesures.

Figure 16 : Températures et Précipitations pendant la campagne



Source : Météo-France – Station météorologique de Paris - Orly

Lors de la campagne de mesure, nous pouvons noter que :

- Les précipitations sont légèrement inférieures aux normales de saison : 12.2 mm de précipitations, relevés pendant les 14 jours d'exposition ; les conditions normales saisonnières affichent en avril une pluviométrie moyenne de 51.8 mm avec 9.3 jours de pluie (jours comptés uniquement pour des hauteurs de précipitations supérieures ou égales à 1 mm) ;
- Les températures ont oscillé entre 6.1 °C et 22.6 °C avec une température moyenne sur la période de 15.0 °C ce qui est représentatif des températures au mois d'avril sur la station.

Les conditions climatiques rencontrées lors de la campagne de mesures et notamment les températures relevées sont favorables à une utilisation des capteurs passifs (températures moyennes journalières comprises entre 5 et 30 °C).

5.3.3.2 Validité des points de mesure

Un tube témoin appelé « blanc », a été réalisé pendant la durée d'échantillonnage de la campagne de mesures afin de contrôler la qualité des résultats en NO₂. Ce blanc, dont le bouchon n'a pas été ôté, a suivi le parcours des autres tubes lors de la pose, de la dépose et du transport des tubes au laboratoire.

Tableau 22 : Concentrations en µg/m³ - Blancs

Point	NO ₂ en µg/m ³
Blanc	<0.6

La concentration mesurée sur ce tube est inférieure au seuil de quantification.

Les échantillons n'ont donc pas été contaminés et il n'est pas nécessaire de retrancher la valeur du blanc aux autres mesures.

5.3.3.3 Répétabilité de la mesure

Afin d'évaluer la répétabilité des mesures, un doublon a été réalisé sur le point 1. Les concentrations en NO₂ ont été mesurées au moyen de deux tubes passifs placés dans le même support. Pour évaluer cette

répétabilité, nous avons réalisé une comparaison des deux résultats en calculant l'écart normalisé avec la formule suivante :

$$Ecart\ normalisé = \frac{|0.3 \times C1 + 0.3 \times C2|}{\sqrt{C1^2 + C2^2}}$$

Tableau 23 : Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – Doublon point 1

Point	NO2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Point 1	22.4
Point 1 (Doublon)	22.1
Ecart normalisé	0.42
Moyenne mesurée retenue	22.3

On observe un écart normalisé inférieur à 1 : **la répétabilité de la mesure est validée.**

5.3.3.4 Résultats de la campagne de mesures

Les cartes et les graphiques ci-après présentent les résultats de la campagne de mesures. Le rapport d'analyse fourni par le laboratoires PASSAM est présenté en Annexe 2.

L'extrait de tableau suivant reprend les résultats de la campagne de mesures.

Tableau 24. Résultats de la campagne de mesures ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Point	NO ₂	PM10
Point 1	22.3	18.7
Point 2	27.4	30.5
Point 3	35.5	42.2
Point 4	20.8	20.0
Point 5	30.5	21.5

Figure 17 : Concentrations en NO₂ (en µg/m³)

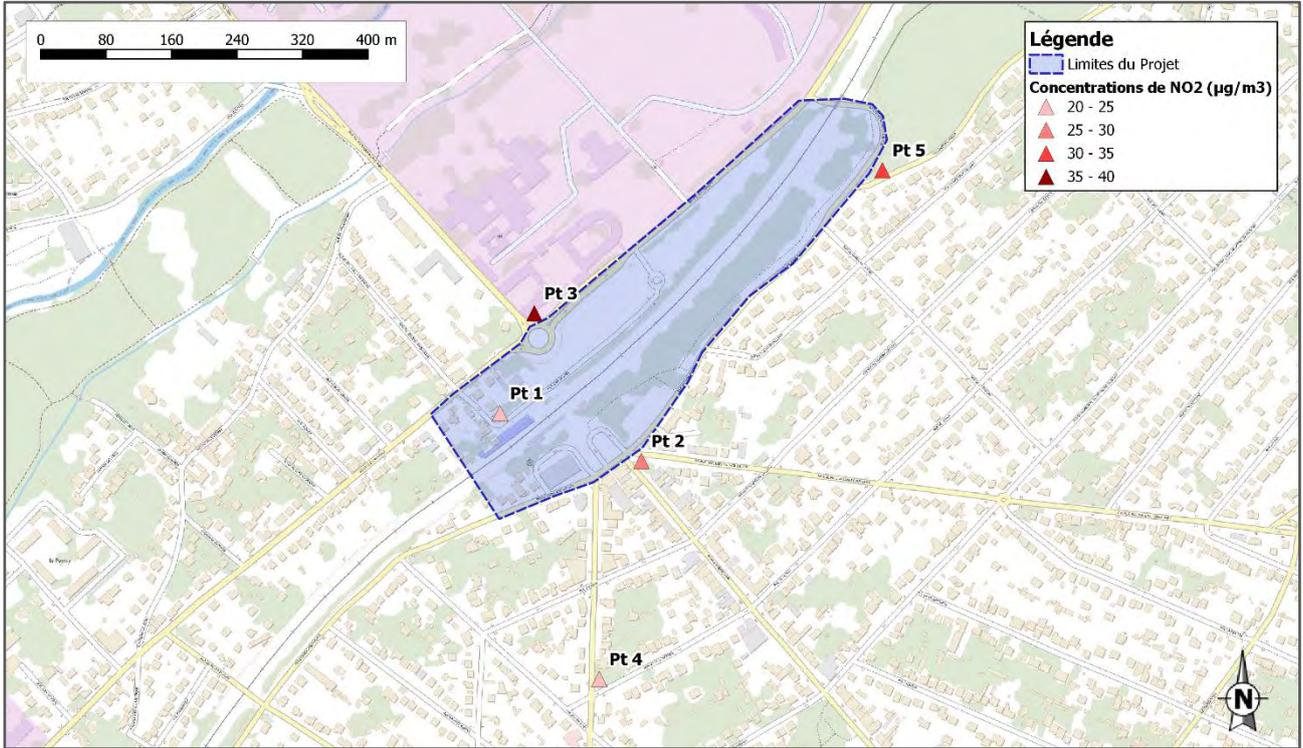
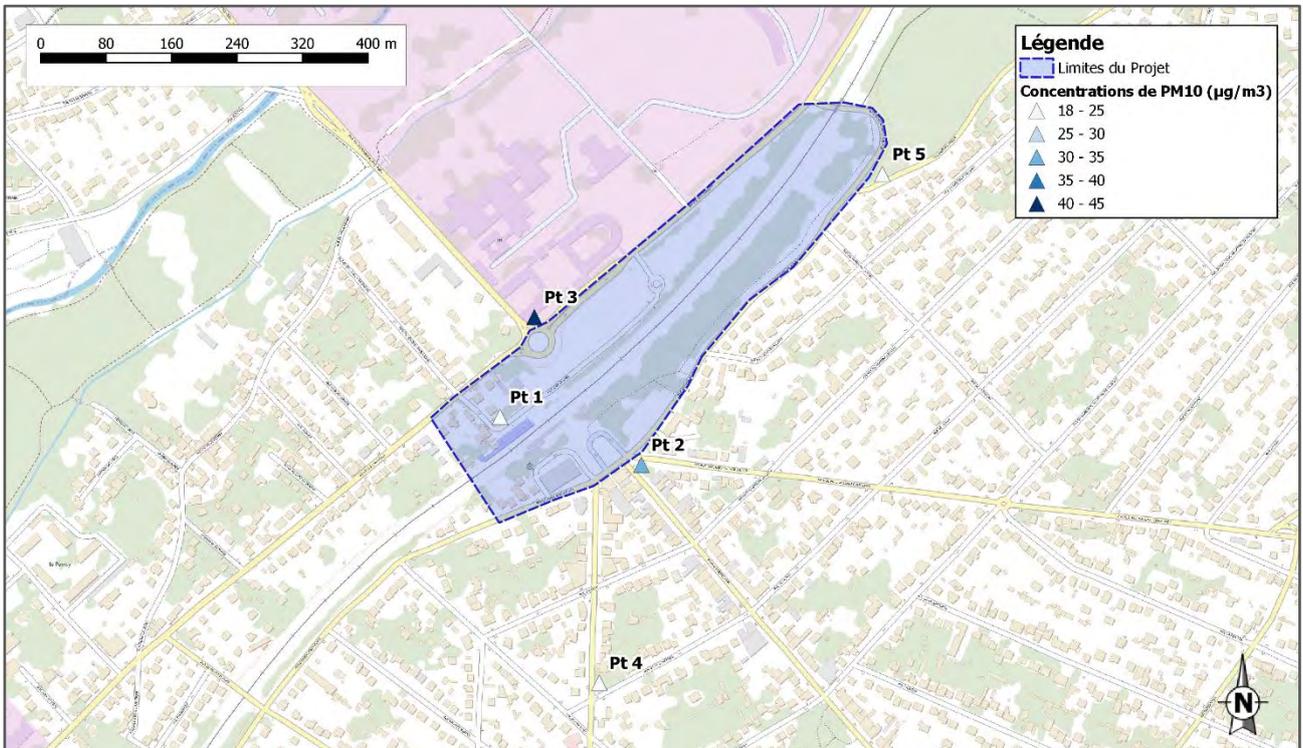


Figure 18 : Concentrations en PM₁₀ (en µg/m³)



Les concentrations mesurées respectent les valeurs limites réglementaires (40 µg/m³ pour le NO₂ et les PM10) hormis pour les PM10 au point 3, mais restent néanmoins significativement supérieures aux objectifs de qualité fixés par l'OMS (10 et 15 µg/m³ pour le NO₂ et les PM10).

Le point 3 présente les concentrations les plus élevées.

Hormis aux points 2 et 3, les concentrations observées sont dans la gamme des concentrations moyenne relevées sur le département de l'Essonne (6 – 25 µg/m³ pour le NO₂ et 15 – 20 µg/m³ pour les PM10).

5.4 Conclusions sur l'état initial de la qualité de l'air

D'après le bilan de la qualité de l'air dans le département réalisé par AIRPARIF :

- Les concentrations moyennes annuelles en NO₂, PM2.5, et PM10 de fond respectent la valeur limite annuelle mais restent supérieures aux valeurs guides de l'OMS ;
- En dépit du respect de ses valeurs limites, la qualité de l'air de la commune de Sainte-Geneviève-des-Bois est catégorisée comme moyenne d'après l'indice ATMO en lien avec les concentrations de PM2.5 et de NO₂.

En complément des mesures d'AIRPARIF, GINGER BURGEAP a réalisé des mesures de NO₂ et de PM10 sur la zone d'étude du 12 au 26 avril 2022 afin de connaître les concentrations présentes sur la zone d'étude. Les résultats indiquent :

- Les concentrations mesurées en NO₂ respectent les valeurs limites réglementaires mais restent néanmoins significativement supérieures aux objectifs de qualité fixés par l'OMS (10 µg/m³) ;
- La concentration en PM10 mesurée au point 3 est supérieure à la valeur limite réglementaire ;
- Hormis aux points 2 et 3, les concentrations observées sont dans la gamme des concentrations moyenne relevées sur le département de l'Essonne (6 – 25 µg/m³ pour le NO₂ et 15 – 20 µg/m³ pour les PM10).

6. Estimation des émissions

L'estimation des émissions dues au trafic automobile est réalisée pour les polluants définis au paragraphe 3.6 et ce pour les 5 scénarii d'études à savoir :

- L'état initial – 2022;
- Scénario « fil de l'eau – 2028 » ;
- Scénario « projet – 2028 » ;
- Scénario « fil de l'eau – 2048 » ;
- Scénario « projet – 2048 » ;

6.1 Méthodologie

6.1.1 Méthodologie générale

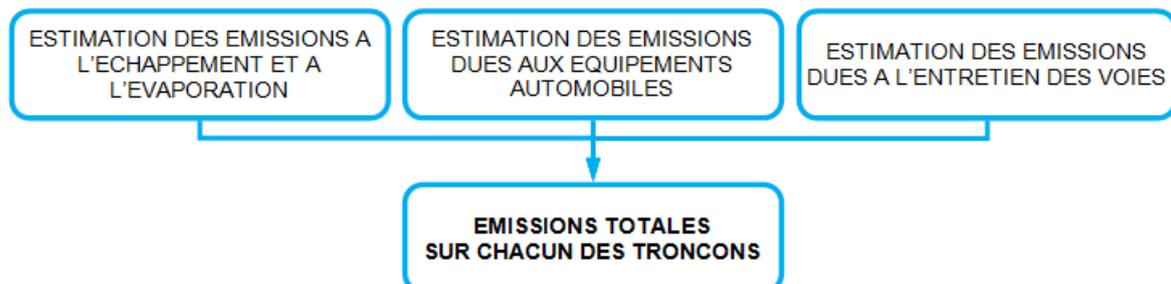
L'origine des émissions des polluants automobiles peut être multiple. Le tableau suivant présente les différentes sources d'émission prises en compte.

Tableau 25. Liste des origines des émissions de polluants

Polluant	Polluant émis à l'échappement et à l'évaporation	Polluant émis par les équipements automobiles	Polluant émis par l'entretien des voies
Oxydes d'azote	X		
PM10 / PM2.5	X	X	X
CO	X		
COVNM	X		
Benzène	X		
Dioxyde de soufre	X		
Nickel	X	X	X
Benzo(a)pyrène	X	X	
Arsenic		X	X

Le graphique ci-après présente le principe général de la méthodologie d'estimation des émissions.

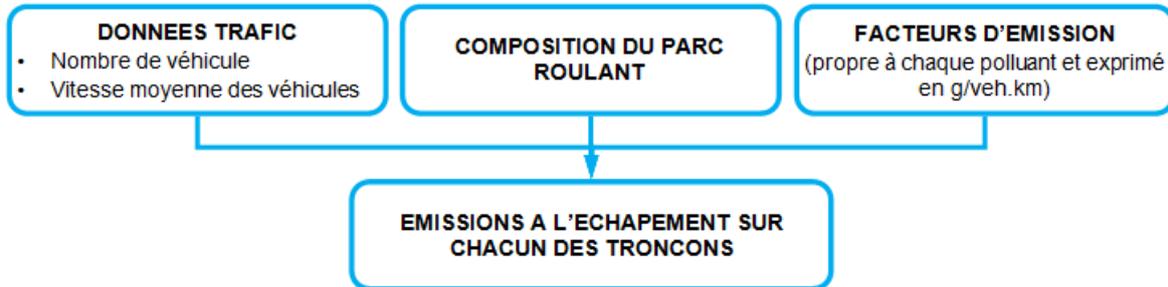
Figure 19 : Méthodologie générale d'estimation des émissions



6.1.2 Méthodologie – émissions à l'échappement et à l'évaporation

L'estimation des émissions à l'échappement et à l'évaporation est réalisée à l'aide du logiciel ARIA TREFIC, basé sur la méthodologie **COPERT V**. Le graphique ci-dessous présente le principe général du mode de calcul du logiciel.

Figure 20 : Méthodologie d'estimation des émissions à l'échappement et à l'évaporation



Ainsi, il est nécessaire de disposer, pour chaque tronçon étudié, de la longueur du tronçon, des trafics moyens journaliers (TMJA), de la répartition des véhicules par catégorie : VL⁷, VUL⁸, 2R⁹, et PL¹⁰) et de la vitesse moyenne des véhicules pour les 5 scénarii étudiés.

Le logiciel ARIA TREFIC permet également de calculer la consommation énergétique ainsi que les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Les émissions de GES regroupent les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) et sont exprimées en équivalent CO₂ (eqCO₂).

6.1.3 Méthodologie – émissions dues aux équipements automobiles

Les émissions sont quantifiées à l'aide de facteurs d'émission, exprimés en ng/véhicule.km. Aussi, pour la réalisation de ce calcul, il est nécessaire de disposer, pour chacun des tronçons étudiés :

- De la longueur du tronçon ;
- Des Trafic Moyens Journaliers Annuels (TMJA) par catégories de véhicules.

6.1.4 Méthodologie – émissions dues à l'entretien des voies

Les émissions sont quantifiées à l'aide de facteurs d'émission, exprimés en g/km.an. Aussi, pour la réalisation de ce calcul, il est nécessaire de disposer de la longueur de chacun des tronçons étudiés.

⁷ VL : Véhicules Légers

⁸ VUL : Véhicules Utilitaires Légers

⁹ 2R : 2 Roues (motos, scooters)

¹⁰ PL : Poids Lourds

6.3 Données d'entrée

6.3.1 Données trafic

Les données de trafic nécessaires à l'estimation des émissions pour chacun des tronçons routiers considérés sont :

- Le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) ;
- La longueur des tronçons ;
- La vitesse moyenne des véhicules pour chacun des tronçons routiers considérés ;
- La répartition par catégorie de véhicules, et ce pour chacun des tronçons routiers considérés.

Les caractéristiques des tronçons routiers et pris en compte dans le cadre de cette étude sont présentées en Annexe 3.

► Vitesses

Pour l'ensemble des scénarii pris en compte, les vitesses considérées sont les vitesses maximales autorisées.

► TMJA

Les données de trafic fournies par TECNA sont exprimées en Heure de Pointe du Soir (HPS) et en Heure de Pointe du Matin (HPM).

Ainsi, le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) a été estimé selon la formule suivante en prenant en compte un facteur 10 (valeur usuelle pour ce type de calcul en milieu urbain) pour la conversion heures de pointe en TMJA :

$$TMJA = 10 \times \frac{HPS + HPM}{2}$$

Les données de comptage sont présentées en Annexe 4.

Le tableau ci-après présente les distances parcourues totales¹¹ considérées dans le cadre de cette étude.

Tableau 26. Distances totales sur le domaine d'étude par scénario

	Longueur totale du réseau (avec trafic) étudié	Distance parcourue totale ¹²
Scénario Etat Initial	3.53 km	19 869 km/jour
Scénario Fil de l'Eau	3.53 km	19 869 km/jour
Variation au fil de l'eau¹³	-	-
Scénario Projet	3.53 km	21 978 km/jour
Impact du projet¹⁴	0.1%	11%

¹² Distances parcourues totales = \sum (TMJA x longueur du tronçon)

¹³ Différence relative entre le scénario futur sans projet et l'état initial

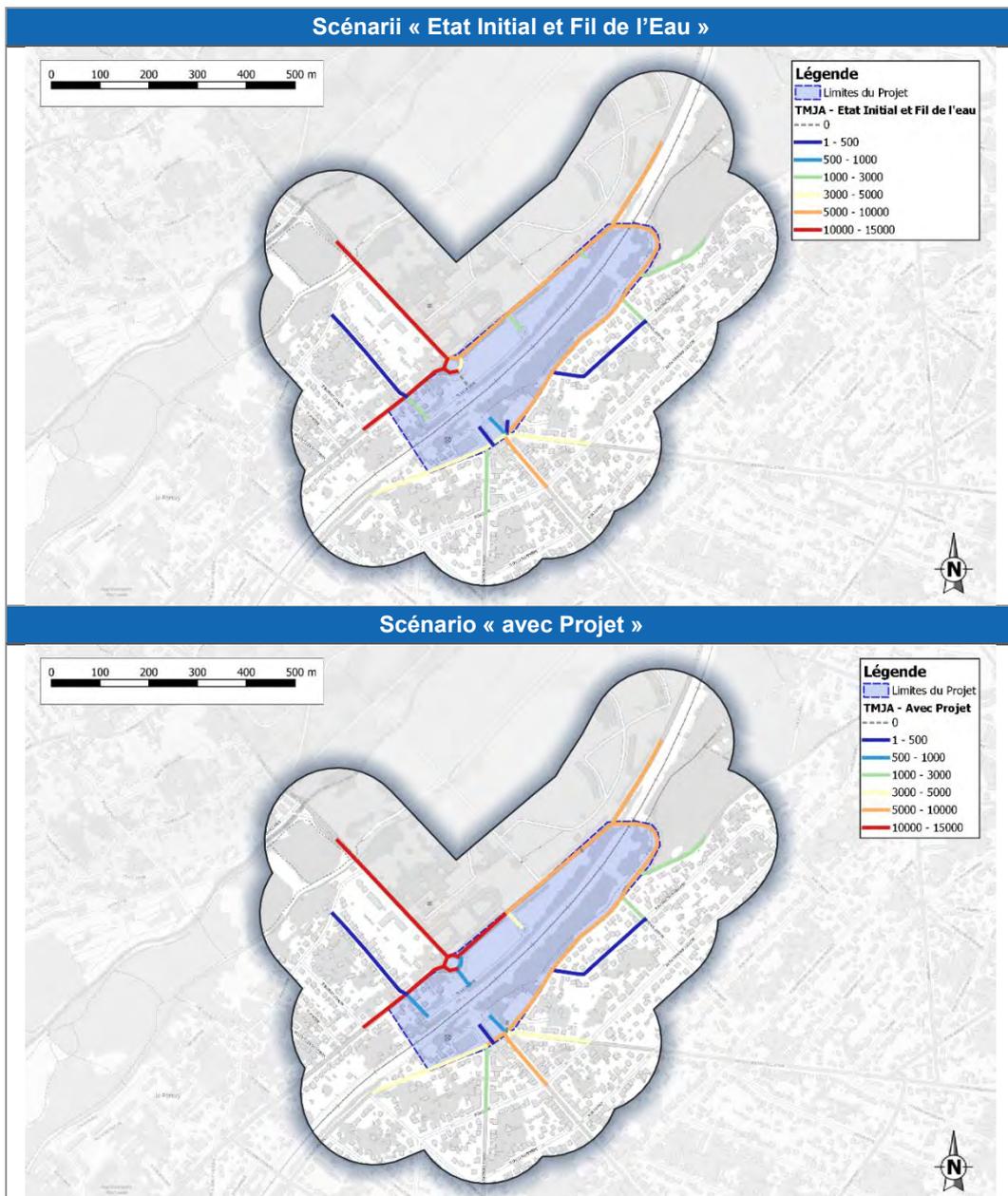
¹⁴ Différence relative entre le scénario futur avec projet et le scénario fil de l'eau sans projet

Les conditions de circulations ont été supposées les même entre l'état initial et les scénarii fil de l'eau ; de fait il n'y a pas de variation de la longueur totale du réseau ou de la distance parcourue entre des deux scénarii.

La mise en service du projet n'entraîne pas de modification significative de la longueur totale du réseau. En revanche, la distance parcourue totale augmente, en lien avec l'augmentation du flux de trafic sur certains des tronçons étudiés.

Les cartes suivantes indiquent la répartition en TMJA sur les tronçons pris en compte par le bureau d'étude trafic TECNA, à l'état initial et à la mise en service du projet. Les cartes sont présentées en haute résolution en Annexe 5.

Figure 21 : Trafics exprimés en TMJA pour les différents scénarii étudiés



6.3.2 Répartition du parc automobile

Pour les calculs d'émissions à l'échappement et à l'évaporation, il est également nécessaire de connaître la répartition du parc roulant automobile (nombre de véhicules essence ou diesel, catalysés ou non, année de mise en service du véhicule par rapport aux normes sur les émissions). Il est généralement admis que désagréger le parc roulant sur 5 catégories de véhicules permet de décrire avec suffisamment de précision l'état du trafic dans les études d'impact des infrastructures routières. Les catégories pour décrire le parc roulant dans le logiciel de calcul d'émissions sont les suivantes :

- Véhicules Particuliers (VP) : regroupant les véhicules utilisés par les particuliers, il s'agit des véhicules citadines et berlines ;
- Véhicules Utilitaires Léger (VUL) : cette catégorie regroupe les petits utilitaires et les très gros véhicules particuliers (gros SUV, 4x4, hummer, etc.) ;
- Poids Lourds (PL) : Il s'agit des véhicules de plus de 3,5 tonnes possédant généralement plus de deux essieux ;
 - Bus et autocars (BUS) : Il s'agit d'une sous-catégorie de la classification PL, décrite de façon explicite, la catégorie BUS permet de représenter avec précision les modifications/créations plans de circulation des BUS ;
- Motos et scooters (2RM)¹⁵ : cette catégorie intègre l'ensemble des véhicules motorisés à deux roues.

Les TMJA calculés à partir des données TECNA ont été réparties entre les différentes catégories de véhicules suivant, d'après la répartition pour la France extraite de la base de données COPERT V.

Tableau 27 : Répartition par catégories de véhicules (hors Poids Lourds) du trafic

Proportion de VL	Proportion de VUL	Proportion de 2R (%)	Proportion de PL et Bus (%)
76.0 %	11.7 %	10.8 %	1.5 %

Source : COPERT V, Année de référence 2022

6.3.3 Les facteurs d'émission

On appelle « facteur d'émission », les quantités de polluants rejetées par un véhicule. Ces facteurs d'émissions varient selon le polluant considéré et selon l'origine des émissions.

6.3.3.1 Facteurs d'émissions à l'échappement et à l'évaporation

Pour les émissions à l'échappement et à l'évaporation, les facteurs d'émissions sont exprimés en g/véh.km. Ces facteurs proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles. Ils dépendent :

- De la nature des polluants ;
- Du type de véhicule (essence/diesel, VL/PL etc.) ;
- Du « cycle » (trajet urbain, autoroute, moteur froid/chaud) ;
- De la vitesse du véhicule ;
- De la température ambiante (pour les émissions à froid).

¹⁵ Les tricycles motorisés n'ont pas été considérés dans cette étude

Les facteurs d'émissions que nous utiliserons pour la présente étude sont ceux recommandés par l'Union Européenne, c'est-à-dire ceux du programme **COPERT V**. En France, son utilisation est par ailleurs recommandée par le Cerema (2019) pour la réalisation des études d'impact du trafic routier. Pour les horizons futurs, les facteurs d'émissions sont déterminés à partir d'une reconstitution prenant en compte l'évolution des normes pour chaque catégorie de véhicule.

Dans le cadre de l'estimation des émissions à l'échappement et à l'évaporation, il existe également des facteurs de surémissions dues aux démarrages à froid. Ces facteurs sont liés à la typologie des routes (autoroute, urbaine, rurale) et au parcours moyen. En zone urbaine, la longueur moyenne d'un trajet est de l'ordre de 3 km ce qui engendre un facteur d'émission à froid de l'ordre de 50 % alors que sur autoroute la longueur moyenne d'un trajet est de l'ordre de 60 km ce qui engendre un facteur d'émission à froid de l'ordre de 10 %. En moyenne, en France, la longueur moyenne d'un trajet est de 12 km ce qui engendre un facteur d'émission à froid moyen de l'ordre de 30%. Dans le cadre de cette étude, le parcours moyen retenu sur la zone d'étude sera le parcours moyen en zone urbaine (3 km).

6.3.3.2 Facteurs d'émissions unitaires pour les émissions dues aux équipements automobiles

Les facteurs d'émission choisis pour les polluants émis par les équipements automobiles sont issus de la méthodologie EMEP publié en 2019¹⁶ qui propose une description précise de ce type d'émissions par type d'usure (freins et pneus) et couvrent les émissions de matière particulaire en incluant la spéciation du « black carbon », des métaux ainsi que des HAP principaux. Ils sont exprimés en g/véh.km et peuvent être émis par les pneumatiques et les garnitures de freins (notons que les émissions par les huiles lubrifiantes ne sont pas quantifiables, et par conséquent non prises en compte dans cette étude).

6.3.3.3 Facteurs d'émissions unitaires pour les émissions dues à l'entretien des voies

Les facteurs d'émission choisis pour les polluants émis par l'entretien des voies sont issus du document « Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières » (Ministère de la Santé - Novembre 2004). Ils sont exprimés en g/km.an et sont émis uniquement par les fondants routiers (notons que les émissions par les glissières de sécurité ne sont pas quantifiables, et par conséquent non prises en compte dans cette étude).

6.4 Résultats des estimations des émissions totales de la zone d'étude

Le bilan des émissions totales de chacun des polluants est présenté dans le tableau suivant, et ce pour l'ensemble du domaine d'étude et pour les 5 scénarii. Les tableaux détaillant les émissions estimées sur chacun des tronçons selon le scénario considéré sont fournis en Annexe 6.

La liste des polluants présentée ici est la liste des polluants nécessaires à la réalisation des volets air et santé dans le cadre d'une étude trafic de niveau I, conformément au guide méthodologique du Cerema (2019).

Tel que recommandé dans le guide, une évaluation des émissions des 16 HAP principaux doit être réalisée. Ces 16 HAP ont également été exprimés sous la forme d'équivalent BaP, « BaP_{eq} ». Concernant les HAP, la position de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le BaP a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques. Différentes possibilités sont laissées à l'initiative de l'évaluateur de risque, en particulier celle de recourir à la méthode des équivalents toxiques¹⁷.

¹⁶ EMEP, Guidebook, 2019. Road transport : Automobile tyre and brake wear, automobile road abrasion

¹⁷ Les facteurs d'équivalence toxique ou « toxic equivalent factor (TEF) » sont des coefficients de pondération qui expriment la toxicité relative de chaque substance (appelée congénère) de manière individuelle par rapport à la substance de référence de la famille. Ces coefficients de pondération se fondent sur les similarités structurales entre les molécules et l'hypothèse d'un mécanisme d'action commun.

Tableau 28 : Émissions totales journalières des tronçons de routes étudiées

	NOx (kg/j)	SO2 (kg/j)	CO (kg/j)	Benzène (kg/j)	COV (kg/j)
Etat Initial - 2022	7.1	0.1	13.5	121.5	2.3
Scénario Futur sans Projet - 2028	4.6	0.1	8.8	85.5	1.6
Impact sans Projet - 2028¹⁸	-34.3%	-10.9%	-34.6%	-29.7%	-30.3%
Scénario Futur avec Projet - 2028	5	0.1	10	94.5	1.7
Impact du Projet - 2028¹⁹	10.5%	10.5%	10.6%	10.6%	10.5%
Scénario Futur sans Projet - 2048	2	0.1	8	58.6	1.1
Impact sans Projet - 2048²⁰	-77.1%	-30.1%	-41.7%	-51.8%	-50.9%
Scénario Futur avec Projet - 2048	2	0.1	9	64.7	1.2
Impact du Projet - 2048²¹	10.5%	10.5%	10.6%	10.5%	10.5%
	PM10 (kg/j)	PM2.5(kg/j)	As (g/j)	Ni (g/j)	BaP (mg/j)
Etat Initial - 2022	0.6	0.4	0.2	0.4	19.6
Scénario Futur sans Projet - 2028	0.6	0.4	0.2	0.4	16.5
Impact sans Projet - 2028	-9%	-13.2%	0%	-0.1%	-15.9%
Scénario Futur avec Projet - 2028	0.6	0.4	0.2	0.4	18.2
Impact du Projet - 2028	10.4%	10.4%	0.7%	1.5%	10.6%
Scénario Futur sans Projet - 2048	0.5	0.3	0.2	0.4	10.6
Impact sans Projet - 2048	-19.5%	-28.3%	0%	-0.2%	-46%
Scénario Futur avec Projet - 2048	0.6	0.3	0.2	0.4	11.7
Scénario Futur avec Projet - 2048	10.4%	10.4%	0.7%	1.5%	10.6%

Remarque : Pour les poussières totales PM, le logiciel TREFIC permet d'obtenir une spéciation des poussières en PM10 (poussières de diamètre inférieur à 10 µm) et en PM2.5 (poussières de diamètre inférieur à 2,5 µm).

¹⁸ Différence relative entre le scénario futur sans projet à l'horizon 2028 et l'état initial

¹⁹ Différence relative entre le scénario futur avec projet à l'horizon 2028 et le scénario fil de l'eau sans projet à l'horizon 2028

²⁰ Différence relative entre le scénario futur sans projet à l'horizon 2048 et l'état initial

²¹ Différence relative entre le scénario futur avec projet à l'horizon 2048 et le scénario fil de l'eau sans projet à l'horizon 2048

Entre le scénario « Etat Initial - 2022 » et le scénario « Fil de l'eau - 2028 », on observe une diminution des émissions (comprise entre -9 et - 34 %) sur l'ensemble des polluants hormis les métaux qui restent stables. Le réseau n'étant pas modifié, ces diminutions sont dues strictement à l'évolution du parc roulant (amélioration des performances des véhicules et diminution des émissions de polluants atmosphériques).

A l'horizon 2048, pour le scénario fil de l'eau, la tendance à la baisse est confirmée quel que soit le polluant. Elle est d'autant plus significative qu'en 2028. Elle est particulièrement remarquable sur les émissions de NO_x (-77 %).

La mise en service du projet contribue à augmenter les émissions par rapport au scénario Fil de l'eau, bien que les niveaux émis sont de façon générale inférieurs aux niveaux actuels. Hormis pour les métaux, les variations entre scénarii avec et sans projet sont de l'ordre de 10 % tous horizons confondus. Pour les métaux, l'augmentation n'est pas significative (< 2 % %) par rapport aux scénarii fil de l'eau. En effet les émissions de ces métaux sont principalement dues à l'abrasion. Or, le réseau total n'étant que très peu modifié les émissions de ces métaux sont moins impactées que pour les autres polluants.

Pour approfondir, et comme détaillé à la section 6.1, l'origine des émissions des polluants atmosphériques est diverse : l'entretien des voies et/ou à l'usure des équipements automobiles et/ou à l'échappement et l'évaporation, ou encore à la vitesse, etc. Les polluants ne répondent pas de façon similaire à une variation de ces variables, dès lors la variation des émissions entre les différents scénarii va être différente selon les polluants. On connaît de façon générale la réaction des émissions à certains leviers à l'origine des émissions. Par exemple :

- Les émissions liées à l'entretien des voies vont dépendre uniquement de la longueur du tronçon : quel que soit le polluant, les émissions augmentent avec la longueur du tronçon ;
- Les émissions liées à l'usure des équipements automobiles vont dépendre :
 - Des distances parcourues : les émissions augmentent avec les distances parcourues,
 - Du nombre de véhicules par catégorie : les facteurs d'émissions varient entre les VP, VUL, PL, et 2R et les VL ;
- Les émissions à l'échappement et à l'évaporation vont dépendre principalement :
 - Des distances parcourues : quel que soit le polluant, les émissions augmentent avec les distances parcourues,
 - Du nombre de véhicules par catégorie : les facteurs d'émissions varient entre les VP, VUL, PL, et 2R;
 - Des vitesses de circulation : selon le polluant et le type de véhicules, les émissions évoluent différemment avec la vitesse. Pour les COVNM, les émissions diminuent lorsque la vitesse augmente, alors que pour les autres polluants, la vitesse n'influe pas de manière significative sur les émissions, si celle-ci est comprise entre 40 et 90 km/h (l'évolution des émissions en fonction de la vitesse présente un point d'inflexion vers 65 km/h pour les VP).

6.5 Bilan de la consommation énergétique

Le tableau suivant présente les résultats de la consommation énergétique journalière sur le domaine d'étude. Le total est exprimé en Tonne Équivalent Pétrole par jour (TEP/j).

Tableau 29. Consommation énergétique totale sur le domaine d'étude

	Consommation énergétique
	TEP /j
Etat Initial - 2022	1.09
Scénario Futur sans Projet - 2028	1.02
Impact sans Projet - 2028	-6.4%
Scénario Futur avec Projet - 2028	1.13
Impact du Projet - 2028	10.5%
Scénario Futur sans Projet - 2048	0.95
Impact sans Projet - 2048	-12.7%
Scénario Futur avec Projet - 2048	1.05
Impact du Projet - 2048	10.5%

La consommation énergétique totale diminue de façon significative 6 % entre le scénario « Etat Initial – 2022 » et le scénario futur fil de l'eau 2028, en lien avec l'évolution du parc roulant. A l'instar des émissions de polluants atmosphérique, la mise en service du projet contribue à augmenter les émissions (+ 11 % par rapport au scénario fil de l'eau).

En 2048, l'évolution du parc roulant conduit à une baisse significative de la consommation énergétique sur le scénario fil de l'eau. L'impact du projet reste néanmoins significatif (+ 11 % par rapport au scénario fil de l'eau).

Enfin, **la mise en service du projet augmente de façon significative la consommation énergétique (11 %).**

6.6 Bilan des Gaz à Effet de Serre (GES)

Le tableau suivant présente les résultats des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) sur le domaine d'étude. Ces émissions de GES regroupent les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O). Le total est exprimé en équivalent CO₂. Pour convertir les émissions en équivalent CO₂, nous avons utilisé le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) sur 100 ans du GIEC des gaz étudiés.

Tableau 30. Bilan de gaz à effet de serre sur le domaine d'étude

	GES (T eq CO ₂ / j)
Etat Initial - 2022	3.52
Scénario Futur sans Projet - 2028	3.29
Impact sans Projet - 2028	-6.7%
Scénario Futur avec Projet - 2028	3.63
Impact du Projet - 2028	10.5%
Scénario Futur sans Projet - 2048	3.06
Impact sans Projet - 2048	-13.2%
Scénario Futur avec Projet - 2048	3.38
Impact du Projet - 2048	10.5%

La variation des émissions est analogue à la consommation énergétique.

Pour le scénario fil de l'eau, une diminution significative est observée en 2028 (6 %) par rapport à l'état initial, et qui s'accroît à l'horizon 2048 (13 %).

A l'instar de la consommation énergétique, la mise en service du projet augmente de façon significative les émissions de gaz à effet de serre (11 %).

7. Monétarisation des coûts collectifs

Le décret n°2003-767 introduit les notions de monétarisation et d'analyse des coûts collectifs.

Dans le cadre d'une étude « air et santé », les effets monétarisés sont ceux **en lien avec les thèmes liés relatifs à la pollution atmosphérique**, à savoir :

- Les coûts liés à la pollution de l'air ;
- Les coûts liés aux gaz à effet de Serre.

Dans le cadre de cette étude, ces coûts ont été calculés en tenant compte de la Note technique du 27 juin 2014 qui présente la méthode d'évaluation des projets de transports et notamment les outils de calcul de monétarisation des coûts. Elle remplace l'instruction-cadre du 25 mars 2004, mise à jour le 27 mai 2005.

7.1 Coûts liés à la pollution locale de l'air

Les coûts liés aux effets sur la santé de la pollution de l'air dépendent de la concentration de polluants et de la densité de la population dans les zones impactées. Cela conduit à retenir des valeurs de coûts différentes selon le milieu considéré (en campagne, en milieu urbain diffus...).

Le tableau suivant précise les coûts de pollution (en €/100.véh.km) pour chacune des catégories de véhicules et pour chacun des seuils d'urbanisation.

Tableau 31. Coûts de pollution (en €/100 véh.km)

Catégorie de véhicule	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Inter urbain
VP	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
VUL	32,3	8,7	3,4	2,4	1,6
PL	186,6	37	17,7	9,4	6,4
2R	8,7	2,5	1	0,8	0,5
BUS	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

Source : Note technique relative à l'évaluation des projets de transport du 27 juin 2014 et Fiches outils associées

Le choix du seuil d'urbanisation est défini dans le tableau ci-après.

Tableau 32. Densité de population du projet

Paramètre	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette (hab/km ²)	< 37	37 - 450	450 - 1500	1500 – 4500	> 4500
Densité moyenne (hab/km ²)	25	250	750	2250	6750

Source : Note technique relative à l'évaluation des projets de transport du 27 juin 2014 et Fiches outils associées

Une évolution temporelle de ces valeurs (par rapport à l'année de référence 2010) doit être prise en compte sur la base de :

- L'évolution du PIB par tête : l'instruction de 2014 propose une augmentation de +1,8%/an jusqu'en 2030. Aucune information n'est cependant disponible pour une projection plus lointaine que 2030.
- L'évolution des émissions individuelles : l'instruction de 2014 propose une réduction annuelle de 6% (liée au développement des véhicules Euro/EURO 5 et 6). Aucune information n'est cependant disponible pour une projection plus lointaine que 2020. Ainsi, en l'absence d'informations complémentaires, nous avons également considéré une réduction de -6 %/an au-delà de 2020.

Compte-tenu de la densité de population des communes de la zone d'étude, le calcul des coûts collectifs liés à la pollution de l'air a été effectué à partir des coefficients d'un milieu urbain très dense.

Le tableau ci-dessous présente les coûts, liés à la pollution de l'air, estimés dans le cadre de cette étude.

Tableau 33. Valeur de la pollution atmosphérique (€/jour)

Coûts liés à la pollution de l'air				
Etat initial - 2022	Fil de l'eau - 2028	Avec projet - 2028	Fil de l'eau - 2048	Avec projet - 2048
575 €/jour	445 €/jour	491 €/jour	188 €/jour	208 €/jour

Les coûts liés à la pollution de l'air à l'horizon 2028 sont évalués à 475 €/j. Le projet contribuerait à une augmentation des coûts collectifs d'environ 47 €/j, **soit une augmentation de 10.5 %**.

A l'horizon 2048, les coûts sont en baisse. Les coûts liés à la pollution de l'air sont évalués à 208 €/j. Le projet contribuerait à une augmentation des coûts collectifs d'environ 20 €/j, **soit une augmentation de 10.5 %**.

A noter que les coûts liés à la pollution de l'air sont en baisse significative à l'horizon 2048 car l'évolution des valeurs de la pollution atmosphérique tient compte, d'une part de l'évolution du PIB par tête et d'autre part, de l'évolution du parc circulant et de l'évolution des émissions individuelles (à titre d'exemple, ces dernières sont estimées à -6% par an sur la période 2010-2020 pour le mode routier).

7.2 Coûts liés à l'effet de serre

Les coûts liés à l'effet de serre additionnel sont calculés sur la base d'une valeur du coût de la tonne de CO₂, et d'une évolution de cette dernière dans le temps préconisée par la note technique de 2014 et le rapport « L'évaluation socioéconomique des investissements publics » du CGSP²² de 2013 à savoir :

- Une valeur de 32 € la tonne de CO₂ en 2010 ;
- Une valeur de 56 € la tonne de CO₂ en 2020 ;
- Une valeur de 100 € la tonne de CO₂ en 2030 ;
- Au-delà de 2030, la valeur de la tonne de CO₂ croît selon le taux d'actualisation pris en compte pour le calcul de la valeur actualisée nette socio-économique (VAN-SE) soit, en première approche 4,5% si la VAN-SE est sensible au risque systémique, 4% sinon. Dans une approche majorant, c'est la valeur de 4,5%/an qui a été retenue dans le cadre de cette étude.

En l'absence de valeurs entre 2010, 2020 et 2030, il a été considéré une augmentation linéaire. Les variations ont été extrapolés jusqu'à l'année 2050 selon une évolution linéaire.

Les résultats des coûts des nuisances liées à l'effet de serre additionnel sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 34. Résultats du calcul des coûts collectifs liés à l'effet de serre additionnel

Coûts collectifs liés à l'effet de serre additionnel en €/jour				
Etat initial - 2022	Fil de l'eau - 2028	Avec projet - 2028	Fil de l'eau - 2048	Avec projet - 2048
221 €/jour	293 €/jour	323 €/jour	675 €/jour	746 €/jour

A l'horizon 2028 les coûts liés à l'effet de serre additionnel du projet sont évalués à 293 €/jour. Le projet contribuerait à une augmentation des coûts collectifs d'environ 31 €/j, **soit une augmentation de 10.5 %**.

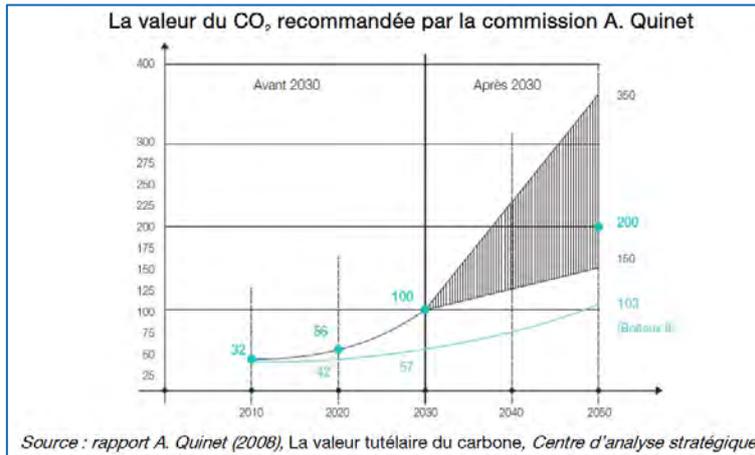
A l'horizon 2048 les coûts liés à l'effet de serre additionnel du projet sont en hausse, évalués à 675 €/jour ; et un impact du projet de + 71 €/jour, **soit une augmentation de 10.5 %**.

22 CGPS : Commissariat Général à la Stratégie et la Perspective

A noter que les coûts liés à l'effet de serre sont en hausse entre 2022 et 2028 et 2048, de par la hausse du coût de la tonne de CO₂. Le projet ayant globalement peu d'impact en terme d'émission de polluants atmosphériques, le coût collectif lié à l'effet de serre additionnel par rapport à l'état actuel sur les scénarii référence et projet est principalement lié à la valeur du CO₂, recommandée par la commission A.Quinet.

L'extrait de graphe ci-dessous présente son évolution.

Tableau 35. Valeur du CO₂ recommandée par la commission A.Quinet



8. Mesures de lutte contre la pollution atmosphérique

8.1 Mesures destinées à limiter les impacts du projet

Dans le cadre de ce projet, compte tenu des impacts non significatifs en termes de qualité de l'air et de santé aucune mesure compensatoire n'est envisagée.

Toutefois, il est important de savoir que la pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesure compensatoire quantifiable mais plusieurs types d'actions peuvent être envisagés pour limiter, à proximité d'une voie donnée, la pollution :

- **La réduction ou la préservation par la « matière grise »** (éloignement des sites sensibles, à forte densité de population pour les projets neufs...), qui consiste à étudier les mesures constructives pour éviter au maximum les situations à risques ;
- **La réduction des émissions polluantes à la source** : indépendamment des mesures envisageables sur le véhicule lui-même, on peut influencer les émissions polluantes par une modification des conditions de circulation (limitation de vitesse à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules...). Ces mesures relèvent de la législation des transports ;
- **La limitation de la dispersion des polluants** : on distingue deux types de pollution, la pollution gazeuse et la pollution particulaire. La pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique à l'inverse des ondes sonores, qui peuvent être stoppées par un écran ou un talus antibruit. On pourra tout au plus limiter les situations à risques en facilitant sa dilution ou déviation du panache de polluants d'un endroit vers un autre. De nouveaux procédés « digesteurs de NO_x » au niveau des murs et revêtements de chaussées peuvent cependant être mis en place suivant leurs performances techniques. La diffusion de la pollution particulaire peut, quant à elle, être piégée en intégrant des écrans physiques ou végétaux (mur anti-bruit, barrière végétale) mais également en agissant directement sur le tracé (adaptation des profils en long, modulation du profil en travers, utilisation d'enrobés drainants).
- **Le suivi, la surveillance et l'information**. Dans le cadre de très gros projets (études de niveau I...) ou dans le cas où des problèmes de pollution sont à attendre (dépassement des objectifs de qualité de l'air, milieu fortement urbanisé...), des capteurs de mesures de la pollution peuvent être installés à demeure. L'implantation de ce type de station vient compléter le dispositif de surveillance des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) et peut être réalisé en liaison avec celles-ci. Le maître d'ouvrage pourra ainsi réaliser le suivi de l'impact de l'infrastructure, associé à l'AASQA qui en assurera la surveillance et la diffusion de l'information. Ces stations sont majoritairement équipées d'analyseurs en continu, pour les polluants tels que les NO_x, le benzène ou les particules PM10.

A titre informatif, quelques-unes de ces mesures sont détaillées dans les paragraphes ci-dessous.

8.1.1 Air extérieur

8.1.1.1 Réduction des émissions polluantes à la source

► Trafic routier

Plusieurs possibilités s'offrent à l'aménageur pour limiter le trafic :

- L'aménagement de transports doux ;
- Limiter les places de stationnement afin de limiter l'attractivité de la zone. Par ailleurs, les regrouper en un seul espace à proximité des axes structurants permettra de réduire la circulation sur la zone, limiter les distances parcourues à la recherche d'un stationnement ou d'économiser de l'espace urbain ;
- Limiter le linéaire de voirie accessible aux véhicules (rues piétonnes, ...) ;
- Faire en sorte que la zone ne puisse être traversée que par les riverains.

► Eviter les sources supplémentaires

L'aménagement de la zone doit permettre de limiter les déplacements des résidents en proposant une qualité de service suffisante. Toutefois, certaines zones sont à éviter, telle que la proximité d'une station-service. En effet, une étude réalisée par l'ASQAA de la région île de France AIRPARIF²³ a montré que les teneurs dans l'air ambiant en benzène pouvaient être majorées de 2 µg/m³ à proximité d'une station-service. Plusieurs facteurs contribuent à augmenter l'impact de ces dernières (conditions météorologiques ou configuration de la rue).

Il convient également de prendre en compte le risque allergique et de privilégier des espèces ayant un faible pouvoir allergisant. Un guide à destination des collectivités locales a été réalisé par l'ARS Aquitaine²⁴ précise que les risques allergisants d'une végétation variée est plus faible que si une seule espèce monopolise l'espèce (phénomène de sensibilisation).

Tableau 36. Tableau récapitulatif des espèces de végétaux en fonction de leur pouvoir allergisant

Genre	Nom commun	Pollinisation	Taille du pollen	Période de pollinisation	Page	Potentiel allergisant		
						Faible	Moyen	Fort
Acer	Érable	Anémophile	35 µm	Mars-Mai	11			
Alnus	Aulne	Anémophile	30 µm	Février	15			
Betula	Bouleau	Anémophile	20 µm	Avril	18			
Broussonetia	Mûrier à papier	Anémophile	12 µm	Mai-Juin	9			
Castanea	Châtaignier	Anémophile	15 µm	Juin	11			
Carpinus	Charme	Anémophile	40 µm	Mars-Avril	16			
Corylus	Noisetier	Anémophile	20 µm	Février-Mars	18			
Cupressus sempervirens	Cyprès de Provence	Anémophile	35 µm	Mars-Avril	17			
Cupressus arizonica	Cyprès bleu	Anémophile	35 µm	Janvier-Février	17			
Fagus	Hêtre	Anémophile	43 µm	Avril-Mai	10			
Fraxinus	Fresne	Anémophile	25 µm	Avril-Mai	16			
Juglans	Noyer	Anémophile	40 µm	Mai-Juin	10			
Juniperus oxycedrus	Genévrier cade	Anémophile			15			
Juniperus ashei	Genévrier ashei	Anémophile			19			
Juniperus communis	Genévrier commun	Anémophile			8			
Ligustrum	Troène	Entomophile	Proximité	Juin-Juillet	14			
Olea	Olivier	Anémophile	25 µm	Mai-Juin	14			
Ostrya	Charme houblon	Anémophile	24 µm	Mars-Avril	12			
Populus	Peuplier	Anémophile	30 µm	Avril	13			
Platanus	Platane	Anémophile	20 µm	Avril-Mai	17			
Quercus	Chêne	Anémophile	30 à 40 µm	Avril-Juin	19			
Salix	Saule	Anémophile	19 µm	Avril-Mai	12			
Thuja	Thuya	Anémophile		Avril-Mai	13			
Tilia	Tilleul	Entomophile	Proximité	Juin-Juillet	9			
Ulmus	Orme	Anémophile	35 µm	Mars	8			

8.1.1.2 Limiter l'exposition des riverains

Les sources de pollution locales existantes dont les effets peuvent faire l'objet d'abattement par des solutions envisageables par l'aménageur concernant uniquement les émissions du trafic routier.

²³ Impact local des stations-service sur les concentrations de benzène dans l'environnement (air intérieur et extérieur) – Etude exploratoire sur deux sites parisiens – AIRPARIF – 2010

²⁴ Prise en compte du risque allergique dans la gestion des espaces verts – Guide de conseils de plantation d'arbres à destination des collectivités locales – ARS Aquitaine – 2011

<http://www.prse-aquitaine.fr/upload/documents/1312808929.pdf>

La dispersion atmosphérique, est le principal moyen d'abattre les concentrations à proximité des voies de circulation. Ce phénomène est lié à la turbulence atmosphérique.

Quatre mécanismes sont mis en jeu :

- Le déplacement des voitures sur l'axe routier génère une situation turbulente qui contribue à mélanger le panache de pollution ;
- La situation de la route par rapport au niveau du sol, en dépression ou surélevée, génère également de la turbulence en fonction des directions de vent. Un encaissement de la route, notamment par la proximité d'immeubles de hauteurs importantes (rue canyon) empêchera la libre circulation des polluants et contribuera à accroître les concentrations au sol ;
- Les effets thermiques agissent aussi sur la turbulence mais essentiellement en saison chaude. Le réchauffement du sol hétérogène en fonction des surfaces (bitume, terre) provoque des recirculations des masses d'air proches du sol (effets des îlots de chaleur urbains) ;
- Les ouvrages routiers comme les murs anti-bruit ou l'implantation de végétation le long de la voie produisent de la turbulence et influence ainsi la dispersion des polluants atmosphériques.

Plusieurs mesures sont présentées ci-après.

► Des plantations pour filtrer l'air

Les haies ont un impact triple sur la pollution atmosphérique routière de proximité²⁵ :

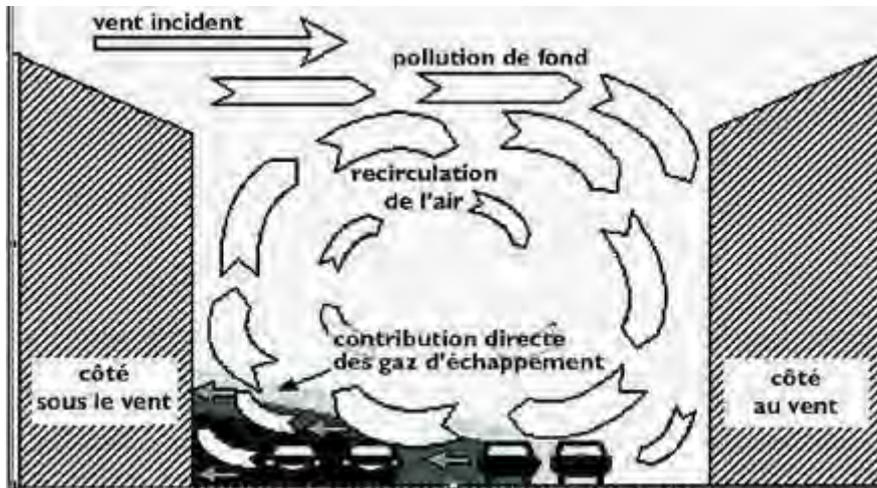
- Les stomates de feuilles ou des aiguilles peuvent capter certains polluants, notamment le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules, les espèces à feuille étant supposées plus efficaces, capables de filtrer 10 % du NO₂ sans que des mesures in situ ne confirment ces données ;
- Les particules peuvent être adsorbées, autrement dit se déposer sur le végétal. Peu de mesures in situ ont été réalisées mais 5 à 20 % des PM10 pourraient être concernées ;
- Enfin sous l'effet du vent, la dispersion des polluants est influencée : un impact léger et difficilement observable.

La majorité des travaux réalisés montrent finalement que l'effet des haies végétales sur la qualité de l'air est incertain et probablement faible. Il n'est donc pas possible d'établir de recommandation.

²⁵ Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique – Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions anti-bruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique – ADEME – 2011
<https://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Air/impact-amenagements-routiers-pollution-atmospherique.pdf>

► Limiter les effets de rues canyon

Figure 22 : Accumulation des polluants dans une rue canyon



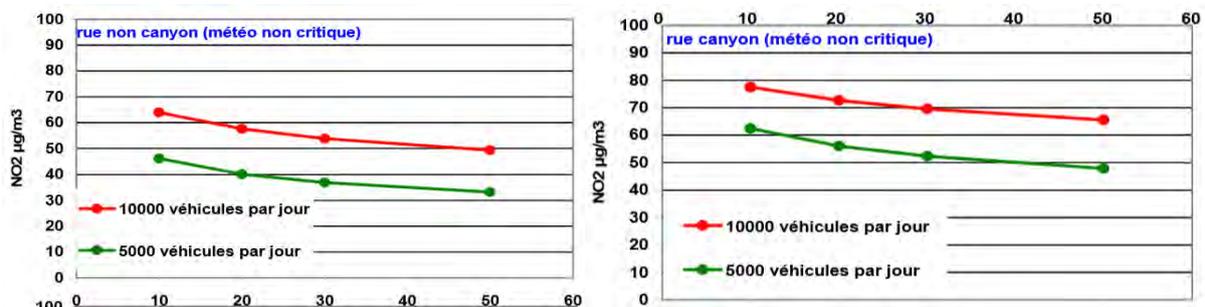
La rue « canyon avec un risque d'accumulation » est définie à l'aide du rapport entre la hauteur H des bâtiments disposés de façon continue de part et d'autre de la voirie et la largeur D de la voirie selon les règles ci-dessous.

Tableau 37. Critères rue canyon²⁶

Rapport H/D	Type de voirie
< 0,3	Rue large
Entre 0,3 et 0,7	Rue canyon sans risque d'accumulation de pollution
> 0,7	Rue canyon avec risque d'accumulation de pollution

Les concentrations sont alors plus importantes dans cette configuration par rapport à une rue ouverte pour des émissions routières de proximité comme le montre les figures suivantes issues d'une étude réalisée par l'AASQA de la région Centre Lig'Air²⁷.

Figure 23 : Comparaison des teneurs en NO₂ entre une rue canyon et non canyon – Etude Lig'air



²⁶ Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air – ADEME – 2002

²⁷ Zones 30 Simulations de l'impact des aménagements urbains sur la qualité de l'air – Lig'air – 2008

Les voies de circulation doivent donc être adaptées aux hauteurs d'immeubles envisagées en tendant le plus possible vers un ratio hauteur sur largeur de la voie inférieure à 0,7. Pour les voies à faible circulation, cette problématique est moins importante compte tenu des faibles émissions.

► Les revêtements photocatalytiques

Les revêtements photocatalytiques sont des matériaux qui, sous l'action de la lumière, dégradent les oxydes d'azote.

Concernant les murs, aucune efficacité n'a été démontrée (ou une efficacité quasi-nulle) en situation réelle alors que tous les tests en laboratoire se révélaient efficaces, selon les méthodes de mesure de 0,5 à 90 M.

Concernant les chaussées, les résultats des expérimentations sur sites réels sont partagés et semblent dépendre des conditions météorologiques et du niveau de pollution avec un intérêt éventuel lors de pics de pollution (40 % de réduction des concentrations). Les tests en laboratoire indiquent une réduction des NOx entre 20 et 100 % selon les méthodes de mesure. Un nettoyage intensif, avec brossage de la chaussée, semble être nécessaire pour éviter l'encrassement.

Exemple de procédé : le procédé NOxer mis au point par Eurovia

http://www.eurovia.fr/media/29550/noxer_a3_fr_hd.pdf

Il s'agit d'un mur fabriqué en bois de béton, un matériau fait à partir de ciment et de copeaux de bois recyclé. Ce matériau, léger et alvéolé, est un excellent isolant. Dans ce cas, les alvéoles contiennent du dioxyde de titane.

L'oxyde de titane a la propriété de décomposer les oxydes d'azote (NOx) grâce aux rayons du soleil. Ils sont transformés en nitrates, en partie neutralisés par les ions calcium et carbonate du ciment, et en partie éliminés lorsque l'eau de pluie ruisselle sur le mur.

En chiffre : des valeurs de dépollution supérieures à 4 mg/m²/h et de 15 à 25 % de la pollution globale éliminée.

Le procédé NOxer existe également au sein de matériaux de revêtement de chaussées.

Exemple de procédé : le procédé Air Clean mis au point par Breinco

<https://www.breinco.com/fr/airclean/>

L'effet Air Clean repose sur l'oxyde de titane présent dans la composition des pavés et qui s'active sous les rayons du soleil, provoquant l'oxydation des polluants. Au terme de cette réaction, les polluants sont alors transformés en nitrates.

Les effets d'Air Clean ont été prouvés et mesurés par l'institut Fraunhofer (Allemagne) après un test de 4 mois en conditions réelles. Au terme de l'expérience, où l'intensité lumineuse mesurée a été inférieure de 30% par rapport à la moyenne annuelle, les pavés Air Clean ont permis de réduire de 25% le taux de dioxyde d'azote et de 41% le monoxyde d'azote présents dans l'air.

Il est à noter que dans sa fiche technique « Epuración de l'air par photocatalyse »²⁸ (mai 2013), l'ADEME souligne plusieurs points de vigilance dont :

- Une efficacité non prouvée en conditions réelles d'utilisation car dépendante de plusieurs paramètres : concentration du polluant, humidité, intensité lumineuse, variations de températures, etc.) ;
- Une méconnaissance des effets sur la santé en raison de la présence de dioxyde de titane. En 2006, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le dioxyde de titane dans le groupe des

²⁸ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-sur-epuration-air-par-photocatalyse-2013.pdf>

substances « cancérogènes possibles chez l'homme » (2B). En 2018, l'Anses mènera une évaluation des dangers et des risques du TiO₂ pour la santé humaine et l'environnement dans le cadre du règlement REACH.

8.1.2 Air intérieur

En raison du lien entre l'air intérieur et l'air extérieur, l'implantation des bâtiments doit être mise en relation avec la pollution extérieure.

Aussi, la localisation pour les établissements sensibles (telle qu'une crèche) est à privilégier dans les zones pour lesquelles les émissions sont faibles ou l'impact de ces émissions faible :

- La présence d'obstacles physiques permet d'améliorer les dispersions et ainsi réduire les concentrations environnementales. Ces établissements peuvent donc être implantés en retrait des axes principaux derrière des bâtiments, des murs ou des écrans prévus à cet effet ;
- En cas d'impossibilité, il convient d'éviter les zones de ralentissement ou de congestion entraînant une accumulation de polluants atmosphériques. Les parties de voirie qui présentent des feux rouges ou des carrefours sont donc à proscrire. Des zones permettant aux visiteurs de stationner à proximité de ces établissements sont également à prévoir afin d'éviter une accumulation de véhicules et donc de polluants.

La présence de sources inévitables doit orienter les concepteurs vers une protection du bâtiment vis-à-vis des pollutions extérieures comme :

- Positionner les prises d'air neuf extérieur, dans la mesure du possible, sur des parois non exposées aux principales pollutions extérieures identifiées. En toiture, s'éloigner également des rejets de tours aéroréfrigérantes et/ou autres bouches de rejets (extracteurs de garages collectifs, conduit de cheminées, ...)
- Positionner les ouvrants dans les pièces de vie en prenant en compte les vents dominants et les sources de pollutions ;
- Positionner judicieusement les pièces principales de vie afin de limiter l'exposition aux pollutions extérieures ;
- Filtrer, lorsque cela est possible, l'air de ventilation qui sera introduit dans le bâtiment en utilisant des filtres adaptés si besoin.

8.2 Mesures destinées à limiter les impacts du projet en phase chantier

En phase chantier, les travaux d'aménagements du projet seront principalement constitués par :

- La déconstruction de bâtiments actuels ;
- Les terrassements : décapage des zones à déblayer, dépôt et compactage des matériaux sur les zones à remblayer ;
- Les travaux de voiries et réseaux divers ;
- Les constructions de bâtiments.

La réalisation du projet ne provoquera pas de perturbations de trafic. En effet, les travaux n'engendrent pas de modification de voiries en dehors des limites parcellaires du projet. Les principaux impacts sur la qualité de l'air du projet en phase chantier se traduiront donc par :

- Des envolées de poussières dues aux travaux (les poussières soulevées par les engins durant les phases de terrassement/remblai et de manipulation des matériaux) : ces émissions seront dues à la fragmentation des particules du sol ou du sous-sol. Elles seront d'origines naturelles et essentiellement minérales ;
- Des émissions de monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, oxydes d'azote, composés organiques volatiles et métaux lourds (plomb, cadmium, vanadium) liées à la circulation des engins de chantier et des poids lourds (chargement et le transport des matériaux).

En ce qui concerne les envolées de poussières, celles-ci seront fortement dépendantes des conditions météorologiques. Le risque d'envolées sera en pratique limité aux longues périodes sèches et venteuses, peu fréquentes compte tenu de la climatologie du site. Afin d'en limiter l'impact, et donc la pollution de l'air ou les dépôts sur la végétation aux alentours qui pourraient en résulter, il est conseillé d'arroser les pistes par temps sec et venteux.

En ce qui concerne l'émission des gaz d'échappement issus des engins de chantier, celle-ci sera limitée car les véhicules utilisés respecteront les normes d'émission en vigueur en matière de rejets atmosphériques. Les effets de ces émissions, qu'il s'agisse des poussières ou des gaz, sont négligeables compte tenu de leur faible débit à la source.

9. Conclusions

Dans le cadre du projet d'aménagement du pôle gare situé place de la gare à Sainte-Geneviève-des-Bois (91), Coeur d'Essonne Agglomération a sollicité GINGER BURGEAP pour être accompagné sur le processus d'évaluation environnementale, au travers de **la réalisation d'une demande d'examen au cas par cas puis d'une étude d'impact environnementale**.

La présente étude concerne l'évaluation détaillée des impacts du projet sur la qualité de l'air et sur la santé publique à travers la réalisation d'un **volet « Air et Santé »**. Conformément au guide de référence du Cerema (2019), une étude de niveau III a été menée.

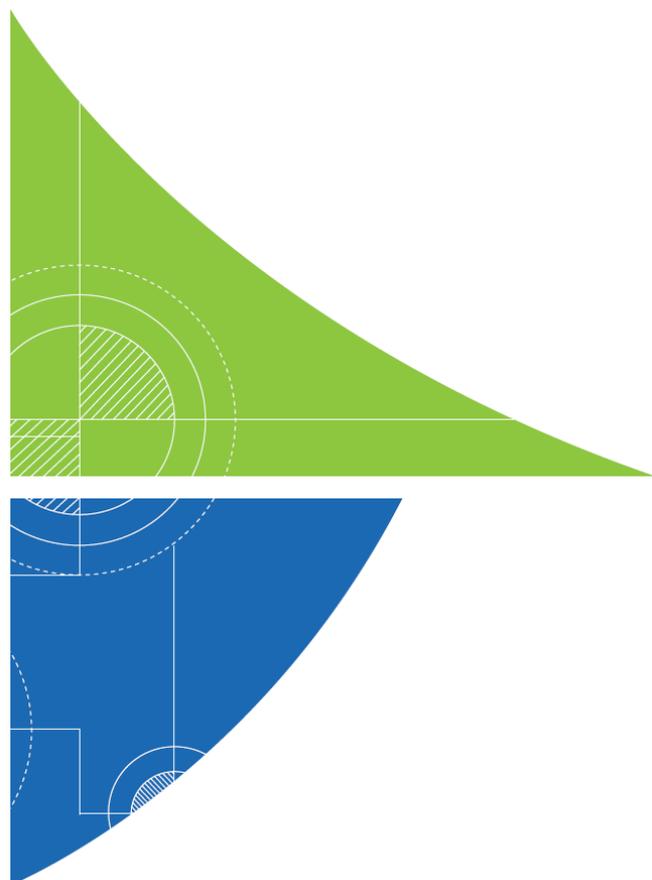
La première phase de l'étude consiste en l'évaluation de la qualité de l'air initial sur la zone d'étude. Les mesures AIRPARIF montre des niveaux de polluant qui **respectent les valeurs réglementaires mais sont supérieures aux valeurs guides de l'OMS**. La **qualité de l'air** est qualifiée de **moyenne**. Les niveaux de concentrations pendant la campagne de mesures complémentaires de GINGER BURGEAP sont également **plus élevés** à proximité du projet que la concentration de **fond urbain** relevée sur le parc proche.

La deuxième phase de l'étude consiste en l'évaluation de l'impact du projet sur les émissions à travers l'étude des 5 scénarii suivants :

- Le scénario « Etat Initial » pour l'année 2022 ;
- A la mise en service du projet
 - Le scénario « futur sans projet » pour l'année 2028 ;
 - Le scénario « futur avec projet » pour l'année 2028.
- A la mise en service du projet + 20 ans
 - Le scénario « futur sans projet » pour l'année 2048 ;
 - Le scénario « futur avec projet » pour l'année 2048.

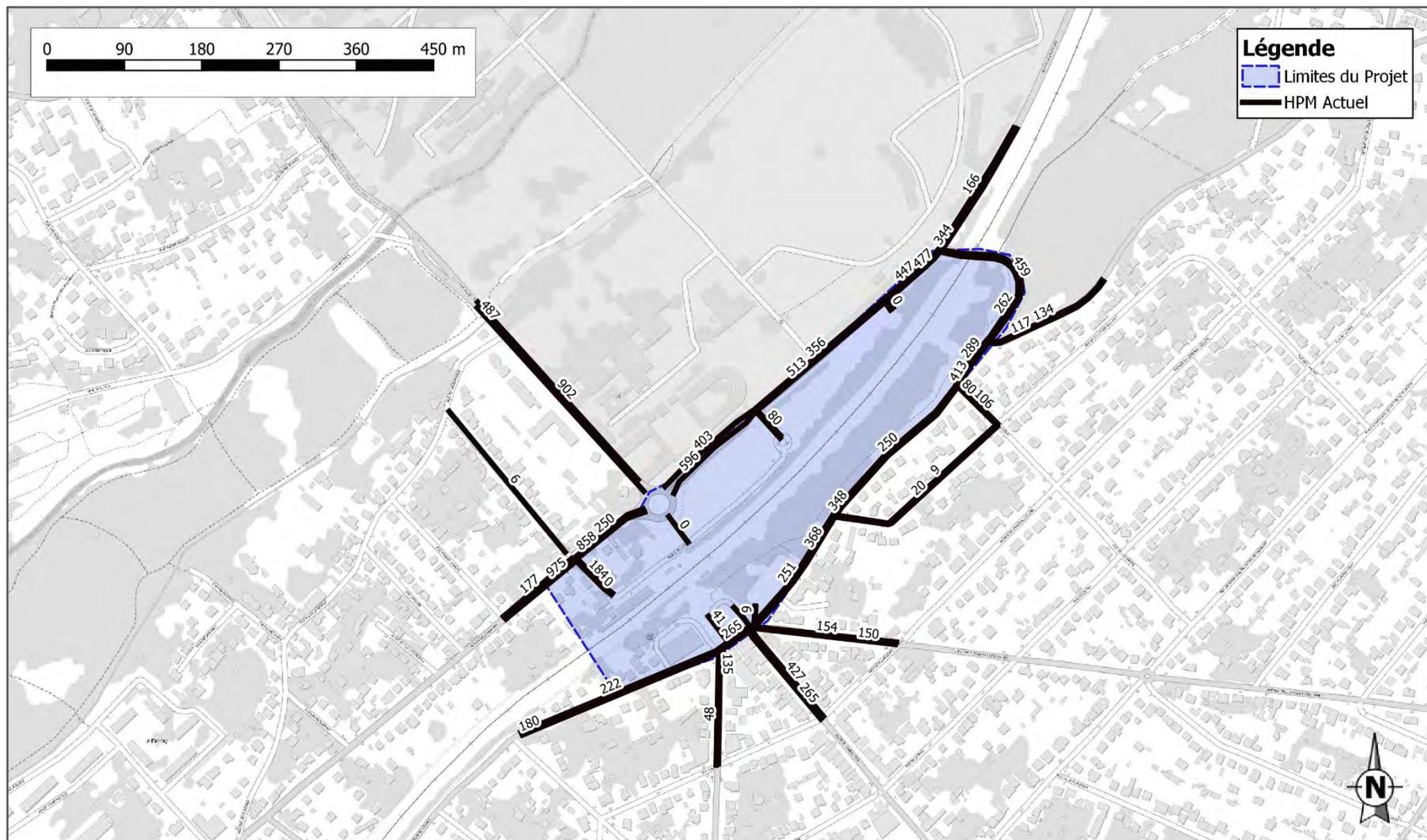
L'analyse des émissions de polluants atmosphériques par le trafic de la zone d'étude montre que la **mise en service du projet tendrait à augmenter les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre d'environ 10 % par rapport à un scénario fil de l'eau** pour lequel le projet ne serait pas existant. Néanmoins, les émissions tendent à diminuer par rapport à la situation actuelle et ce grâce l'évolution du parc roulant (amélioration des performances des véhicules et diminution des émissions de polluants atmosphériques).

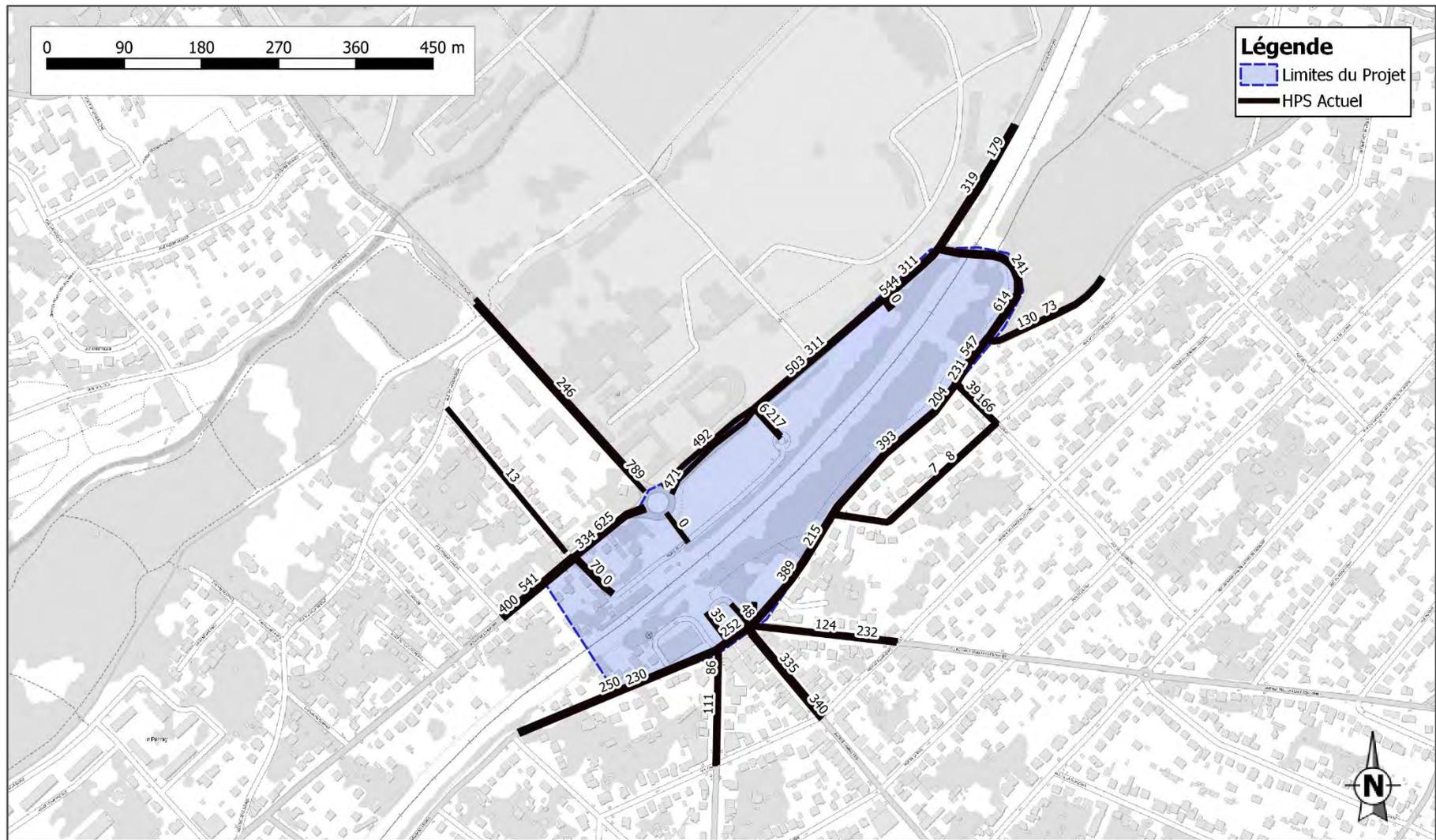
ANNEXES

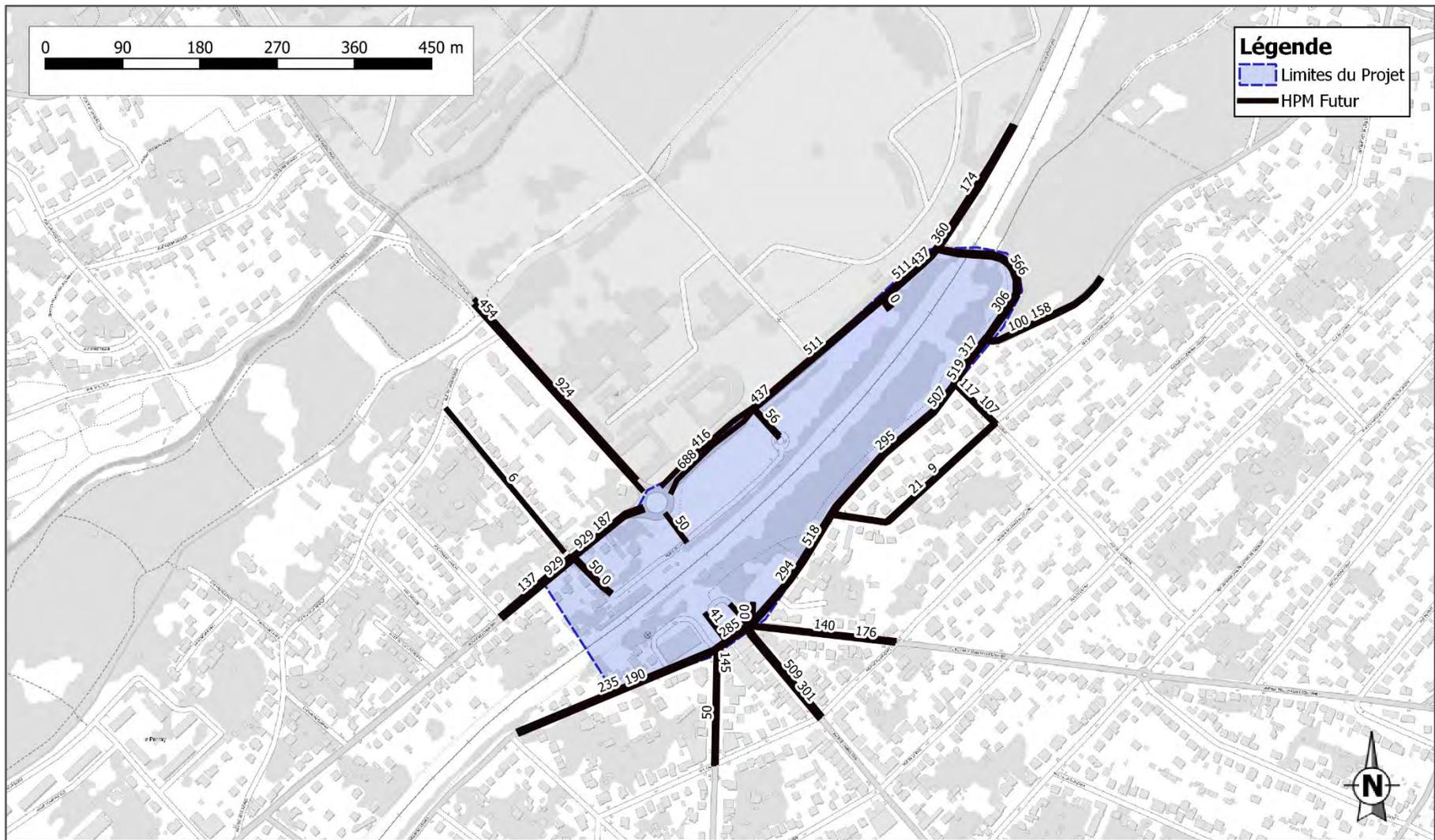


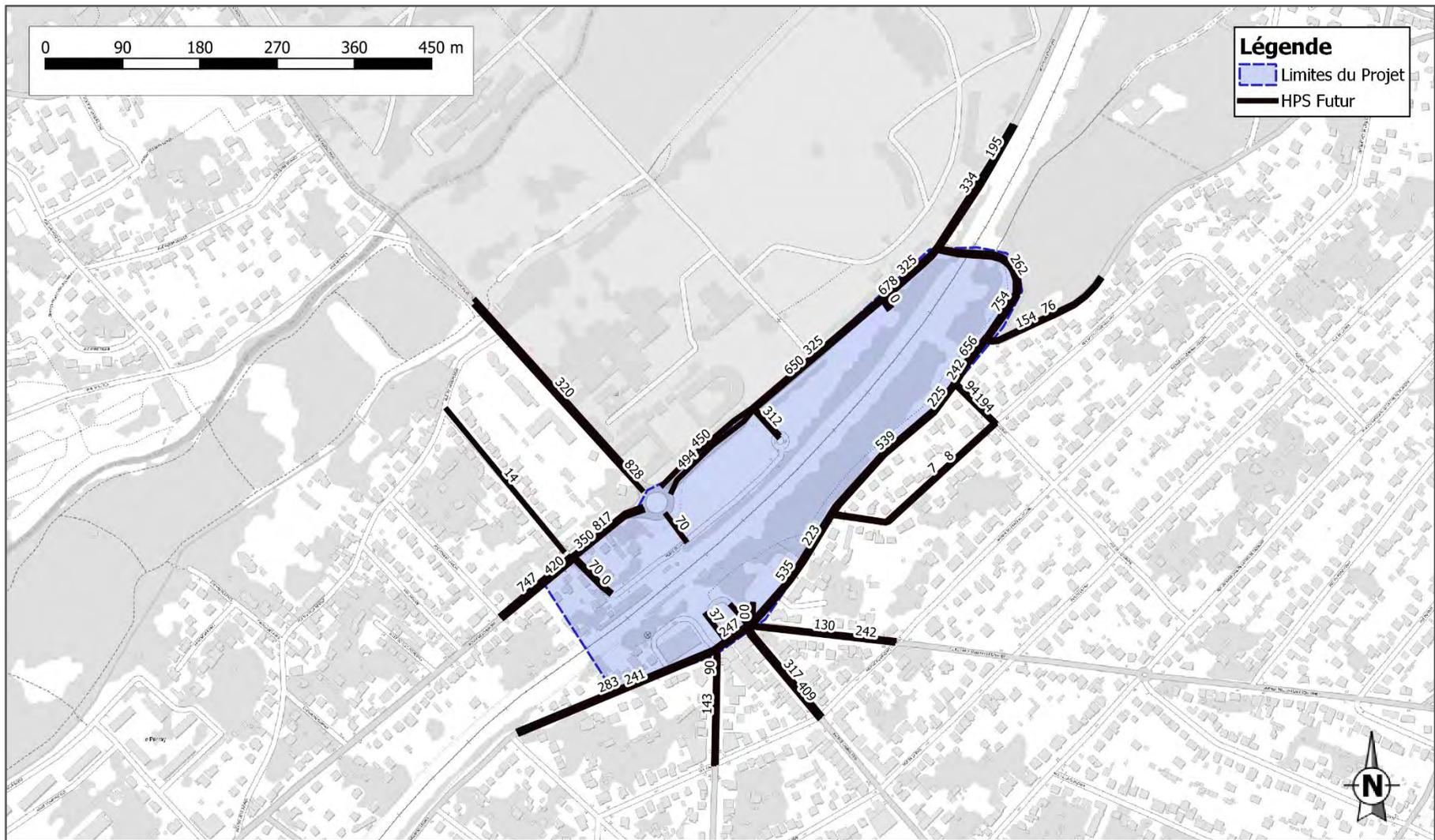
Annexe 1. Données Trafic brutes par TECNA

Cette annexe contient 4 pages.









Annexe 2. PV d'analyse

Cette annexe contient 1 page.

Annexe 3. Caractéristiques des tronçons

Cette annexe contient 1 page.

Tronçons	Vitesse (km/h)	Longueur (m)
1	50	329
2	50	97
3	30	61
4	50	109
5	30	225
6	30	136
7	50	42
8	50	195
9	50	88
10	50	14
11	50	198
12	50	183
13	50	158
14	50	65
15	50	67
16	30	235
17	50	211
18	50	164
19	50	171
20	50	136
21	30	24
22	30	44
23	50	46
24	30	41
25	50	135
26	50	249
27	30	41
28	50	34
29	50	23
30	50	21
31	50	29

Annexe 4. TMJA des tronçons

Cette annexe contient 2 pages.

Scénarii Etat Initial et Fil de l'Eau

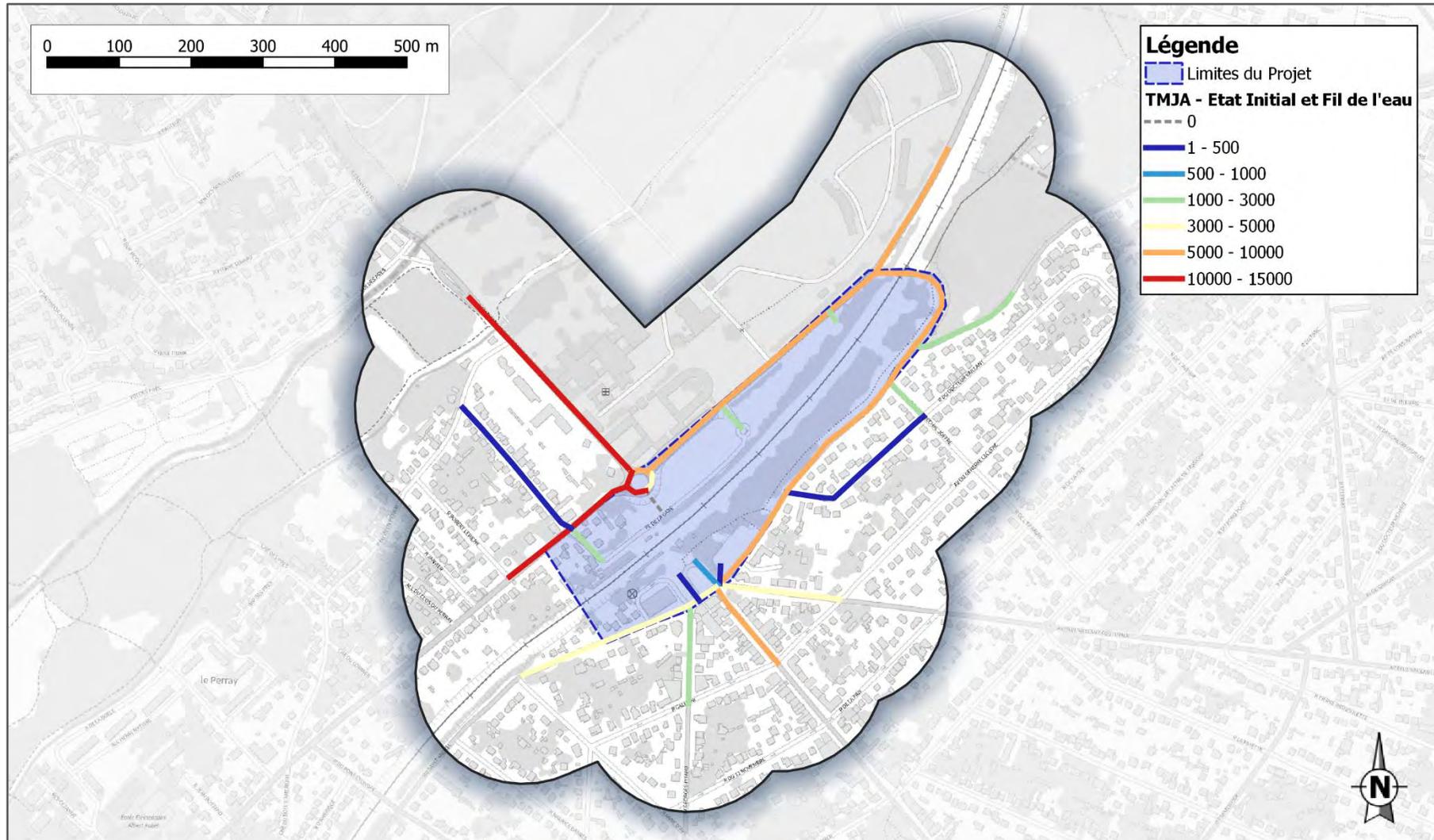
Tronçons	2 R	VP	VUL	PL	TOUT
1	1313	9213	1409	185	12120
2	1120	7856	1201	158	10335
3	138	965	148	19	1270
4	1134	7955	1216	160	10465
5	10	72	11	1	94
6	1063	7457	1140	150	9810
7	227	1592	243	32	2094
8	912	6397	978	129	8416
9	964	6761	1034	136	8895
10	130	908	139	18	1195
11	546	3831	586	77	5040
12	854	5990	916	120	7880
13	246	1726	264	35	2271
14	802	5625	860	113	7400
15	212	1486	227	30	1955
16	24	167	26	3	220
17	648	4542	694	91	5975
18	663	4648	711	93	6115
19	358	2508	384	50	3300
20	741	5196	794	104	6835
21	41	285	44	6	376
22	59	410	63	8	540
23	530	3721	569	75	4895
24	41	289	44	6	380
25	206	1444	221	29	1900
26	478	3352	513	67	4410
27	0	0	0	0	0
28	474	3326	508	67	4375
29	1063	7457	1140	150	9810
30	1313	9213	1409	185	12120
31	1120	7856	1201	158	10335

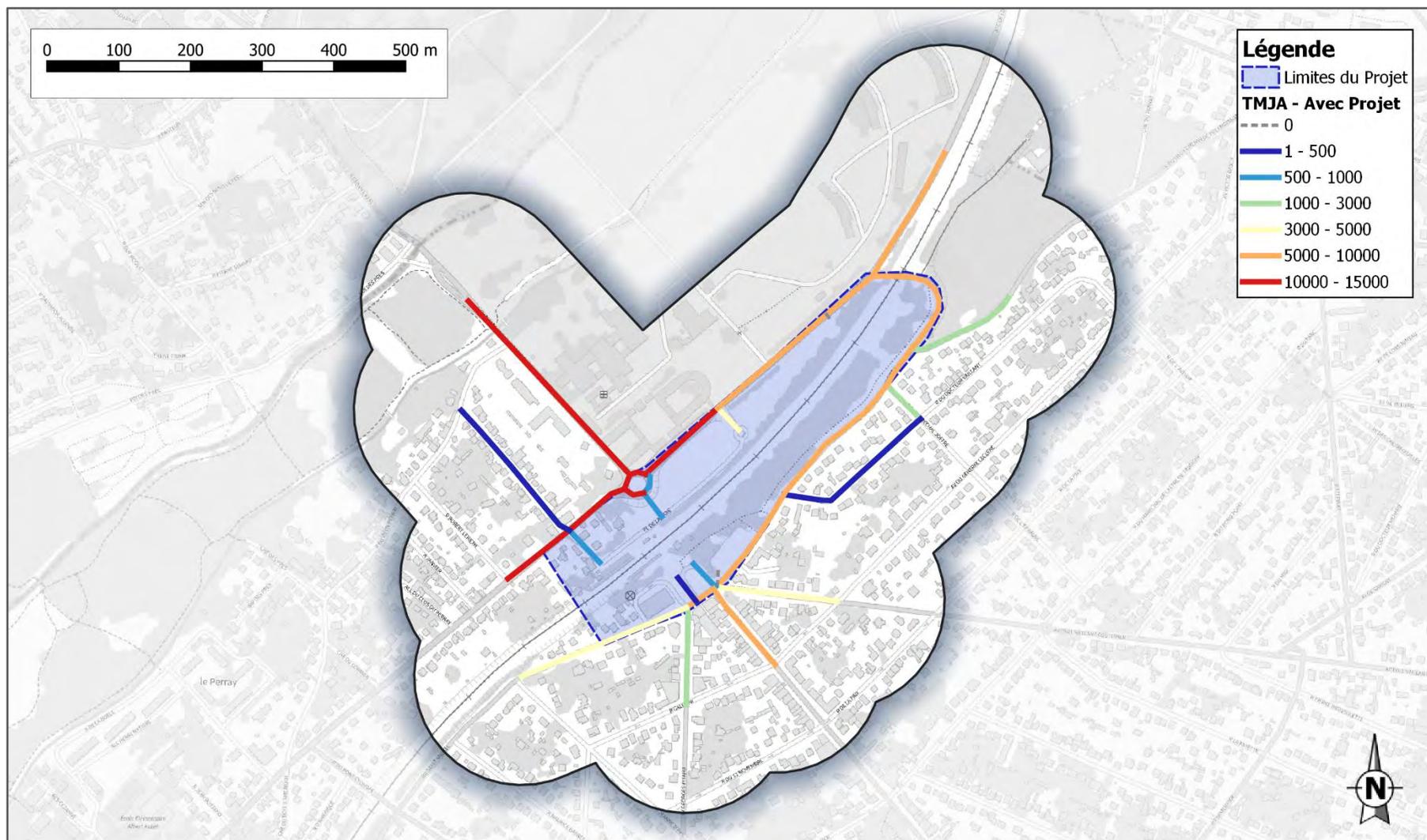
Scénario Avec Projet

Tronçons	2 R	VP	VUL	PL	TOUT
1	1369	9600	1468	193	12630
2	1237	8677	1327	174	11415
3	65	456	70	9	600
4	1210	8487	1298	171	11166
5	11	76	12	2	101
6	1110	7784	1190	156	10240
7	436	3056	467	61	4020
8	1042	7309	1117	147	9615
9	1057	7415	1134	149	9755
10	0	0	0	0	0
11	576	4040	618	81	5315
12	1023	7176	1097	144	9440
13	264	1855	284	37	2440
14	940	6590	1008	132	8670
15	277	1946	298	39	2560
16	24	171	26	3	224
17	849	5952	910	120	7831
18	851	5967	912	120	7850
19	373	2615	400	53	3441
20	832	5838	893	117	7680
21	0	0	0	0	0
22	59	410	63	8	540
23	546	3827	585	77	5035
24	42	296	45	6	389
25	232	1627	249	33	2141
26	514	3607	551	72	4744
27	65	456	70	9	600
28	65	456	70	9	600
29	1110	7784	1190	156	10240
30	1369	9600	1468	193	12630
31	1237	8677	1327	174	11415

Annexe 5. Carte des TMJA

Cette annexe contient 2 pages.





Annexe 6. Emissions Journalières

Cette annexe contient 3 pages.

Scénario Etat Initial – 2022

Tronçons	NOx (T/j)	PM10 (T/j)	PM2.5 (T/j)	CO (T/j)	COV (T/j)	BENZENE (T/j)	SO2 (T/j)	Arsenic (T/j)	Nickel (T/j)	BaP (T/j)	FC (TEP/j)	GES (eqTCO2/j)
T_1	1.39E-03	1.26E-04	8.43E-05	2.73E-03	4.48E-04	2.42E-05	1.69E-05	1.98E-08	4.66E-08	3.93E-09	2.15E-01	6.96E-01
T_2	3.50E-04	3.17E-05	2.12E-05	6.87E-04	1.13E-04	6.09E-06	4.25E-06	5.73E-09	1.32E-08	9.88E-10	5.41E-02	1.75E-01
T_3	3.33E-05	3.39E-06	2.22E-06	4.68E-05	9.66E-06	5.16E-07	3.97E-07	3.28E-09	6.70E-09	7.63E-11	5.04E-03	1.63E-02
T_4	3.98E-04	3.60E-05	2.41E-05	7.82E-04	1.28E-04	6.93E-06	4.83E-06	6.45E-09	1.49E-08	1.12E-09	6.15E-02	1.99E-01
T_5	8.86E-06	9.12E-07	5.97E-07	1.26E-05	2.59E-06	1.38E-07	1.07E-07	1.20E-08	2.39E-08	2.09E-11	1.36E-03	4.38E-03
T_6	5.75E-04	5.84E-05	3.83E-05	8.05E-04	1.66E-04	8.87E-06	6.84E-06	8.00E-09	1.84E-08	1.31E-09	8.69E-02	2.80E-01
T_7	3.07E-05	2.78E-06	1.86E-06	6.03E-05	9.89E-06	5.34E-07	3.72E-07	2.28E-09	4.72E-09	8.66E-11	4.74E-03	1.53E-02
T_8	5.72E-04	5.19E-05	3.47E-05	1.12E-03	1.85E-04	9.97E-06	6.95E-06	1.13E-08	2.55E-08	1.62E-09	8.85E-02	2.86E-01
T_9	2.73E-04	2.47E-05	1.65E-05	5.37E-04	8.80E-05	4.75E-06	3.31E-06	5.13E-09	1.16E-08	7.71E-10	4.22E-02	1.37E-01
T_10	5.83E-06	5.28E-07	3.53E-07	1.15E-05	1.89E-06	1.02E-07	7.08E-08	7.53E-10	1.54E-09	1.65E-11	9.01E-04	2.92E-03
T_11	3.48E-04	3.15E-05	2.11E-05	6.84E-04	1.12E-04	6.06E-06	4.23E-06	1.11E-08	2.39E-08	9.83E-10	5.38E-02	1.74E-01
T_12	5.03E-04	4.56E-05	3.05E-05	9.88E-04	1.62E-04	8.76E-06	6.11E-06	1.06E-08	2.37E-08	1.42E-09	7.77E-02	2.52E-01
T_13	1.25E-04	1.13E-05	7.59E-06	2.46E-04	4.03E-05	2.18E-06	1.52E-06	8.60E-09	1.78E-08	3.54E-10	1.94E-02	6.26E-02
T_14	1.68E-04	1.52E-05	1.02E-05	3.30E-04	5.41E-05	2.92E-06	2.04E-06	3.73E-09	8.31E-09	4.74E-10	2.59E-02	8.39E-02
T_15	4.57E-05	4.14E-06	2.77E-06	8.98E-05	1.47E-05	7.96E-07	5.55E-07	3.63E-09	7.50E-09	1.29E-10	7.06E-03	2.29E-02
T_16	2.21E-05	2.25E-06	1.48E-06	3.12E-05	6.47E-06	3.46E-07	2.64E-07	1.25E-08	2.51E-08	5.10E-11	3.35E-03	1.08E-02
T_17	4.39E-04	3.98E-05	2.66E-05	8.64E-04	1.42E-04	7.66E-06	5.34E-06	1.19E-08	2.61E-08	1.24E-09	6.80E-02	2.20E-01
T_18	3.50E-04	3.17E-05	2.12E-05	6.87E-04	1.13E-04	6.09E-06	4.25E-06	9.29E-09	2.04E-08	9.88E-10	5.41E-02	1.75E-01
T_19	1.97E-04	1.78E-05	1.19E-05	3.87E-04	6.35E-05	3.43E-06	2.39E-06	9.41E-09	1.98E-08	5.56E-10	3.04E-02	9.84E-02
T_20	3.24E-04	2.94E-05	1.96E-05	6.37E-04	1.05E-04	5.65E-06	3.94E-06	7.76E-09	1.72E-08	9.16E-10	5.01E-02	1.62E-01
T_21	3.91E-06	3.96E-07	2.60E-07	5.46E-06	1.13E-06	6.03E-08	4.64E-08	1.28E-09	2.57E-09	8.89E-12	5.89E-04	1.90E-03
T_22	1.02E-05	1.04E-06	6.81E-07	1.44E-05	2.98E-06	1.59E-07	1.22E-07	2.35E-09	4.74E-09	2.34E-11	1.55E-03	4.98E-03
T_23	7.85E-05	7.12E-06	4.76E-06	1.54E-04	2.53E-05	1.37E-06	9.54E-07	2.57E-09	5.54E-09	2.22E-10	1.21E-02	3.93E-02
T_24	6.73E-06	6.83E-07	4.48E-07	9.39E-06	1.93E-06	1.03E-07	8.01E-08	2.19E-09	4.40E-09	1.54E-11	1.02E-03	3.28E-03
T_25	8.94E-05	8.11E-06	5.42E-06	1.76E-04	2.89E-05	1.56E-06	1.09E-06	7.32E-09	1.51E-08	2.53E-10	1.38E-02	4.47E-02
T_26	3.83E-04	3.47E-05	2.32E-05	7.53E-04	1.23E-04	6.67E-06	4.65E-06	1.39E-08	2.97E-08	1.08E-09	5.92E-02	1.92E-01
T_27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_28	5.19E-05	4.70E-06	3.14E-06	1.02E-04	1.67E-05	9.03E-07	6.30E-07	1.89E-09	4.05E-09	1.47E-10	8.02E-03	2.60E-02
T_29	7.87E-05	7.13E-06	4.77E-06	1.55E-04	2.54E-05	1.37E-06	9.55E-07	1.35E-09	3.10E-09	2.22E-10	1.22E-02	3.94E-02
T_30	8.87E-05	8.04E-06	5.38E-06	1.74E-04	2.86E-05	1.55E-06	1.08E-06	1.26E-09	2.98E-09	2.51E-10	1.37E-02	4.44E-02
T_31	1.04E-04	9.47E-06	6.33E-06	2.05E-04	3.37E-05	1.82E-06	1.27E-06	1.71E-09	3.96E-09	2.95E-10	1.62E-02	5.23E-02

Scénario Fil de l'Eau – 2023

Tronçons	NOx (T/j)	PM10 (T/j)	PM2.5 (T/j)	CO (T/j)	COV (T/j)	BENZENE (T/j)	SO2 (T/j)	Arsenic (T/j)	Nickel (T/j)	BaP (T/j)	FC (TEP/j)	GES (eqTCO2/j)
T_1	9.13E-04	1.15E-04	7.30E-05	1.77E-03	3.12E-04	1.70E-05	1.51E-05	1.98E-08	4.66E-08	3.30E-09	2.01E-01	6.50E-01
T_2	2.30E-04	2.88E-05	1.84E-05	4.46E-04	7.86E-05	4.28E-06	3.78E-06	5.73E-09	1.32E-08	8.30E-10	5.06E-02	1.63E-01
T_3	2.19E-05	3.11E-06	1.95E-06	3.41E-05	6.76E-06	3.66E-07	3.53E-07	3.28E-09	6.70E-09	6.42E-11	4.68E-03	1.50E-02
T_4	2.61E-04	3.28E-05	2.09E-05	5.07E-04	8.94E-05	4.87E-06	4.31E-06	6.45E-09	1.49E-08	9.45E-10	5.76E-02	1.86E-01
T_5	5.90E-06	8.39E-07	5.26E-07	9.18E-06	1.80E-06	9.79E-08	9.47E-08	1.20E-08	2.39E-08	1.75E-11	1.26E-03	4.05E-03
T_6	3.77E-04	5.36E-05	3.36E-05	5.86E-04	1.16E-04	6.28E-06	6.08E-06	8.00E-09	1.84E-08	1.10E-09	8.07E-02	2.59E-01
T_7	2.01E-05	2.53E-06	1.61E-06	3.91E-05	6.89E-06	3.75E-07	3.32E-07	2.28E-09	4.72E-09	7.28E-11	4.44E-03	1.43E-02
T_8	3.76E-04	4.72E-05	3.01E-05	7.30E-04	1.29E-04	7.00E-06	6.20E-06	1.13E-08	2.55E-08	1.36E-09	8.29E-02	2.67E-01
T_9	1.79E-04	2.25E-05	1.43E-05	3.48E-04	6.14E-05	3.34E-06	2.96E-06	5.12E-09	1.16E-08	6.48E-10	3.95E-02	1.28E-01
T_10	3.83E-06	4.80E-07	3.06E-07	7.45E-06	1.32E-06	7.17E-08	6.31E-08	7.53E-10	1.54E-09	1.39E-11	8.44E-04	2.72E-03
T_11	2.28E-04	2.87E-05	1.83E-05	4.44E-04	7.82E-05	4.26E-06	3.77E-06	1.11E-08	2.39E-08	8.26E-10	5.04E-02	1.63E-01
T_12	3.30E-04	4.14E-05	2.64E-05	6.41E-04	1.13E-04	6.16E-06	5.44E-06	1.05E-08	2.36E-08	1.19E-09	7.28E-02	2.35E-01
T_13	8.22E-05	1.03E-05	6.57E-06	1.60E-04	2.81E-05	1.53E-06	1.36E-06	8.60E-09	1.78E-08	2.97E-10	1.81E-02	5.85E-02
T_14	1.10E-04	1.38E-05	8.81E-06	2.14E-04	3.77E-05	2.05E-06	1.82E-06	3.73E-09	8.30E-09	3.98E-10	2.43E-02	7.84E-02
T_15	3.00E-05	3.76E-06	2.40E-06	5.83E-05	1.03E-05	5.59E-07	4.95E-07	3.63E-09	7.50E-09	1.08E-10	6.62E-03	2.13E-02
T_16	1.46E-05	2.07E-06	1.30E-06	2.28E-05	4.52E-06	2.45E-07	2.34E-07	1.25E-08	2.51E-08	4.29E-11	3.11E-03	1.00E-02
T_17	2.89E-04	3.62E-05	2.31E-05	5.61E-04	9.89E-05	5.38E-06	4.76E-06	1.19E-08	2.61E-08	1.04E-09	6.37E-02	2.05E-01
T_18	2.30E-04	2.88E-05	1.84E-05	4.46E-04	7.86E-05	4.28E-06	3.78E-06	9.29E-09	2.03E-08	8.31E-10	5.06E-02	1.63E-01
T_19	1.29E-04	1.62E-05	1.03E-05	2.51E-04	4.43E-05	2.41E-06	2.13E-06	9.41E-09	1.98E-08	4.67E-10	2.85E-02	9.19E-02
T_20	2.13E-04	2.67E-05	1.70E-05	4.14E-04	7.29E-05	3.97E-06	3.51E-06	7.76E-09	1.72E-08	7.70E-10	4.69E-02	1.51E-01
T_21	2.56E-06	3.63E-07	2.28E-07	3.98E-06	7.90E-07	4.27E-08	4.12E-08	1.28E-09	2.57E-09	7.48E-12	5.47E-04	1.76E-03
T_22	6.71E-06	9.54E-07	5.98E-07	1.05E-05	2.08E-06	1.13E-07	1.08E-07	2.35E-09	4.74E-09	1.97E-11	1.43E-03	4.61E-03
T_23	5.16E-05	6.47E-06	4.12E-06	1.00E-04	1.76E-05	9.60E-07	8.50E-07	2.57E-09	5.54E-09	1.86E-10	1.14E-02	3.67E-02
T_24	4.41E-06	6.27E-07	3.93E-07	6.83E-06	1.35E-06	7.31E-08	7.11E-08	2.19E-09	4.40E-09	1.29E-11	9.44E-04	3.04E-03
T_25	5.87E-05	7.37E-06	4.70E-06	1.14E-04	2.01E-05	1.10E-06	9.68E-07	7.32E-09	1.51E-08	2.12E-10	1.30E-02	4.18E-02
T_26	2.51E-04	3.15E-05	2.01E-05	4.88E-04	8.61E-05	4.69E-06	4.14E-06	1.39E-08	2.96E-08	9.09E-10	5.54E-02	1.79E-01
T_27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_28	3.41E-05	4.27E-06	2.72E-06	6.62E-05	1.17E-05	6.35E-07	5.62E-07	1.89E-09	4.04E-09	1.23E-10	7.51E-03	2.42E-02
T_29	5.17E-05	6.48E-06	4.13E-06	1.00E-04	1.77E-05	9.63E-07	8.52E-07	1.35E-09	3.10E-09	1.87E-10	1.14E-02	3.68E-02
T_30	5.83E-05	7.31E-06	4.66E-06	1.13E-04	1.99E-05	1.09E-06	9.61E-07	1.26E-09	2.97E-09	2.11E-10	1.29E-02	4.15E-02
T_31	6.86E-05	8.61E-06	5.49E-06	1.35E-04	2.35E-05	1.28E-06	1.13E-06	1.71E-09	3.95E-09	2.48E-10	1.51E-02	4.88E-02

Scénario Avec Projet – 2028

Tronçons	Nox (T/j)	PM10 (T/j)	PM2.5 (T/j)	CO (T/j)	COV (T/j)	BENZENE (T/j)	SO2 (T/j)	Arsenic (T/j)	Nickel (T/j)	BaP (T/j)	FC (TEP/j)	GES (eqTCO2/j)
T_1	9.51E-04	1.19E-04	7.61E-05	1.85E-03	3.26E-04	1.77E-05	1.57E-05	1.99E-08	4.71E-08	3.44E-09	2.10E-01	6.77E-01
T_2	2.53E-04	3.18E-05	2.03E-05	4.92E-04	8.68E-05	4.73E-06	4.18E-06	5.79E-09	1.35E-08	9.17E-10	5.59E-02	1.80E-01
T_3	1.03E-05	1.47E-06	9.21E-07	1.61E-05	3.18E-06	1.72E-07	1.67E-07	3.26E-09	6.58E-09	3.03E-11	2.21E-03	7.11E-03
T_4	2.79E-04	3.50E-05	2.23E-05	5.41E-04	9.54E-05	5.19E-06	4.60E-06	6.49E-09	1.51E-08	1.01E-09	6.15E-02	1.98E-01
T_5	6.53E-06	9.26E-07	5.80E-07	1.00E-05	1.99E-06	1.07E-07	1.05E-07	1.20E-08	2.40E-08	1.89E-11	1.40E-03	4.49E-03
T_6	3.94E-04	5.60E-05	3.51E-05	6.12E-04	1.21E-04	6.56E-06	6.34E-06	8.03E-09	1.85E-08	1.15E-09	8.42E-02	2.71E-01
T_7	3.86E-05	4.85E-06	3.09E-06	7.51E-05	1.32E-05	7.21E-07	6.37E-07	2.33E-09	4.95E-09	1.40E-10	8.52E-03	2.75E-02
T_8	4.29E-04	5.39E-05	3.43E-05	8.34E-04	1.47E-04	8.00E-06	7.08E-06	1.14E-08	2.62E-08	1.55E-09	9.47E-02	3.05E-01
T_9	1.97E-04	2.47E-05	1.57E-05	3.82E-04	6.73E-05	3.66E-06	3.24E-06	5.17E-09	1.18E-08	7.11E-10	4.34E-02	1.40E-01
T_10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_11	2.41E-04	3.02E-05	1.93E-05	4.68E-04	8.25E-05	4.49E-06	3.97E-06	1.11E-08	2.41E-08	8.72E-10	5.31E-02	1.71E-01
T_12	3.95E-04	4.96E-05	3.16E-05	7.68E-04	1.35E-04	7.37E-06	6.52E-06	1.07E-08	2.45E-08	1.43E-09	8.72E-02	2.81E-01
T_13	8.83E-05	1.11E-05	7.06E-06	1.71E-04	3.02E-05	1.64E-06	1.45E-06	8.61E-09	1.79E-08	3.19E-10	1.95E-02	6.28E-02
T_14	1.29E-04	1.62E-05	1.03E-05	2.51E-04	4.42E-05	2.41E-06	2.13E-06	3.78E-09	8.55E-09	4.67E-10	2.85E-02	9.18E-02
T_15	3.93E-05	4.93E-06	3.14E-06	7.62E-05	1.34E-05	7.31E-07	6.47E-07	3.66E-09	7.61E-09	1.42E-10	8.66E-03	2.79E-02
T_16	1.48E-05	2.11E-06	1.32E-06	2.30E-05	4.53E-06	2.45E-07	2.38E-07	1.25E-08	2.51E-08	4.36E-11	3.16E-03	1.02E-02
T_17	3.78E-04	4.75E-05	3.03E-05	7.35E-04	1.30E-04	7.06E-06	6.24E-06	1.22E-08	2.72E-08	1.37E-09	8.35E-02	2.69E-01
T_18	2.95E-04	3.70E-05	2.36E-05	5.73E-04	1.01E-04	5.50E-06	4.86E-06	9.45E-09	2.12E-08	1.07E-09	6.50E-02	2.10E-01
T_19	1.35E-04	1.69E-05	1.08E-05	2.62E-04	4.61E-05	2.51E-06	2.22E-06	9.42E-09	1.99E-08	4.87E-10	2.97E-02	9.59E-02
T_20	2.39E-04	3.00E-05	1.91E-05	4.64E-04	8.18E-05	4.46E-06	3.94E-06	7.82E-09	1.75E-08	8.65E-10	5.27E-02	1.70E-01
T_21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_22	6.71E-06	9.54E-07	5.98E-07	1.05E-05	2.08E-06	1.13E-07	1.08E-07	2.35E-09	4.74E-09	1.97E-11	1.43E-03	4.61E-03
T_23	5.30E-05	6.66E-06	4.24E-06	1.03E-04	1.82E-05	9.89E-07	8.74E-07	2.58E-09	5.56E-09	1.92E-10	1.17E-02	3.77E-02
T_24	4.51E-06	6.41E-07	4.02E-07	7.00E-06	1.38E-06	7.49E-08	7.27E-08	2.19E-09	4.40E-09	1.32E-11	9.65E-04	3.10E-03
T_25	6.62E-05	8.31E-06	5.30E-06	1.29E-04	2.27E-05	1.23E-06	1.09E-06	7.34E-09	1.52E-08	2.39E-10	1.46E-02	4.71E-02
T_26	2.70E-04	3.39E-05	2.16E-05	5.25E-04	9.26E-05	5.04E-06	4.46E-06	1.39E-08	2.99E-08	9.78E-10	5.96E-02	1.92E-01
T_27	6.95E-06	9.88E-07	6.19E-07	1.08E-05	2.14E-06	1.16E-07	1.12E-07	2.19E-09	4.43E-09	2.04E-11	1.49E-03	4.78E-03
T_28	4.67E-06	5.86E-07	3.73E-07	9.07E-06	1.60E-06	8.70E-08	7.69E-08	1.82E-09	3.67E-09	1.69E-11	1.03E-03	3.32E-03
T_29	5.39E-05	6.77E-06	4.31E-06	1.05E-04	1.85E-05	1.01E-06	8.89E-07	1.36E-09	3.13E-09	1.95E-10	1.19E-02	3.84E-02
T_30	6.07E-05	7.62E-06	4.86E-06	1.18E-04	2.08E-05	1.13E-06	1.00E-06	1.27E-09	3.00E-09	2.20E-10	1.34E-02	4.32E-02
T_31	7.58E-05	9.51E-06	6.06E-06	1.47E-04	2.59E-05	1.41E-06	1.25E-06	1.73E-09	4.04E-09	2.74E-10	1.67E-02	5.39E-02

Scénario Fil de l'Eau – 2048

Tronçons	Nox (T/j)	PM10 (T/j)	PM2.5 (T/j)	CO (T/j)	COV (T/j)	BENZENE (T/j)	SO2 (T/j)	Arsenic (T/j)	Nickel (T/j)	BaP (T/j)	FC (TEP/j)	GES (eqTCO2/j)
T_1	3.20E-04	1.01E-04	6.02E-05	1.58E-03	2.20E-04	1.16E-05	1.18E-05	1.98E-08	4.65E-08	2.12E-09	1.88E-01	6.05E-01
T_2	8.05E-05	2.54E-05	1.51E-05	3.96E-04	5.53E-05	2.93E-06	2.97E-06	5.73E-09	1.32E-08	5.33E-10	4.73E-02	1.52E-01
T_3	7.11E-06	2.79E-06	1.65E-06	3.16E-05	4.81E-06	2.53E-07	2.78E-07	3.28E-09	6.70E-09	4.12E-11	4.30E-03	1.38E-02
T_4	9.16E-05	2.90E-05	1.72E-05	4.51E-04	6.30E-05	3.33E-06	3.38E-06	6.44E-09	1.49E-08	6.07E-10	5.38E-02	1.73E-01
T_5	1.90E-06	7.56E-07	4.45E-07	8.52E-06	1.27E-06	6.78E-08	7.46E-08	1.20E-08	2.39E-08	1.12E-11	1.16E-03	3.72E-03
T_6	1.23E-04	4.81E-05	2.84E-05	5.43E-04	8.27E-05	4.35E-06	4.79E-06	7.99E-09	1.83E-08	7.09E-10	7.41E-02	2.38E-01
T_7	7.06E-06	2.23E-06	1.33E-06	3.48E-05	4.86E-06	2.57E-07	2.60E-07	2.28E-09	4.71E-09	4.68E-11	4.15E-03	1.33E-02
T_8	1.32E-04	4.17E-05	2.48E-05	6.49E-04	9.06E-05	4.79E-06	4.86E-06	1.13E-08	2.55E-08	8.73E-10	7.74E-02	2.49E-01
T_9	6.28E-05	1.99E-05	1.18E-05	3.09E-04	4.32E-05	2.29E-06	2.32E-06	5.12E-09	1.16E-08	4.16E-10	3.69E-02	1.19E-01
T_10	1.34E-06	4.24E-07	2.52E-07	6.62E-06	9.26E-07	4.90E-08	4.95E-08	7.53E-10	1.53E-09	8.89E-12	7.89E-04	2.54E-03
T_11	8.01E-05	2.53E-05	1.51E-05	3.94E-04	5.51E-05	2.91E-06	2.95E-06	1.11E-08	2.39E-08	5.31E-10	4.71E-02	1.51E-01
T_12	1.16E-04	3.66E-05	2.18E-05	5.70E-04	7.96E-05	4.21E-06	4.27E-06	1.05E-08	2.36E-08	7.67E-10	6.80E-02	2.19E-01
T_13	2.88E-05	9.11E-06	5.41E-06	1.42E-04	1.98E-05	1.05E-06	1.06E-06	8.60E-09	1.78E-08	1.91E-10	1.69E-02	5.45E-02
T_14	3.86E-05	1.22E-05	7.26E-06	1.90E-04	2.65E-05	1.40E-06	1.42E-06	3.73E-09	8.29E-09	2.56E-10	2.27E-02	7.30E-02
T_15	1.05E-05	3.32E-06	1.98E-06	5.18E-05	7.23E-06	3.83E-07	3.88E-07	3.63E-09	7.49E-09	6.96E-11	6.18E-03	1.99E-02
T_16	4.73E-06	1.86E-06	1.10E-06	2.11E-05	3.20E-06	1.70E-07	1.85E-07	1.25E-08	2.51E-08	2.75E-11	2.86E-03	9.18E-03
T_17	1.01E-04	3.20E-05	1.90E-05	4.98E-04	6.96E-05	3.68E-06	3.73E-06	1.19E-08	2.60E-08	6.70E-10	5.95E-02	1.91E-01
T_18	8.05E-05	2.54E-05	1.51E-05	3.96E-04	5.54E-05	2.93E-06	2.97E-06	9.28E-09	2.03E-08	5.33E-10	4.73E-02	1.52E-01
T_19	4.53E-05	1.43E-05	8.51E-06	2.23E-04	3.12E-05	1.65E-06	1.67E-06	9.40E-09	1.98E-08	3.00E-10	2.66E-02	8.56E-02
T_20	7.46E-05	2.36E-05	1.40E-05	3.67E-04	5.13E-05	2.72E-06	2.75E-06	7.76E-09	1.71E-08	4.94E-10	4.39E-02	1.41E-01
T_21	8.32E-07	3.26E-07	1.92E-07	3.69E-06	5.63E-07	2.96E-08	3.25E-08	1.28E-09	2.57E-09	4.81E-12	5.03E-04	1.61E-03
T_22	2.18E-06	8.56E-07	5.04E-07	9.72E-06	1.48E-06	7.81E-08	8.52E-08	2.35E-09	4.74E-09	1.26E-11	1.32E-03	4.23E-03
T_23	1.81E-05	5.72E-06	3.40E-06	8.89E-05	1.24E-05	6.57E-07	6.67E-07	2.57E-09	5.54E-09	1.20E-10	1.06E-02	3.42E-02
T_24	1.43E-06	5.63E-07	3.32E-07	6.33E-06	9.63E-07	5.06E-08	5.60E-08	2.19E-09	4.40E-09	8.29E-12	8.67E-04	2.78E-03
T_25	2.06E-05	6.51E-06	3.87E-06	1.01E-04	1.42E-05	7.49E-07	7.60E-07	7.32E-09	1.51E-08	1.36E-10	1.21E-02	3.89E-02
T_26	8.81E-05	2.79E-05	1.66E-05	4.34E-04	6.06E-05	3.21E-06	3.25E-06	1.39E-08	2.96E-08	5.84E-10	5.18E-02	1.67E-01
T_27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_28	1.19E-05	3.78E-06	2.24E-06	5.88E-05	8.21E-06	4.34E-07	4.40E-07	1.89E-09	4.04E-09	7.91E-11	7.02E-03	2.26E-02
T_29	1.81E-05	5.73E-06	3.40E-06	8.92E-05	1.25E-05	6.59E-07	6.68E-07	1.35E-09	3.09E-09	1.20E-10	1.06E-02	3.42E-02
T_30	2.04E-05	6.46E-06	3.84E-06	1.01E-04	1.40E-05	7.43E-07	7.54E-07	1.26E-09	2.97E-09	1.35E-10	1.20E-02	3.86E-02
T_31	2.41E-05	7.61E-06	4.52E-06	1.18E-04	1.65E-05	8.75E-07	8.87E-07	1.71E-09	3.95E-09	1.59E-10	1.41E-02	4.55E-02

Scénario Avec Projet – 2048

Tronçons	NOx (T/j)	PM10 (T/j)	PM2.5 (T/j)	CO (T/j)	COV (T/j)	BENZENE (T/j)	SO2 (T/j)	Arsenic (T/j)	Nickel (T/j)	BaP (T/j)	FC (TEP/j)	GES (eqTCO2/j)
T_1	3.34E-04	1.05E-04	6.27E-05	1.64E-03	2.29E-04	1.21E-05	1.23E-05	1.99E-08	4.70E-08	2.21E-09	1.96E-01	6.31E-01
T_2	8.89E-05	2.81E-05	1.67E-05	4.38E-04	6.11E-05	3.23E-06	3.28E-06	5.79E-09	1.35E-08	5.89E-10	5.22E-02	1.68E-01
T_3	3.36E-06	1.32E-06	7.78E-07	1.49E-05	2.26E-06	1.19E-07	1.31E-07	3.26E-09	6.58E-09	1.95E-11	2.03E-03	6.52E-03
T_4	9.77E-05	3.09E-05	1.84E-05	4.81E-04	6.72E-05	3.55E-06	3.60E-06	6.49E-09	1.51E-08	6.47E-10	5.74E-02	1.85E-01
T_5	2.14E-06	8.29E-07	4.89E-07	9.29E-06	1.44E-06	7.45E-08	8.33E-08	1.20E-08	2.40E-08	1.22E-11	1.28E-03	4.11E-03
T_6	1.28E-04	5.02E-05	2.96E-05	5.67E-04	8.63E-05	4.54E-06	5.00E-06	8.02E-09	1.85E-08	7.40E-10	7.74E-02	2.48E-01
T_7	1.35E-05	4.28E-06	2.55E-06	6.67E-05	9.32E-06	4.93E-07	5.00E-07	2.33E-09	4.95E-09	8.98E-11	7.96E-03	2.56E-02
T_8	1.50E-04	4.76E-05	2.83E-05	7.41E-04	1.03E-04	5.48E-06	5.55E-06	1.14E-08	2.61E-08	9.97E-10	8.85E-02	2.85E-01
T_9	6.89E-05	2.18E-05	1.30E-05	3.39E-04	4.74E-05	2.51E-06	2.54E-06	5.17E-09	1.18E-08	4.56E-10	4.05E-02	1.30E-01
T_10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_11	8.45E-05	2.67E-05	1.59E-05	4.16E-04	5.81E-05	3.07E-06	3.12E-06	1.11E-08	2.41E-08	5.60E-10	4.97E-02	1.60E-01
T_12	1.39E-04	4.38E-05	2.61E-05	6.83E-04	9.53E-05	5.05E-06	5.11E-06	1.07E-08	2.44E-08	9.19E-10	8.15E-02	2.62E-01
T_13	3.09E-05	9.78E-06	5.81E-06	1.52E-04	2.12E-05	1.12E-06	1.14E-06	8.61E-09	1.79E-08	2.05E-10	1.82E-02	5.85E-02
T_14	4.52E-05	1.43E-05	8.50E-06	2.23E-04	3.11E-05	1.65E-06	1.67E-06	3.78E-09	8.53E-09	3.00E-10	2.66E-02	8.55E-02
T_15	1.38E-05	4.35E-06	2.59E-06	6.77E-05	9.45E-06	5.00E-07	5.08E-07	3.66E-09	7.61E-09	9.12E-11	8.09E-03	2.60E-02
T_16	4.79E-06	1.89E-06	1.11E-06	2.13E-05	3.21E-06	1.70E-07	1.88E-07	1.25E-08	2.51E-08	2.79E-11	2.91E-03	9.34E-03
T_17	1.33E-04	4.19E-05	2.49E-05	6.53E-04	9.12E-05	4.83E-06	4.89E-06	1.22E-08	2.72E-08	8.79E-10	7.80E-02	2.51E-01
T_18	1.03E-04	3.27E-05	1.94E-05	5.09E-04	7.11E-05	3.76E-06	3.81E-06	9.45E-09	2.11E-08	6.84E-10	6.07E-02	1.95E-01
T_19	4.73E-05	1.49E-05	8.88E-06	2.33E-04	3.25E-05	1.72E-06	1.74E-06	9.42E-09	1.99E-08	3.13E-10	2.78E-02	8.93E-02
T_20	8.38E-05	2.65E-05	1.58E-05	4.13E-04	5.76E-05	3.05E-06	3.09E-06	7.82E-09	1.75E-08	5.55E-10	4.93E-02	1.59E-01
T_21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
T_22	2.18E-06	8.56E-07	5.04E-07	9.72E-06	1.48E-06	7.81E-08	8.52E-08	2.35E-09	4.74E-09	1.26E-11	1.32E-03	4.23E-03
T_23	1.86E-05	5.88E-06	3.49E-06	9.16E-05	1.28E-05	6.77E-07	6.86E-07	2.58E-09	5.55E-09	1.23E-10	1.09E-02	3.52E-02
T_24	1.46E-06	5.76E-07	3.39E-07	6.48E-06	9.85E-07	5.18E-08	5.73E-08	2.19E-09	4.40E-09	8.48E-12	8.87E-04	2.85E-03
T_25	2.32E-05	7.34E-06	4.36E-06	1.14E-04	1.60E-05	8.44E-07	8.56E-07	7.33E-09	1.52E-08	1.54E-10	1.36E-02	4.39E-02
T_26	9.48E-05	3.00E-05	1.78E-05	4.67E-04	6.52E-05	3.45E-06	3.50E-06	1.39E-08	2.99E-08	6.28E-10	5.57E-02	1.79E-01
T_27	2.26E-06	8.87E-07	5.23E-07	1.00E-05	1.52E-06	8.02E-08	8.83E-08	2.19E-09	4.42E-09	1.31E-11	1.37E-03	4.38E-03
T_28	1.64E-06	5.17E-07	3.08E-07	8.06E-06	1.12E-06	5.96E-08	6.04E-08	1.82E-09	3.67E-09	1.09E-11	9.62E-04	3.09E-03
T_29	1.89E-05	5.98E-06	3.55E-06	9.31E-05	1.30E-05	6.88E-07	6.97E-07	1.36E-09	3.12E-09	1.25E-10	1.11E-02	3.57E-02
T_30	2.13E-05	6.73E-06	4.00E-06	1.05E-04	1.46E-05	7.75E-07	7.85E-07	1.27E-09	3.00E-09	1.41E-10	1.25E-02	4.03E-02
T_31	2.66E-05	8.40E-06	4.99E-06	1.31E-04	1.83E-05	9.67E-07	9.80E-07	1.73E-09	4.04E-09	1.76E-10	1.56E-02	5.02E-02



CŒUR ESSONNE AGGLOMÉRATION

COMMUNE DE SAINTE-GENEVIÈVE-DES-BOIS
ETUDE PÔLE GARE
DIAGNOSTIC



TECHNOLOGIES
NOUVELLES

INTRODUCTION

I-PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I-1 UN QUARTIER SOUMIS À UN TRAFIC DE TRANSIT



TECHNOLOGIES
NOUVELLES

- La gare de Sainte-Geneviève-des-Bois s'inscrit en frange Nord des limites communales.
- La gare et son quartier sont situés au droit d'une transition entre un centre-ville résidentiel dense et un corridor peu urbanisé, traversé par le faisceau ferroviaire puis la vallée de l'Orge.
- La gare de Sainte-Geneviève-des-Bois est une gare d'envergure locale quasi exclusivement animée par les actifs locaux qui partent travailler vers Paris le matin et reviennent chez eux le soir:
 - 7200 voyageurs/jours en montée en 2017,
 - Une part quasi-exclusive de déplacements quotidiens domicile-travail (>80%)
 - La période 06-10h concentre 62% des montées (4500 montées)
- Le quartier de la gare constitue un point de passage pour le flux de transit qui traverser le corridor pour entrer et sortir de la ville:
 - Rabattement des flux côté Sud vers le Pont de la Fouille
 - Rabattement des flux sur la RD25 vers la RD35 pour traverser la vallée de l'Orge, Villiers-sur-Orge et rejoindre la RN20
- Ce rabattement du flux de transit implique des tensions au droit de **3 points contraints**:
 - La place F. Roosevelt,
 - Le passage du Pont de la Fouille
 - L'intersection RD25 x RD35



Ces trois nœuds constituent les principaux lieux de dysfonctionnements.

Le trafic de transit y est important mais il vient également s'ajouter aux flux générés par l'activité de la gare.

I-PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I-3 SYNTHÈSE DES PRATIQUES DE RABATTEMENT ACTUELS



■ Un espace fracturé en 2 par le faisceau ferroviaire



Rupture induite par le faisceau ferroviaire



Un écoulement contraint par un « effet entonnoir »



Un quartier soumis à un transit d'entrée/sortie de ville

■ Un rabattement VL important (41% des usagers)



30% sur de moyennes distances (Sainte-Geneviève)



11% sur des distances longues (communes voisines Nord)



Une offre de stationnement en gare de 900 places « du mauvais côté » par rapport à la provenance des usagers



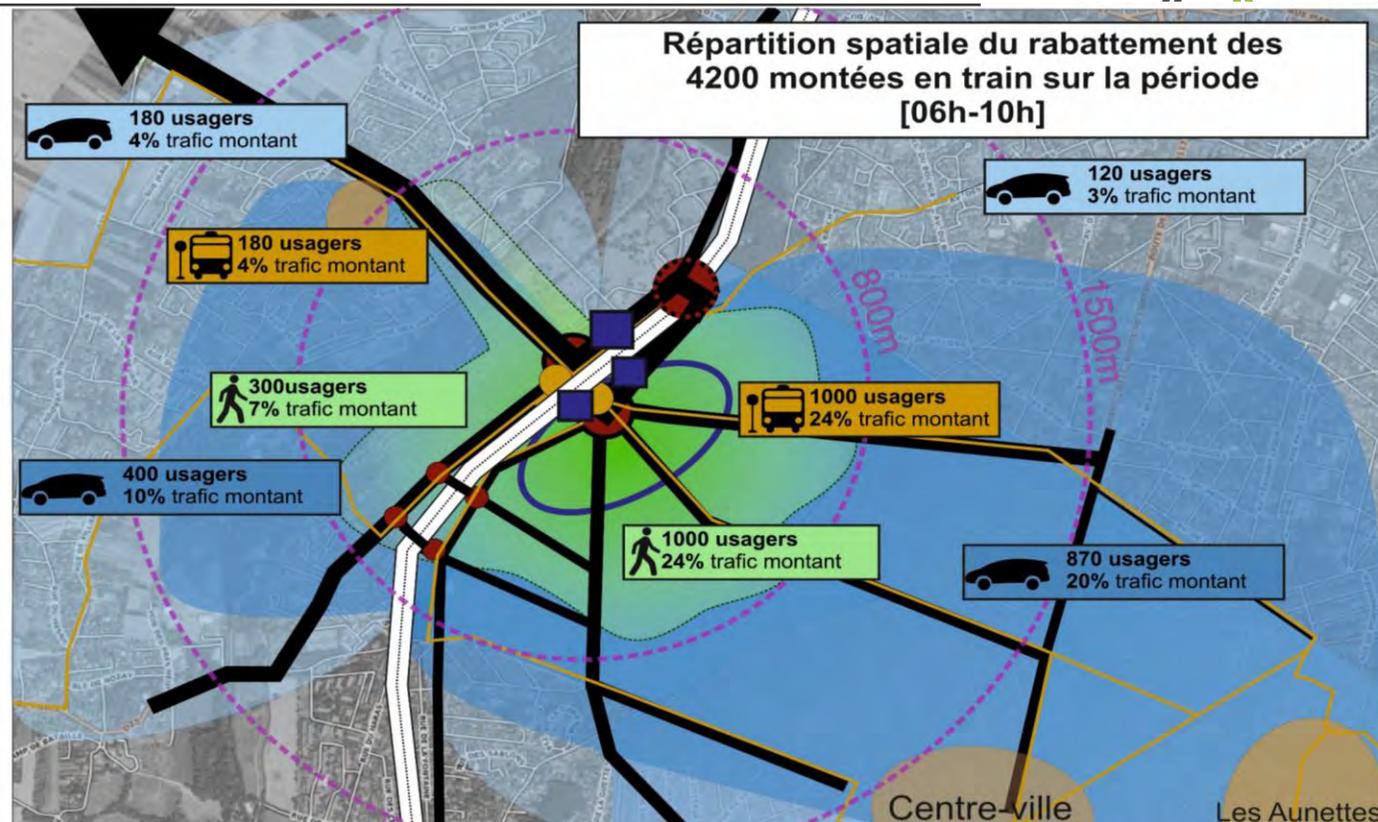
Une pratique de stationnement qui déborde côté sud dans le quartier (retenue induite par le passage de la Fouille)



Un rabattement piéton limité au seul quartier (31% des usagers en montées)



Un rabattement bus satisfaisant depuis les pôles résidentiels



Le rabattement VL préjudiciable est induit par des résidents qui vivent à une distance intermédiaire côté Sainte-Geneviève

Le débordement du stationnement est induits par une offre insuffisante à la demande mais également par le pont de la Fouille.

L'accès au parking Nord est trop contraignant pour les usagers en provenance du côté Sud. Le pont de la Fouille participe à « un effet barrage ».

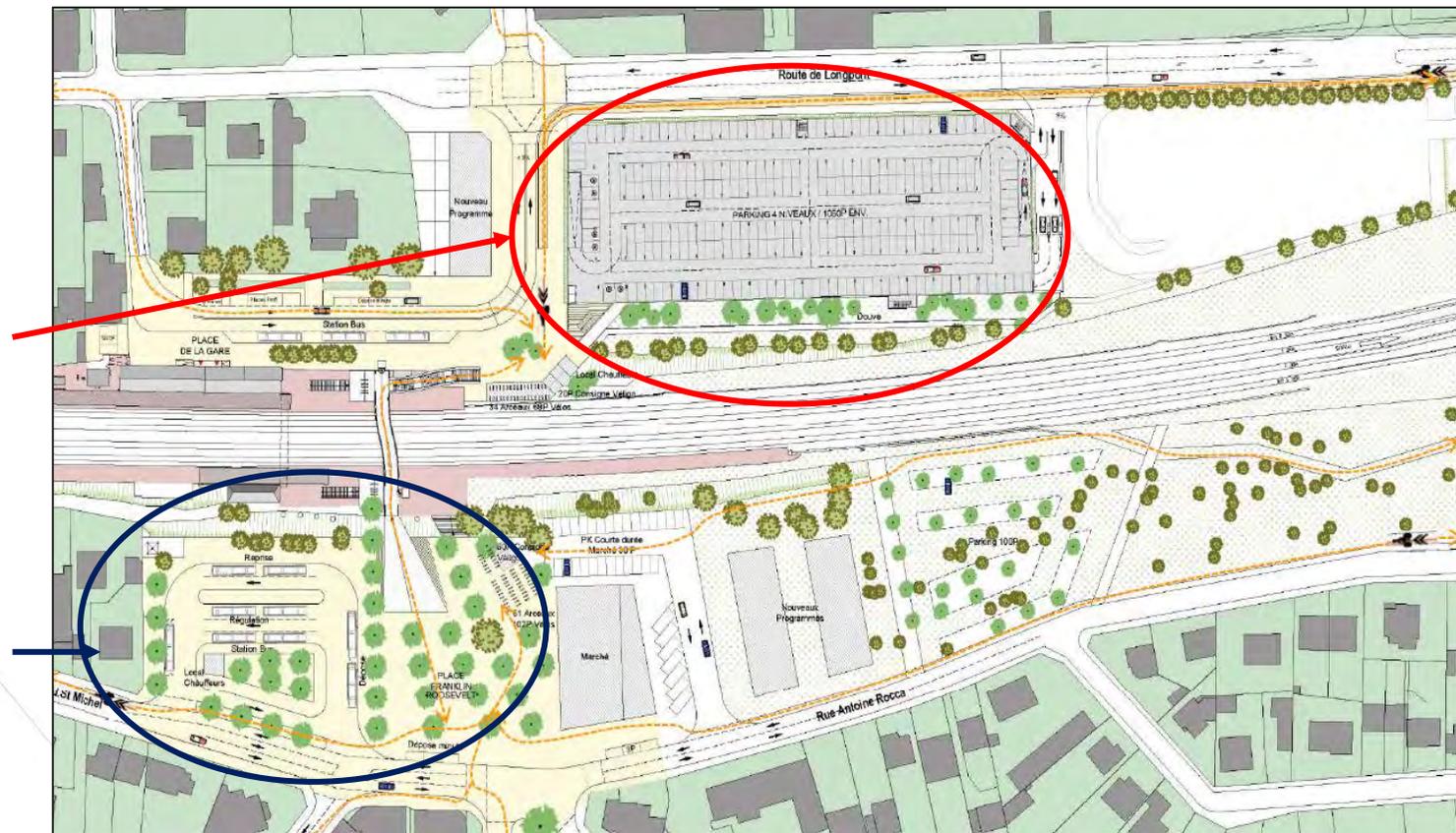
I-PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I-4 LES ENJEUX DE LA REQUALIFICATION



TECHNOLOGIES
NOUVELLES

- L'étude de circulation s'inscrit dans la continuité de l'adoption du schéma de référence et la concertation publique menée début 2021
- Le projet de requalification de la gare va avoir plusieurs impacts sur les trafics qui transitent par le quartier de gare
- Une relocalisation de toute l'offre de stationnement sur un seul parking côté Nord. Cela va avoir pour effet d'augmenter le trafic de rabattement qui devra passer le pont de la Fouille.
- Une relocalisation de la gare bus qui va modifier les mouvements de trafics sur le carrefour de la place Franklin Roosevelt
- Une transformation de l'intersection RD35x RD25 en un carrefour 4 branches gérées par feux



3 reconfigurations auxquelles on doit ajouter les effets induits par:

- L'augmentation prévisionnelle du trafic en gare,
- Une redistribution des modes de rabattement induite par la requalification du pôle gare et l'aménagement de voies cyclables

DIAGNOSTIC

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-1 ORIGINES-DESTINATIONS

Une enquête Origine/Destination a été réalisée dans un périmètre resserré autour de la gare de Sainte-Geneviève-des-Bois.

L'objectif de cette enquête a été d'identifier sur l'HPM, la répartition des trafics selon 3 types de flux.

Flux 1 : Les flux de transit qui traversent le quartier sans s'y arrêter et qui n'interagissent pas avec la gare

- Les postes 100 sont les flux en entrée de quartier
- Les postes 200 sont les flux en sortie de quartier

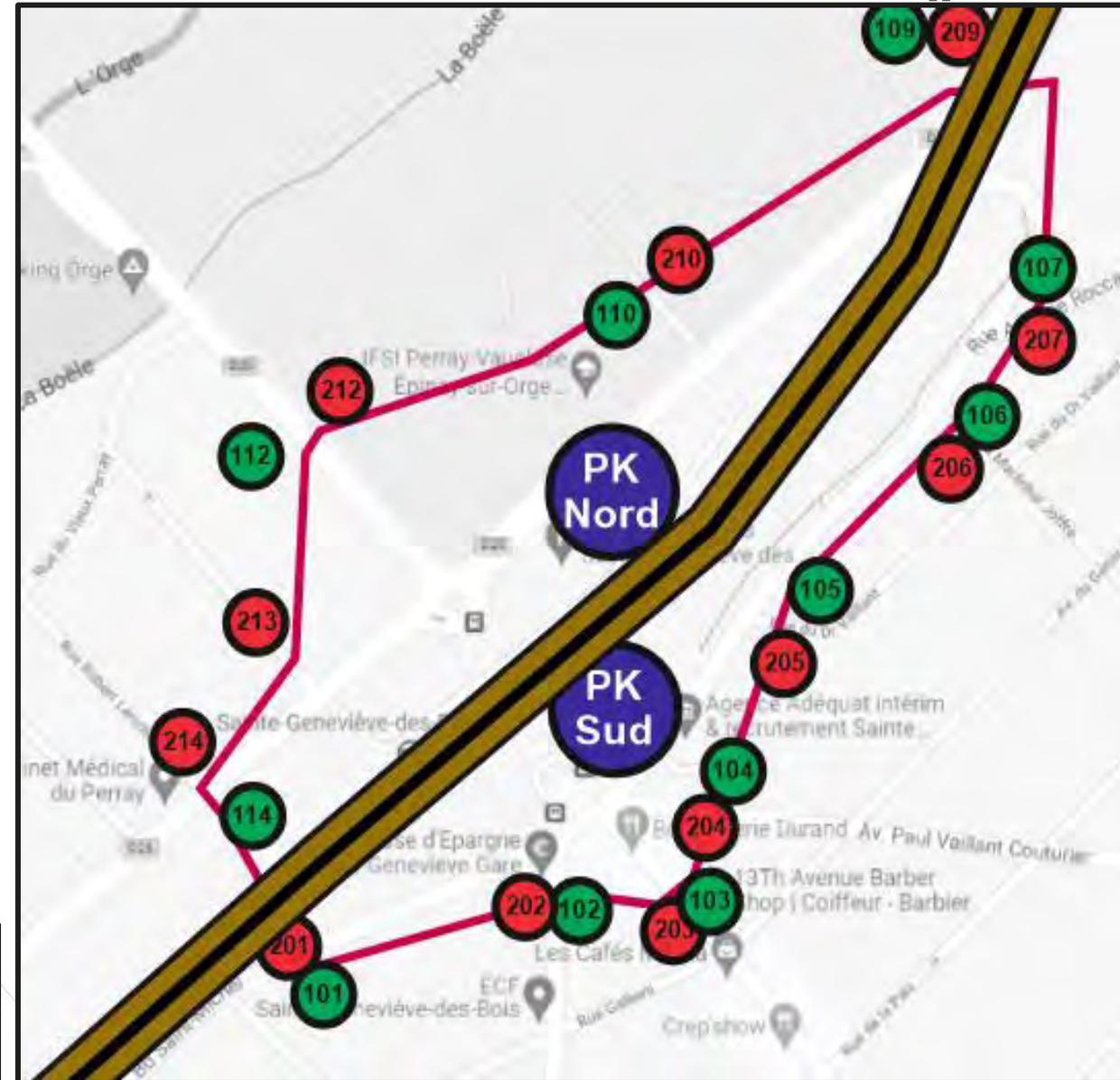
Flux 2 : les flux attirés par les parkings de la gare sont tous les flux HPM qui entrent dans le quartier pour accéder de façon temporaire ou de longue durée aux parkings Nord et Sud de la gare.

- Rabattement des usagers de la gare (longue durée)
- Rabattement bus vers la gare
- Dépose Minute

Flux 3 : les flux générés par les parkings de la gare sont tous les flux qui sortent du quartier pour accéder de façon temporaire ou de longue durée aux parkings Nord et Sud de la gare.

- Départ de résidents garés dans les parkings
- Départ des déposes minutes
- Départ des bus

Le périmètre de la gare a été volontairement resserré sur la gare pour exclure du périmètre les flux attirés et générés par les espaces de stationnement du quartier (hors parkings « officiels ») et qui sont dans le cas présent considérés comme des flux parasites.



II-ANALYSE DES TRAFICS

II-1 ORIGINES-DESTINATIONS



Entre 8h et 9h, 2886 véhicules ont été recensés dans le périmètre. Le transit y est prédominant puisqu'il représente 77%

- Les flux principaux sont principalement relevés sur la partie Nord de la gare le long de la RD25 et la RD35 et surtout sur le giratoire
Le trafic qui se rencontre sur le giratoire représente un cumul d'environ 1800 véhicules soit 60% de tous le trafic HPM,
Le flux qui arrive de RD25 depuis Longpont est de 936 uvp/h dont 545 tournent sur la RD35 et 115 continuent sur la D25 vers Villemoison,
Le flux qui arrive de la RD35-Dr Pinel est de 487 uvp/h dont 163 accèdent aux Parking Nord et 118 tournent vers la D25 vers Longpont.
- Le trafic qui se rencontre au droit de la Place Franklin Roosevelt représente un cumul d'environ 1200 véhicules soit 41% de tous le trafic HPM : Le trafic qui descend G.Peri vers Rocca (264 uvp/h) est à 30% du transit vers D35 Pinel-30% vers D25 Villemoison-10% vers Pk Nord
- Le parking Nord attire un flux de 423 véhicules (bus compris) mais seulement 90 veh (21%) arrivent depuis le sud (via le pont de la Fouille)
Les parkings Sud attirent un flux de 96 véhicules (bus compris) et tous arrivent depuis le Sud (principalement depuis G.Peri et Couturier)

Matrice HPM 08h-09h		St-Michel	Georges Pitard	Gabriel Peri	Paul-Vaillant Couturier	Dr Vaillant	Maréchal Joffre	Antoine Rocca	RD25 Villemoison	Accès Hôpital	RD35 Dr. Pinel	Yves Massié	RD25 le Perray	Parking Sud Accès	Gare bus Sud	Parking Nord Accès	Total flux
Parvis Nord	St-Michel			101	82	10	12	21	5		1			6	5	6	249
	Georges Pitard																
	Gabriel Peri	88			22	2	6	23	84	15	75	1	18	11	42	40	427
	Paul-Vaillant Couturier	86		6					15		6			21	9	5	148
	Dr Vaillant	7							2								9
	Maréchal Joffre	18		5					8							24	94
	Antoine Rocca	33		15	10		1		15		30		10		2	15	131
Pavis Sud	RD25 Villemoison	10		24	1	2	2	5		10	80		14			18	166
	Accès Hôpital	2			0				1		40						43
	RD35 Dr. Pinel	12		75	23	6		1	88	1			118			163	487
	Yves Massié			2				1	3								6
	RD25 Le Perray	1		1	0		41	45	115	31	545	5				152	936
Park	Parkings Sud Sortie										29			E=38 S=29			
	Gare bus Sud	3		26	11										E=58 S=41		
	Parking Nord Sortie			8					8		40					E=423 S=56	
Total flux sortant		260		263	149	20	62	96	344	57	884	6	161	Flux total HPM=2821			77%
Transit HPM =2177																	

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-1 ORIGINES-DESTINATIONS: ZOOM TRANSIT

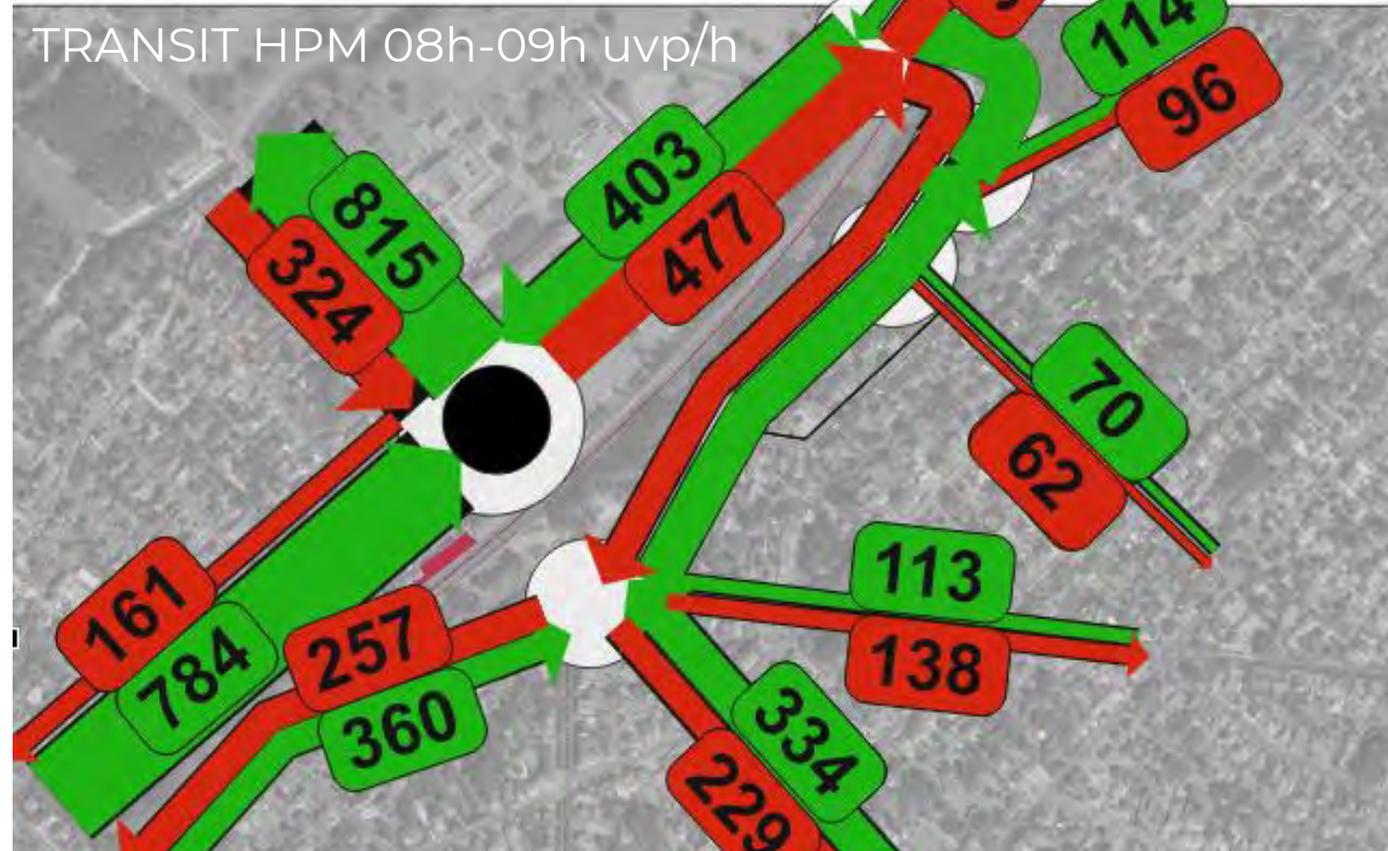
Voici représenté le flux de transit qui circule autour de la gare sur l'heure de pointe du matin entre 08h et 09h. Les valeurs sont exprimées en uvp/h.

Le trafic de transit constitue la grande majorité du trafic rencontré autour de la gare (77%). Le pic induit par ce seul flux définit l'heure de pointe du matin.

En réalité, la gare voit la rencontre d'un flux de transit principal avec des mouvements secondaires:

- Le flux principal est celui associé au rabattement vers la RD35 Dr Pinel totalise à lui seul 815 uvp/h dont 545 sur uvp/h arrive de la seule RD25 Route de Longpont Est. Il s'agit du principal mouvement de trafic. Le reste provient d'un cumul de toutes les autres branches dont 150 uvp/h arrivent du côté Sud via le pont de la Fouille.
- Tous les autres mouvements de transit sont secondaires ou plus diffus:
 - Saint-Michel -> Gabriel Péri : 229 uvp/h
 - Dr Pinel vers RD25 Villemoison : 115 uvp/h
 - Dr Pinel vers RD25 Le Perray : 118 uvp/h
- **Au droit du passage de la Fouille**
 - 369/459 uvp/h dans le sens Sud/Nord est du transit,
 - 311/311 uvp/h dans le sens Nord/Sud est du transit

TRANSIT HPM 08h-09h uvp/h



Les flux induits par le transit constituent les principaux mouvements de trafics observés autour de la gare.

Le côté Nord de la gare subit d'importants mouvements de transit par un effet de concentration sur la RD25 et au droit de l'intersection avec la RD35.

Le côté Sud voit un trafic de transit plus diffus avec néanmoins un effet de rabattement prédominant vers le passage du Pont de la Fouille.

II-ANALYSE DES TRAFICS



II-1 ORIGINES-DESTINATIONS: ZOOM FLUX GÉNÉRÉS PAR LA GARE

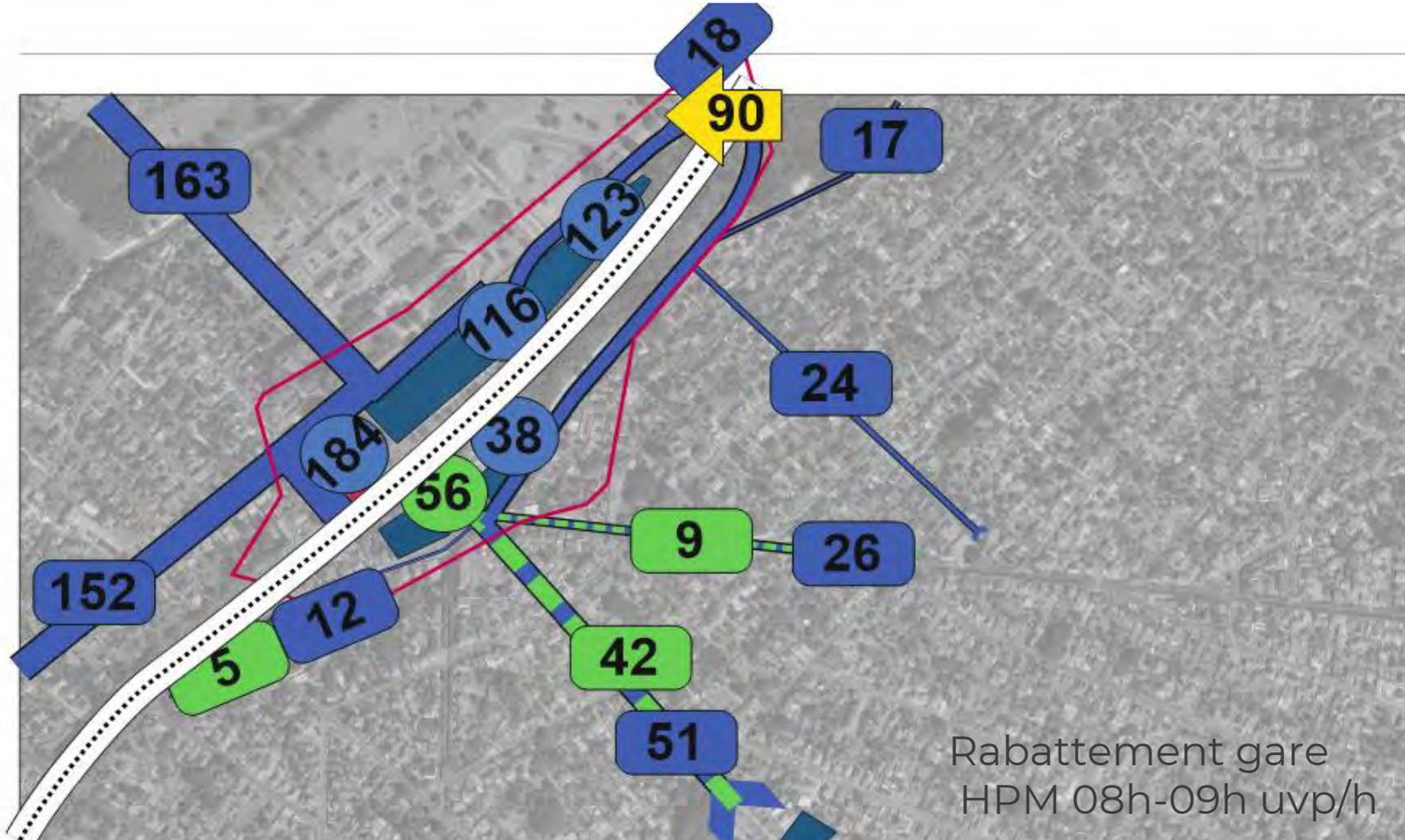
Voici représenté le rabattement VL+Bus des flux qui se rabattent sur l'heure de pointe du matin 08h-09h sur les parkings de la gare.

Sur le secteur Sud

- 38 uvp/h viennent se garer sur les parkings le long de la rue Antoine Rocca. Tous proviennent de rues situés du même côté.
- 56 uvp/h sont associés au rabattement bus. Sachant qu'un bus équivaut à 2 uvp/h cela correspond à environ 28 bus
- Le volume de véhicules qui viennent se garer côté sud est en fait plus important car il faut ajouter ceux qui se garent dans les rues situées à l'extérieur du périmètre OD (non comptabilisés).
- Seulement 90 uvp/h empruntent sur l'HPM le pont de la Fouille pour aller se garer sur les parkings côté Nord.

Sur le secteur Nord

- Le rabattement est plus dense avec 163 uvp/h qui arrivent de la RD35 et 152 uvp/h qui arrivent de la RD25.
- Le stationnement à l'extérieur de la zone OD est quasi-nul.



Le flux induit par le rabattement en gare et qui emprunte le pont de la Fouille à l'HPM est donc relativement faible pour les raisons suivantes;

- L'essentiel du rabattement se fait en dehors de l'HPM. Cet état de trafic maximal étant imposé par le trafic de transit et non par le flux généré par la gare qui est secondaire.
- Le flux VL en provenance du Sud est sous-estimé car une part notable de véhicules ont la possibilité de se garer en amont, sur des places situées à l'extérieur du périmètre OD.

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-2 COMPTAGES DIRECTIONNELS

Sont présentés en synthèse les données de trafics (Octobre 2021) au droit des **3 principaux lieux de conflits identifiés**
Place Franklin Roosevelt



TECHNOLOGIES
NOUVELLES

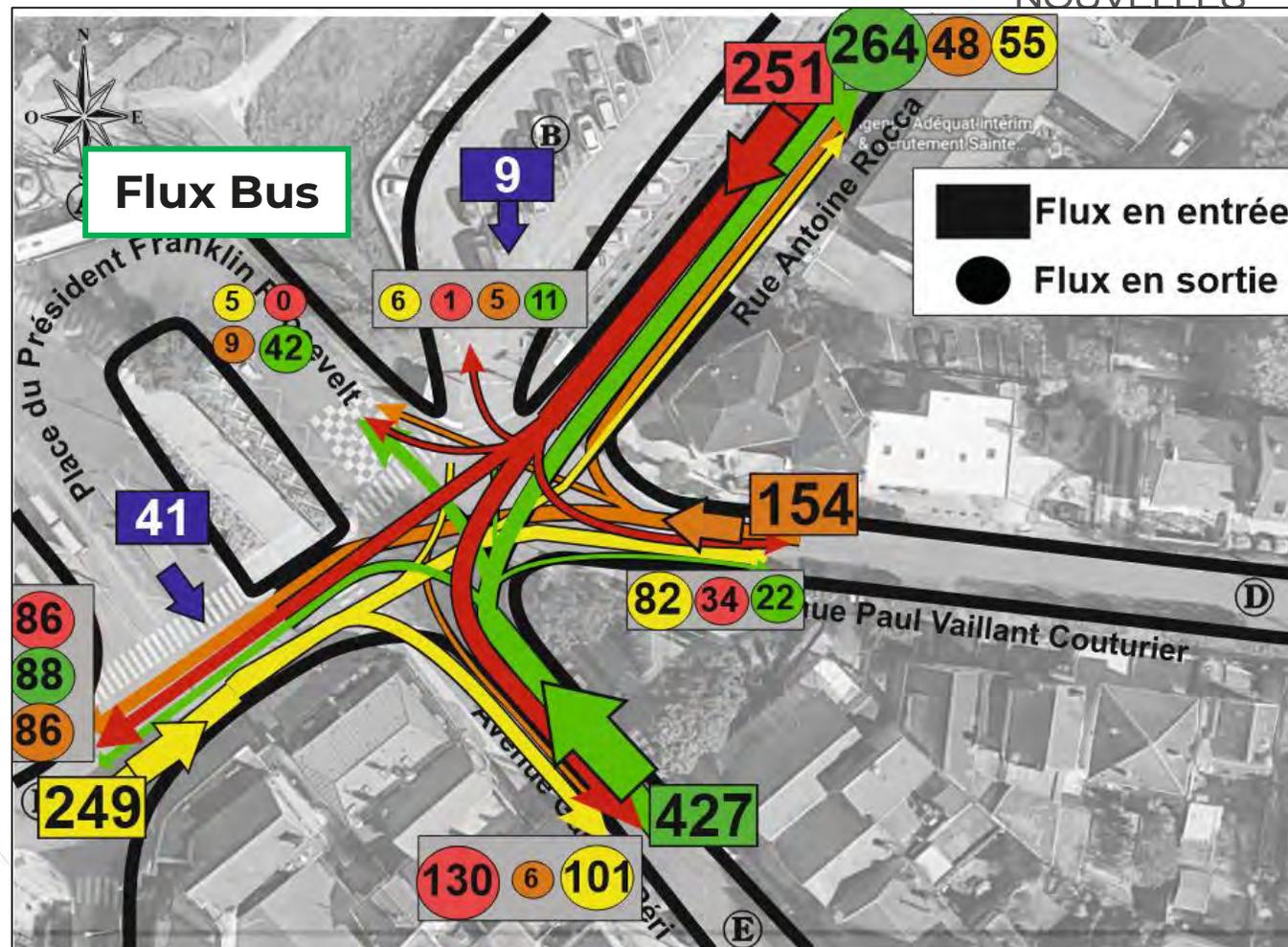
- Mouvements Peri <> Rocca prédominants
 - Ecoulement du transit vers pont de la Fouille
 - HPM : 23% du trafic en carrefour Peri>Rocca
 - HPS: 22% du transit en carrefour Rocca>Peri
 - Flux antagonistes 12%
- Mouvements depuis/vers St Michel secondaires
 - Peu d'évolutions entre HPM et HPS
 - Effet pendulaire peu marqué
 - 40% des entrants St-Michel>Péri
- Mouvements depuis/vers Pvc en troisième rang

La place Franklin Roosevelt est un carrefour à multiples branches avec un mouvement prédominant entre Péri et Rocca associé au transit pendulaire.

La gestion des flux/priorités sur la place est tirée d'habitudes et non matérialisées ni dans la signalisation ni dans l'aménagement.

Le carrefour voit également les mouvements induits par les entrées/sorties des bus de la gare routière.

La place des piétons est reléguée à un second plan. Le caractère routier prédomine tant dans la forme que dans l'usage de la place.



Heure de pointe du matin

Trafic en uvp/h
1 véhicule léger = 1 uvp 1 poids lourd = 2 uvp 1 bus = 2 uvp

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-2 COMPTAGES DIRECTIONNELS

Sont présentés en synthèse les données de trafics (Octobre 2021) au droit des **3 principaux lieux de conflits identifiés**

Passage du Pont de la Fouille:

- Une gestion par « Cédez-le-passage par alternat d'un sens prioritaire sur l'autre »:
 - HPM: Le flux principal (443 uvp/h) doit cédez-le-passage à 311 uvp/h
 - HPS: Le flux principal (609 uvp/h) a la priorité sur 250 uvp/h
- A l'HPM, d'importantes remontées de files depuis la rue du Pont de la Fouille sont relevées car le flux de transit principal est alors soumis au régime de priorité défavorable.

L'article 64 de la 4^{ème} Partie de l'IISR précise des recommandations d'application d'une telle gestion par priorité.

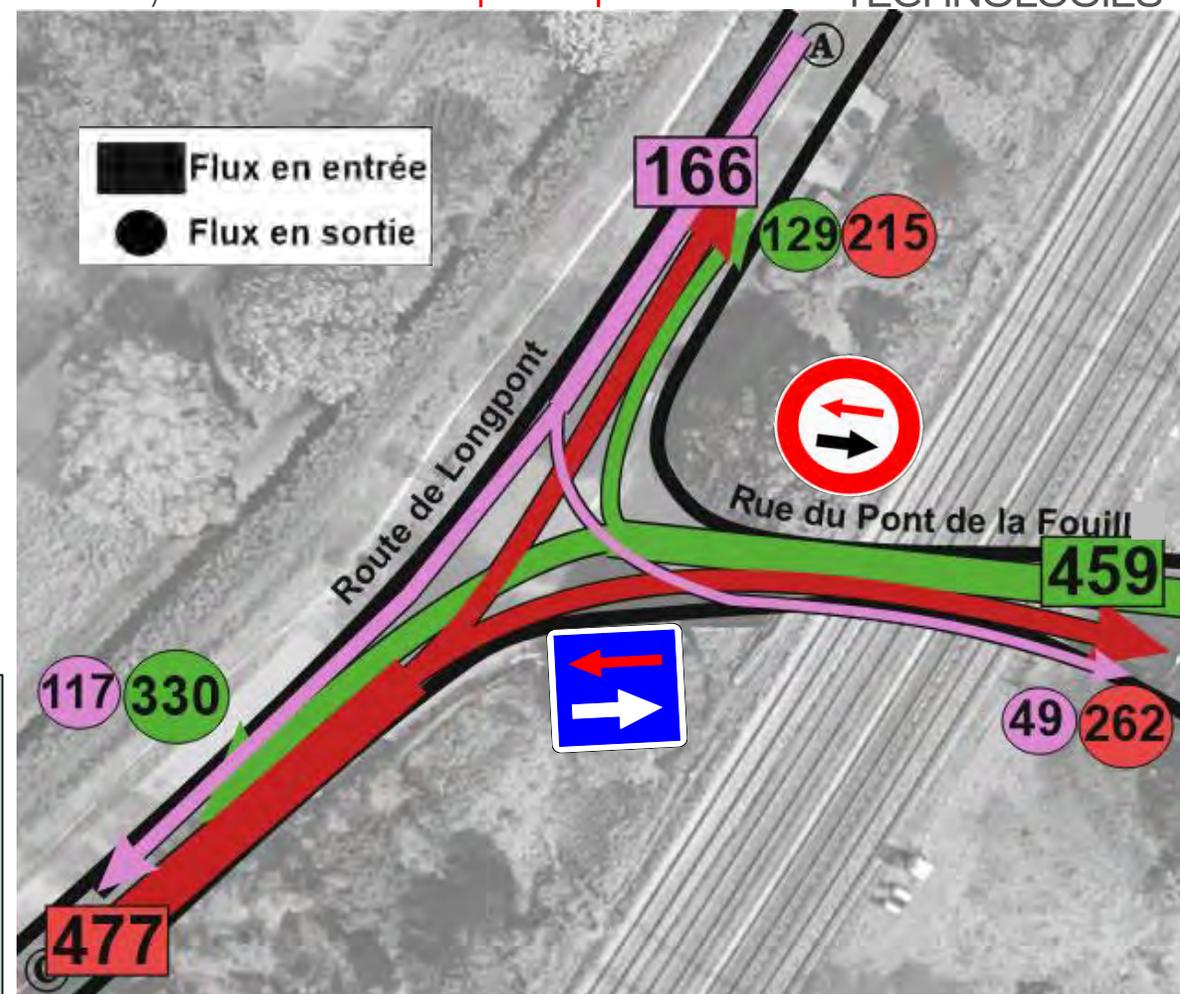
Ces recommandations ne sont pas des obligations mais donnent un cadre sur des conditions d'applications optimales.

Il s'avère que les trafics de pointe relevés sont 8 fois supérieurs aux limites d'usages recommandées.

En heures creuses, la baisse du trafic permet de retrouver une situation plus en adéquation avec les conditions d'une gestion efficace.



TECHNOLOGIES



Heure de pointe du matin

Trafic en uvp/h
1 véhicule léger = 1 uvp 1 poids lourd = 2 uvp 1 bus = 2 uvp

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-2 COMPTAGES DIRECTIONNELS



Le trafic qui se croise sous le Pont de la Fouille est la rencontre de deux flux de transit. Le matin le transit principal est celui qui ne bénéficie pas de la priorité

Sur les 459 véhicules qui arrivent par le sens non prioritaire à l'HPM:

- 80% sont associés à du transit soit 369 uvp/h ,
- La moitié de ce trafic de transit arrive de Gabriel Péri
- 20% sont des véhicules qui veulent rejoindre le parking Nord: 90 uvp/h
- Les usagers de la gare sont peu à passer le pont de la Fouille pendant l'HPM et préfèrent se garer côté Sud.

Sur les 311 véhicules qui arrivent par le sens prioritaire à l'HPM:

- L'intégralité du flux est du transit (à l'échelle de la gare).
- 84% du flux arrive de la RD35: 262 uvp/h
- 16% du flux arrive de la RD25 en provenance de Longpont: 49 uvp/h.

Le flux en heure de pointe associé au rabattement vers les parkings de la gare constitue une part minoritaire du trafic total.

A l'HPM, seulement 90 véhicules sont associés au rabattement vers le parking Nord sur le sens non prioritaire (en vert).

Ce trafic est faible car l'essentiels des flux en direction du parkings se font avant l'heure de pointe (avant 8h00).

La congestion au droit du pont de la Fouille est donc principalement induite par le trafic de transit.



II-ANALYSE DES TRAFICS

II-1 COMPTAGES DIRECTIONNELS

Sont présentés en synthèse les données de trafics (Octobre 2021) au droit des **3 principaux lieux de conflits identifiés**

RD25 x RD35

Le giratoire marque le principal point de rencontre des flux de transit notable entre la RD25 et la RD35.

Ce flux est animé par un fort effet pendulaire. A l'HPM, le flux se concentre principalement en direction de la RD35 Dr Pinel. A l'HPS, le trafic s'inverse et arrive majoritairement depuis la RD35.

Le flux du matin est le plus contraint, notamment par la présence d'un très important mouvement entre la RD25 Ouest et la RD35 (545 uvp/h en tourne-à-gauche).

Ce flux (le plus important relevé autour de la gare) rencontre, à l'HPM, d'autres flux notables au droit de cette intersection:

- 350 uvp/h en tourne-à-droite depuis Pont de la Fouille vers RD35
- 311 uvp/h qui longent la RD25 Ouest vers la RD25 Est
- 282 uvp/h en tourne-à-gauche entre la RD35 et la RD25 Est (vers Pont de la Fouille)

La gestion de ces importants mouvements tournant est facilitée par la présence d'un carrefour giratoire dont les règles assurent la priorité de passage au flux qui se trouvent dans l'anneau.

Exemple: Le giratoire assure ainsi la priorité des 545 uvp/h qui tournent à gauche sur les 403 uvp/h antagonistes.

Dans un carrefour 4 branches classiques, les 503 uvp/h ne sont pas prioritaires et doivent s'écouler en créneau (sauf si gestion par feux avec phase spéciale).



Heure de pointe du matin

Trafic en uvp/h
1 véhicule léger = 1 uvp 1 poids lourd = 2 uvp 1 bus = 2 uvp

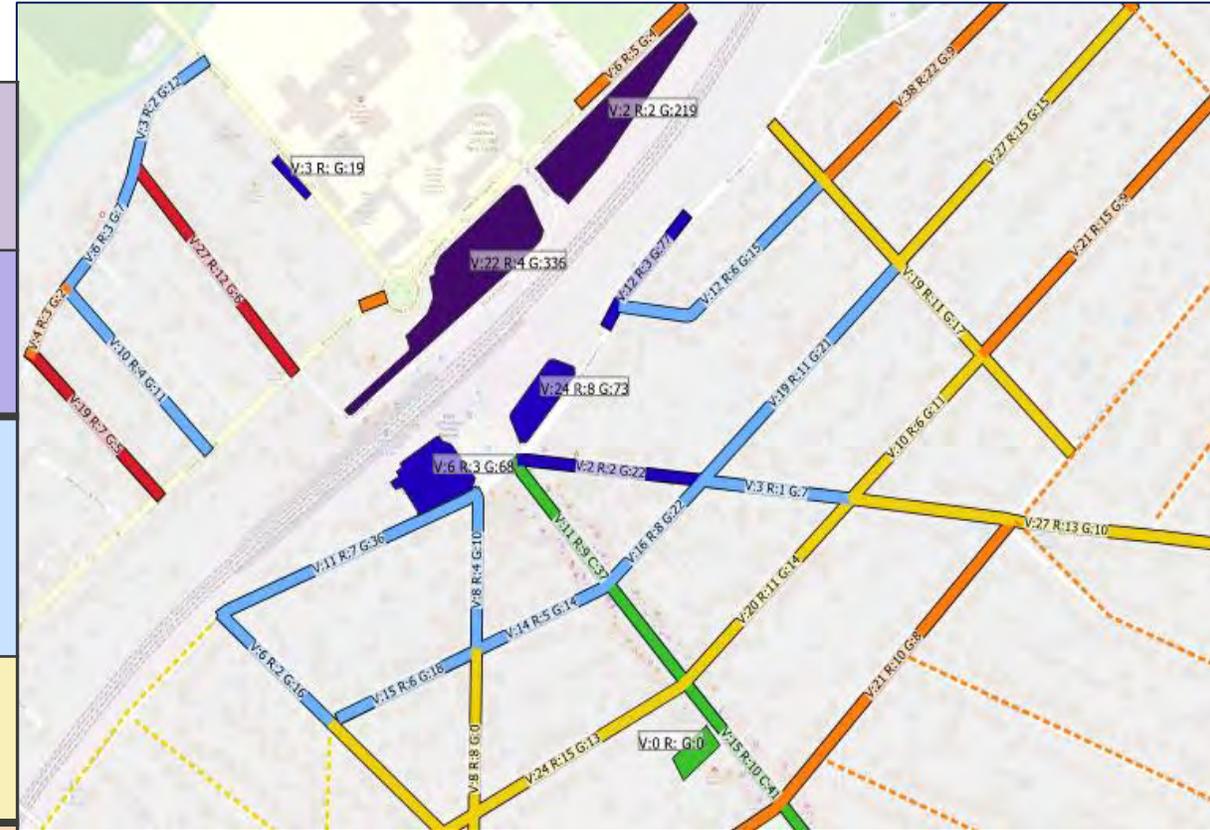
II-PRÉSENTATION DES TRAFICS ACTUELS

II-3 PRATIQUES DE STATIONNEMENT

Une enquête de stationnement a été réalisée pour spatialiser les pratiques de stationnement



Parkings exclusivement animés par le rabattement longue durée sur la gare: +555 veh garés à 11h (46% du besoin total de rabattement) Autres pratiques de stationnement négligeables
Parkings occupées en fin de matinée à plus de 80% par les usagers de la gare: +218 veh garés à 11h (20% du besoin total de rabattement) -14 veh riverain et 42 veh en ventouse (16% de l'occupation)
Voiries qui subissent en première ligne le débordement du stationnement sur voirie généré par la gare : +211 veh garés à 11h (18% du besoin total de rabattement) +3,5 fois de véhicules arrivés que de véhicules riverains partis -Le stationnement riverain longue durée occupent environ 23% des places occupées
Voiries avec un équilibre entre les différentes pratiques: +83 veh garés à 11h (7% du besoin total de rabattement) -84 veh partis et qui ont libéré du stationnement sur voirie =70 véhicules en statio riverain longue durée(45% des places occupées)
Voiries avec une non saturation de l'espace à 11h +103 veh garés à 11h (9% du besoin total de rabattement) -80 véh partis et qui ont libéré du stationnement. =Environ 33% de statio riverain longue durée à 11h. Il n'y a plus de saturation de la voirie
Voiries avec majoritairement du stationnement riverain longue durée 70% de l'occupation totale à 11h
Espaces de stationnement courte durée ou réglementés non impactés par le stationnement induit par la gare



Le débordement sur la voirie du stationnement induit par le rabattement sur la gare est avéré.

- Environ 35% des véhicules ne se garent pas sur les parkings officiels
- Un volume de véhicule d'environ 400 veh dont la moitié se garent dans les rues résidentielles à proximité immédiate (côté sud).

Mais l'impression de saturation de la voirie **est également imputable au stationnement longue durée des riverains** (environ 30% de l'occupation totale à 11h soit 230 véhicules)

II-PRÉSENTATION DES TRAFICS ACTUELS

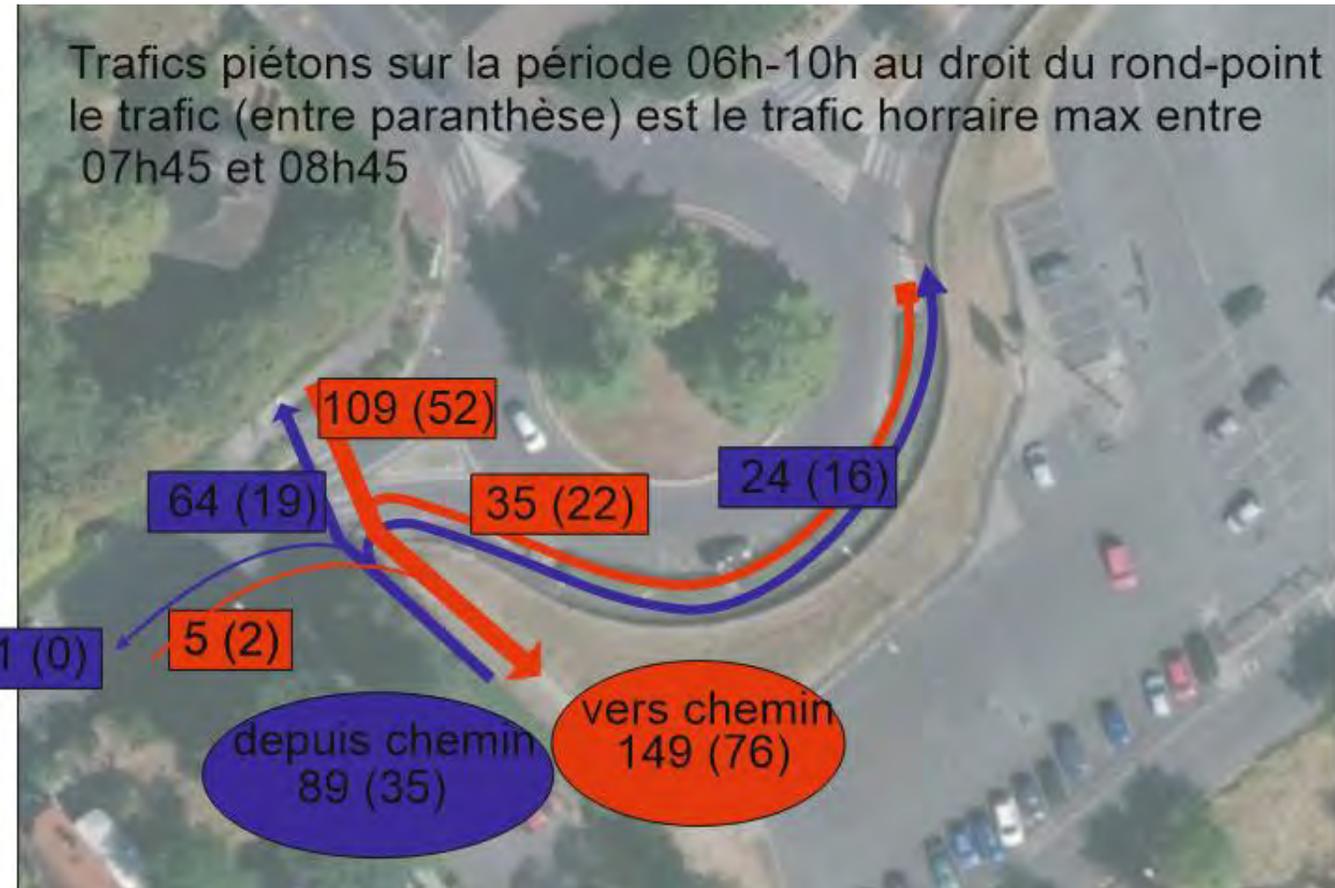
II-4 RABATTEMENT MODE DOUX



Le chemin situé dans l'alignement du passage piéton du giratoire RD25xRD35 constitue le principal point de rabattement des usagers qui résident côté Nord de la gare.

Entre 6h et 10h, on relève un trafic d'environ 250 piétons avec un sens davantage marqué en direction de la gare.

Le passage piéton est particulièrement emprunté avec un trafic horaire max de 71 piétons (52+19)



Le giratoire est également marqué par la présence de cyclistes mais la fréquentation est négligeable (12 vélos relevés entre 06h et 10h).

II-PRÉSENTATION DES TRAFICS ACTUELS

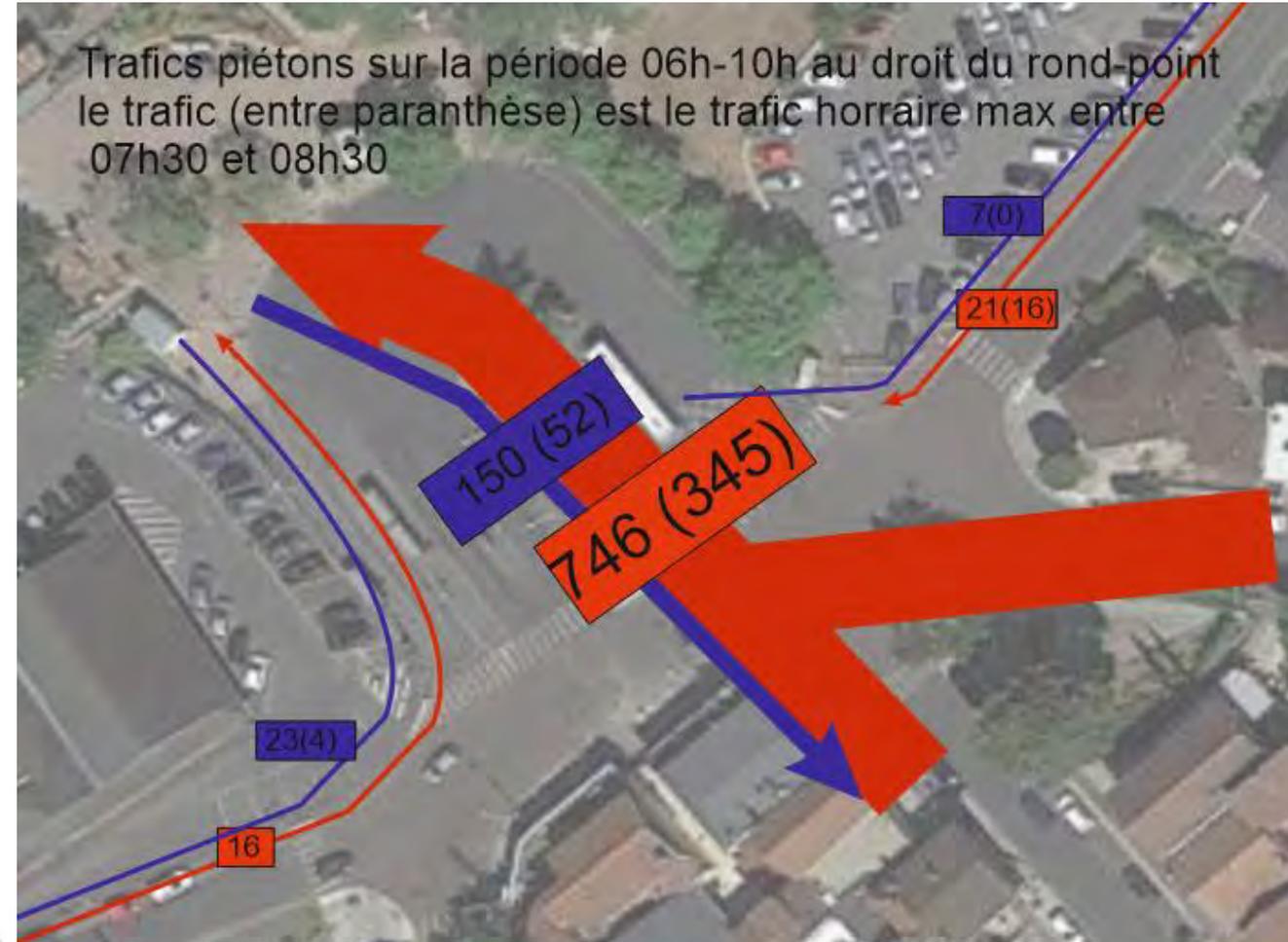
II-4 RABATTEMENT MODE DOUX



Le carrefour de la place Franklin Roosevelt marque le point de convergence des flux piétons générés par la gare du côté sud.

Entre 06h-10h, près de 800 piétons ont été relevés en direction de la gare et 180 dans le sens inverse.

La pointe de trafic est relevée entre 7h30 et 8h30 qui correspond donc aux pics d'usagers de la gare.



L'heure de pointe de la gare est donc décalée d'environ 30 minutes par rapport au trafic de point

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-4 PROJECTIONS D'ÉVOLUTIONS DU TRAFIC



- Le densification urbaine du territoire va induire une augmentation générale des trafics
 - Une augmentation naturelle du trafic de transit de 1% par an (hypothèse modèle DRIEA) et donc sur une échéance de 5 ans de 5%
 - Une augmentation du trafic voyageur de la gare d'environ +1000 usagers par jour à horizon moyen terme (hypothèses AREP)
 - Dont +700 sur la seule période 06h-10h soit un total de 5200 voyageurs (4500+700)
- Ces augmentations présagent donc d'une augmentation globale des trafics véhicules qui circulent actuellement autour de la gare.
- Pour le flux généré par la gare, l'augmentation du flux voyageurs n'aura pas un impact équivalent sur l'évolution du flux véhicule car :
 - La reprise en main des pratiques de stationnement + le développement de l'offre bus va favoriser un report modal VL->Bus
 - AREP estime une baisse relative de la part modale VL de 41% (actuelle) à 36% impliquée dans tous les types de rabattements.
 - Report modal + Augmentation du trafic usager induit théoriquement une augmentation du besoin de stationnement 1370 (+300)
 - En appliquant un stricte contrôle du stationnement riverain et de labélisation du stationnement AREP présage que ce report modal soit « boosté » d'environ 20% supplémentaire faisant au final passer le besoin réelle à 1096 places.

Au final, les effets de la labélisation du parking et du report modal vont compenser les effets de l'augmentation du trafic voyageur de la gare et aboutir à un relatif statu quo du besoin de stationnement par rapport à l'offre actuelle.

Le vrai changement local va être induit par la relocalisation de toute l'offre de stationnement sur un seul parking côté Nord. Cela va induire un effet de report des véhicules qui se garent actuellement côté sud et se manifester notamment par une augmentation du trafic, notamment au niveau du pont de la Fouille.

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-4 PROJECTIONS D'ÉVOLUTIONS DU TRAFIC



Entre 8h et 9h, les projections de trafics futures vont avoir au global un impact relativement négligeable par rapport à l'état actuel:

- +5% appliqués à tous les flux de transit
- Modification des volumes de trafics VL induits par la transformation du pôle gare et des effets sur les modes de rabattement

Dans un horizon moyen terme, une évolution totale du trafic HPM d'environ 4% soit 113 véhicules est à attendre. La part de transit restera équivalente à celle d'aujourd'hui avec près de 77% des flux associés à cet usage.

La matrice présente les évolutions de trafics à attendre par mouvement à l'HPM

- Pour les flux en baisse: Les effets du report modal sont supérieurs à l'effet d'augmentation induit par l'accroissement du trafic général
- Pour les flux en hausse: Les effets du report modal ne compensent pas l'effet d'augmentation induit par l'accroissement du trafic général

Matrice HPM 08h-09h		St-Michel	Georges Pitard	Gabriel Peri	Paul-Vaillant Couturier	Dr Vaillant	Maréchal Joffre	Antoine Rocca	RD25 Villemeisson	Accès Hôpital	RD35 Dr. Pinel	Yves Massié	RD25 le Perray	Gare bus	Parking Nord Accès	Total flux	Variation
Parvis Nord	St-Michel	0	0	106	86	11	13	22	5	0	1	0	0	5	6	255	6
	Georges Pitard	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
	Gabriel Peri	92	0	0	23	2	6	24	88	16	79	1	19	42	117	509	82
	Paul-Vaillant Couturier	90	0	6	0	0	0	0	16	0	6	0	0	9	13	140	-8
	Dr Vaillant	7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0			9	0
	Maréchal Joffre	19	0	5	0	0	0	0	8	0	40	0	1		36	109	15
	Antoine Rocca	35	0	16	11	0	1	0	16	0	32	0	11	2	35	159	28
Parvis Sud	RD25 Villemeisson	11	0	25	1	2	2	5	0	11	84	0	15		18	174	8
	Accès Hôpital	2	0	0	0	0	0	0	1	0	42	0	0			45	2
	RD35 Dr. Pinel	13	0	79	24	6	0	1	92	1	0	0	124		114	454	-33
	Yves Massié	0	0	2	0	0	0	1	3	0	0	0	0			6	0
	RD25 Le Perray	1	0	1	0	0	43	47	121	33	572	5	0		106	929	-7
	Gare bus Sortie	3		26	11									E=58 S=41			
Parking Nord Sortie	12	2	35	20				8		68				E=405 S=56			
Total flux sortant		285	2	301	176	21	65	100	360	61	924	6	170	Flux total 2934 HPM		153	5%
Variation		25	2	38	27	1	3	4	16	4	40	0	9	Transit HPM =2286		77%	1%

II-ANALYSE DES TRAFICS

II-4 PROJECTIONS D'ÉVOLUTIONS DU TRAFIC



Les évolutions de trafics vont davantage se ressentir à une échelle locale. La relocalisation de toute l'offre de stationnement sur un seul parking+ l'augmentation naturelle du transit vont en être les principaux moteurs. Cela va induire un effet de report notamment au droit du passage du pont de la Fouille qui se positionne « au centre de l'entonnoir».

La gestion par priorité risque d'être davantage éprouvée par le trafic de pointe HPM avec un effet direct sur les files d'attentes.

Flux HPM qui traverse le Pont de la Fouille dans le sens non prioritaire					
Provenance	Volume en transit	Volume accès Parking Nord	Part de transit par provenance	Trafic total	Part du trafic
St-Michel	6	6	50%	12	3%
Georges Pitard	0	0		0	
Gabriel Peri	193	40	83%	233	53%
Paul-Vaillant Couturier	21	5	81%	26	6%
Dr Vaillant	2	0	100%	2	
Maréchal Joffre	47	24	66%	71	16%
Antoine Rocca	55	15	79%	70	16%
Parking Sud emission	29		100%	29	7%
Total HPM	353	90	80%	443	

+105 veh/h
+23%



Flux HPM qui traverse le Pont de la Fouille dans le sens non prioritaire					
Provenance	Volume en transit	Volume accès Parking Nord	Part de transit par provenance	Trafic total	Part du trafic
St-Michel	6	6	50%	12	2%
Georges Pitard	0	0		0	
Gabriel Peri	203	117	63%	320	58%
Paul-Vaillant Couturier	22	13	63%	35	6%
Dr Vaillant	2	0	100%	2	
Maréchal Joffre	49	36	58%	85	16%
Antoine Rocca	59	35	63%	94	17%
Total HPM	341	207	62%	548	

Flux HPM qui traverse sur le Pont de la Fouille dans le sens prioritaire					
Provenance	Volume en transit	Volume accès Parking Sud	Part de transit par provenance	Trafic total	Part du trafic
RD25 Villemoisson	44	0	100%	44	17%
Accès Hôpital	2	0		2	1%
RD35 Dr. Pinel	117	0	100%	117	45%
Yves Massié	3	0	100%	3	1%
RD25 Le Perray	88	0	100%	88	34%
Parking Nord emission	8	0	100%	8	3%
Total HPM	262	0	100%	262	

+44 veh/h
+16%



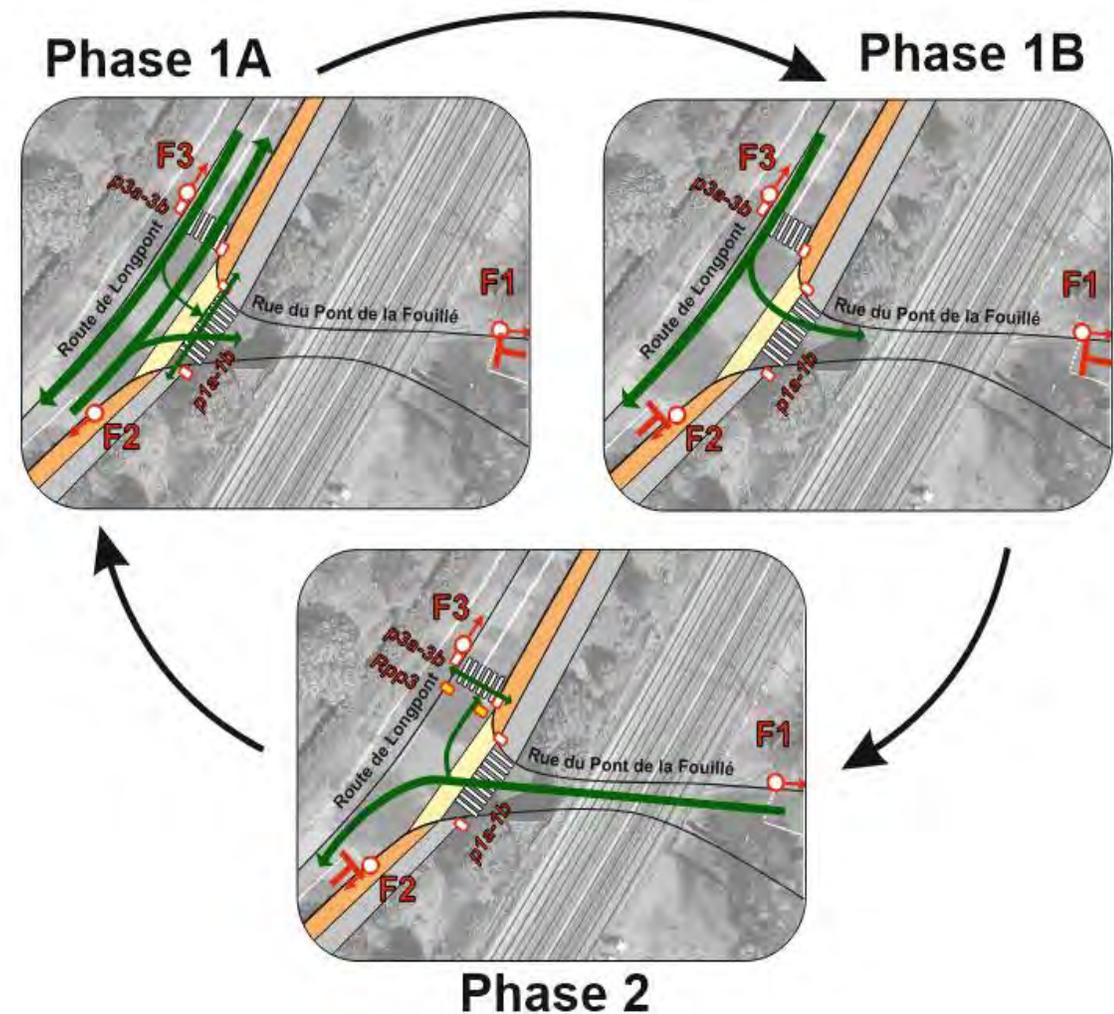
Flux HPM qui traverse sur le Pont de la Fouille dans le sens prioritaire					
Provenance	Volume en transit	Volume accès Parking Sud	Part de transit par provenance	Trafic total	Part du trafic
RD25 Villemoisson	46	0	100%	46	15%
Accès Hôpital	2	0		2	1%
RD35 Dr. Pinel	123	0	100%	123	40%
Yves Massié	3	0	100%	3	1%
RD25 Le Perray	92	0	100%	92	30%
Parking Nord emission	40	0	100%	40	13%
Total HPM	306	0	100%	306	

PRÉCONISATION 1

GESTION PAR FEUX DU PASSAGE
DU POINT DE LA FOUILLE

III-PRÉCONISATION 1: LIBÉRER LE PONT DE LA FOUILLE

- Solution: Remplacer une gestion par priorité inadaptée par un fonctionnement par feux adapté et souple
- Avantages :
 - Organiser et sécuriser les flux du passage du pont de la Fouille:
 - Alternat encadré par des feux avec temps de vert adapté
 - Temps de vert différents selon HPM et HPS
 - Boucles de présence pour accélérer l'alternat si absence véhicule.
 - Une intégration des autres conflits au sein d'un fonctionnement commun et uniforme
 - Conflits entre les deux branches de la RD25
 - Sécurisation des traversées de nouveaux passages piétons et voies cyclables
- Inconvénients :
 - La gestion par feux implique des temps incompressibles et qui peuvent être long dans le cas d'une gestion par alternat.
 - En heure creuse, les usagers vont trouver ce nouveau fonctionnement défavorable car ils seront à présent confronté au risque d'un temps de rouge malgré l'absence d'un véhicule en face
 - 17 sec max dans le pire des cas = temps de réactivité du carrefour



La mise en place d'un feux est indispensable pour endiguer à moindre frais la congestion actuelle et future au droit du pont de la Fouille.

III-PRÉCONISATION 1: LIBÉRER LE PONT DE LA FOUILLE

Pour mesurer la réserve de capacité, la gestion par alternat a été considérée comme un pseudo carrefour à feux.

Le temps de vert théorique correspond ici à la part sur 60 secondes où le flux prioritaire parvient à s'écouler

Cette part a été estimée par des mesures terrains (chronomètres des créneaux)

Avec ce fonctionnement théorique et les trafics actuels, une réserve de capacité négative est observée pour le sens non prioritaire (-5%).
Offre insuffisante ->Emergence d'une file d'attente

Phase	Signal	Entrée	Mouvements	Coefficients	Trafics (uvp/h) (comptages)		Voies	Trafics (uvpd / h / file)		Trafics cycle max par (uvpd/file)		Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée		Réserve de capacité		
					HPM	HPS		Nbre	HPM	HPS	HPM	HPS	Perdus		Vert		HPM	HPS	HPM	HPS
													Jaune	R. Dégaig.	HPM	HPS				
1	F1	Sens Non prioritaire	Dir	1,5	443	250	1	665	375	17	11			21	21	630	630	-5%	68%	
1	F2	Sens prioritaire	Dir	1,5	311	609	1	467	914	13	22			39	39	1170	1170	>100%	28%	
		Carrefour						Charge du carrefour 665 914		Débit de saturation de référence 1800 1800			Durée de cycle 60 60		Capacité du carrefour 1800 1800		>100%	97%		

Avec l'augmentation future du trafic, la gestion par alternat va continuer à défavoriser le flux non prioritaire et tirer davantage vers le bas la réserve de capacité.

Phase	Signal	Entrée	Mouvements	Coefficients	Trafics (uvp/h) (comptages)		Voies	Trafics (uvpd / h / file)		Trafics cycle max par (uvpd/file)		Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée		Réserve de capacité		
					HPM	HPS		Nbre	HPM	HPS	HPM	HPS	Perdus		Vert		HPM	HPS	HPM	HPS
													Jaune	R. Dégaig.	HPM	HPS				
2	F1	Rue du Passage du Pont de la Fouille	TAD	1,1	135	63	1	562	269	21	11	3	8	37	23	724	450	29%	67%	
			Dir	1,0	413	200														
1	F2	RD25 Gare	TAD	1,1	216	269	1	498	721	19	26	3	8	29	43	567	841	14%	17%	
			Dir	1,0	260	425														
			TAG	1,5																
1	F3	RD25 Entrée de ville	TAD	1,1			1	186	411	8	16	3	8	33	47	646	920	>100%	>100%	
			Dir	1,0	117	135														
			TAG	1,5	46	184														
		Carrefour						Charge du carrefour 1059 990		Débit de saturation de référence 1800 1800			Durée de cycle 92 92		Capacité du carrefour 1370 1370		29%	38%		

La gestion par feux permet de contrôler les temps de vert de tous les flux et favoriser l'actuel flux non prioritaire.

Malgré l'augmentation du trafic et de longs temps de sécurité (induits par la gestion par alternat sous le pont), **un diagramme de 92 secondes parvient à donner de bonnes réserves de capacité à tous les flux de part et d'autre de l'ouvrage ferroviaire (flux piétons et vélos compris).**

PRÉCONISATION 2

REQUALIFICATION DES USAGES
SUR LE CARREFOUR DE LA PLACE
FRANKLIN ROOSEVELT

PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSVELT

2-A : UNE SITUATION EXISTANTE SATISFAISANTE

- Actuellement la place Franklin Roosevelt présente un fonctionnement satisfaisant.
- L'organisation des flux se fait dans un contexte sécurisé avec des régimes de priorité qui s'appuient sur des habitudes partagées par des usagers habitués des lieux.
- Quelques épisodes de congestion sont observés au cours de la journée mais se limitent globalement à une demi-heure légèrement contrainte entre 8h30 et 9h00.

Enfin, le principal enjeu sur cette place est bien de s'interroger sur la pertinence à vouloir changer un fonctionnement satisfaisant ?

- Le projet pôle Gare ne va pas avoir un effet majeur sur cette place. Le trafic de transit qui représente plus de 70% du trafic va conserver une distribution de trafic équivalente à l'existant.
- Seule la modification de la trajectoire bus va changer mais est-ce pour autant une justification pour bouleverser l'ensemble des flux et les habitudes sécurisées à toutes heures de la journée ?



PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSEVELT

2-B : AMÉNAGEMENT ET GESTION PAR PRIORITÉ

- Une place à « deux visages » pour une gestion des flux lisibles et qui évite l'usage de feux de circulation.

- Une zone de rencontre sur la portion du boulevard Saint-Michel

- Flux VL non prioritaire
- Sortie bus prioritaire
- Accès gare routière en site propre
- Zone de rencontre étendue

Le partage des usages est la priorité et est souligné par le traitement des revêtements de voirie

- Un carrefour Peri<>Rocca dédié au transit

- Le Flux Peri<>Rocca est accompagné par une refonte géométrique pour souligner une nouvelle continuité de voirie en virage.
- Un effet de continuité accentué par de la signalisation au sol et autres aménagements décoratifs (dallage)

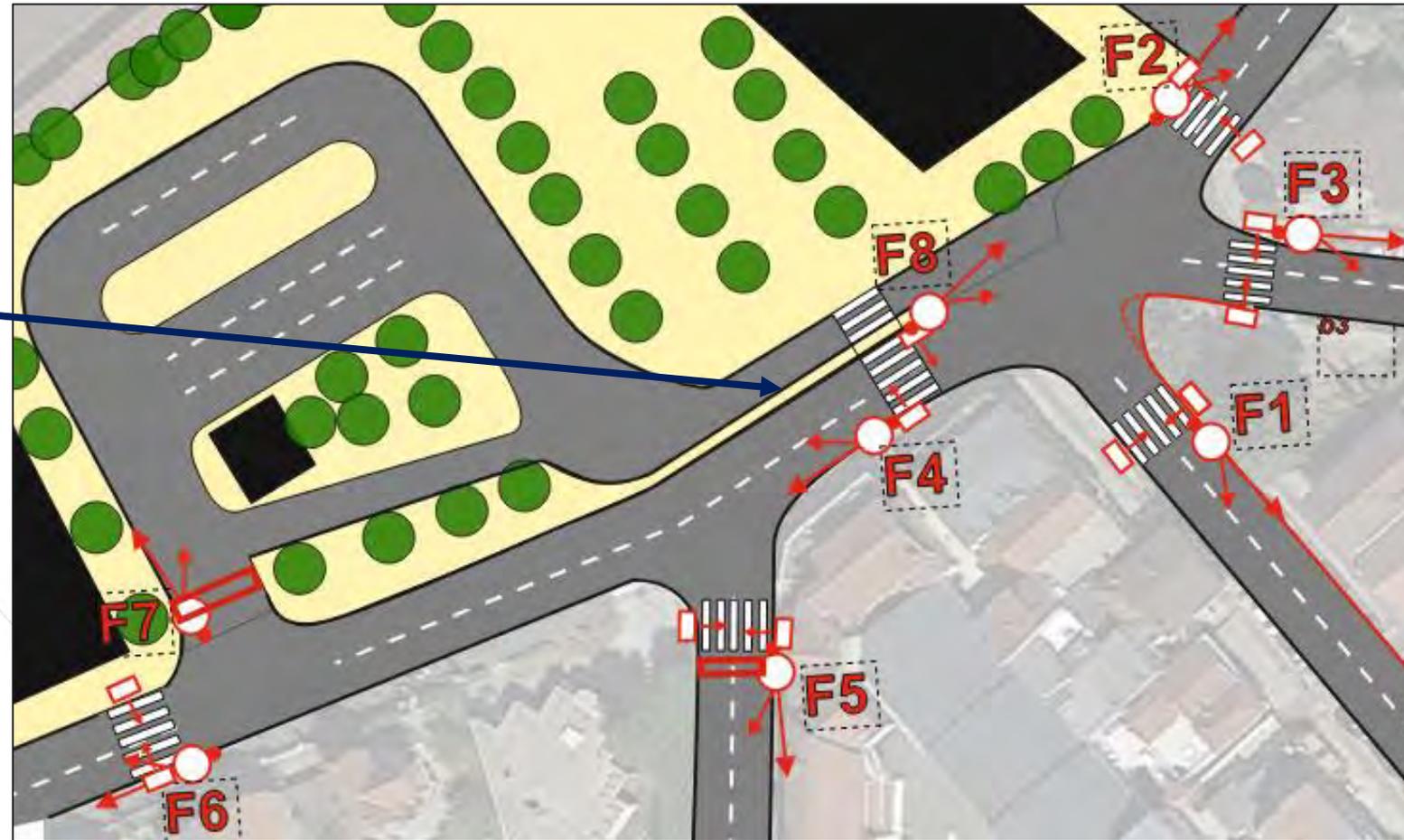


L'enjeu est de mettre en valeur la composante « parvis de gare » de la place tout en ne négligeant pas l'importance du bon écoulement du transit tout aussi important à la tranquillité du quartier.

PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSEVELT

2-C : GESTION PAR FEUX SLT

- Un contrôle total et sécurisé des flux grâce à une gestion par feux de circulation
- Une requalification minimale hormis les travaux de pose de la SLT et la création d'un terre-plein central pour séparer la voie d'accès bus du Bd St-Michel bidirectionnel.
- **8 lignes de feux** permettant un écoulement des flux structurés en 2 sous-carrefours:
 - Sous-carrefour 1 : Peri x Rocca x Couturier
 - Sous-carrefour 2 : Saint-Michel x Pitard x Sortie gare bus
 - Un sas de transition au droit du signal F4/F8
- **6 traversées piétonnes sécurisées** par des signaux piétons
- Des boucles pied de feu pour adapter le fonctionnement aux heures creuses



Le carrefour à feux assure un contrôle total des flux et de la sécurité de tous. Les feux imposent les régimes de priorité qui s'appliqueront à tous.

Une grosse différence par rapport à un fonctionnement par priorité soumis à la courtoisie de chacun et qui implique un aménagement lourd et ambitieux pour rendre les règles d'usages les plus compréhensibles et acceptées par tous.

PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE ROOSEVELT

2-C : GESTION PAR FEUX SLT

Phase 1A (mouvement principal 1) :

Le vert est donné à Rocca et St-Michel

Phase 1b (décalage et anticipation) :

Le flux de St-Michel est arrêté avant pour faciliter le tourne-à-gauche Rocca -> Peri (décalage)

Une anticipation de tourne-droite est donnée à Péri pour anticiper le mouvement principal (flèche clignotante)

Phase 2 (mouvement principal 2)

Le vert est donné à tous sur Péri

Le mouvement Peri>St-Michel est arrêté au sas central (Est->Ouest F8)

Le vert est donné à Pitard

Le mouvement Pitard > Péri est arrêté au sas central (Ouest->Est F4)

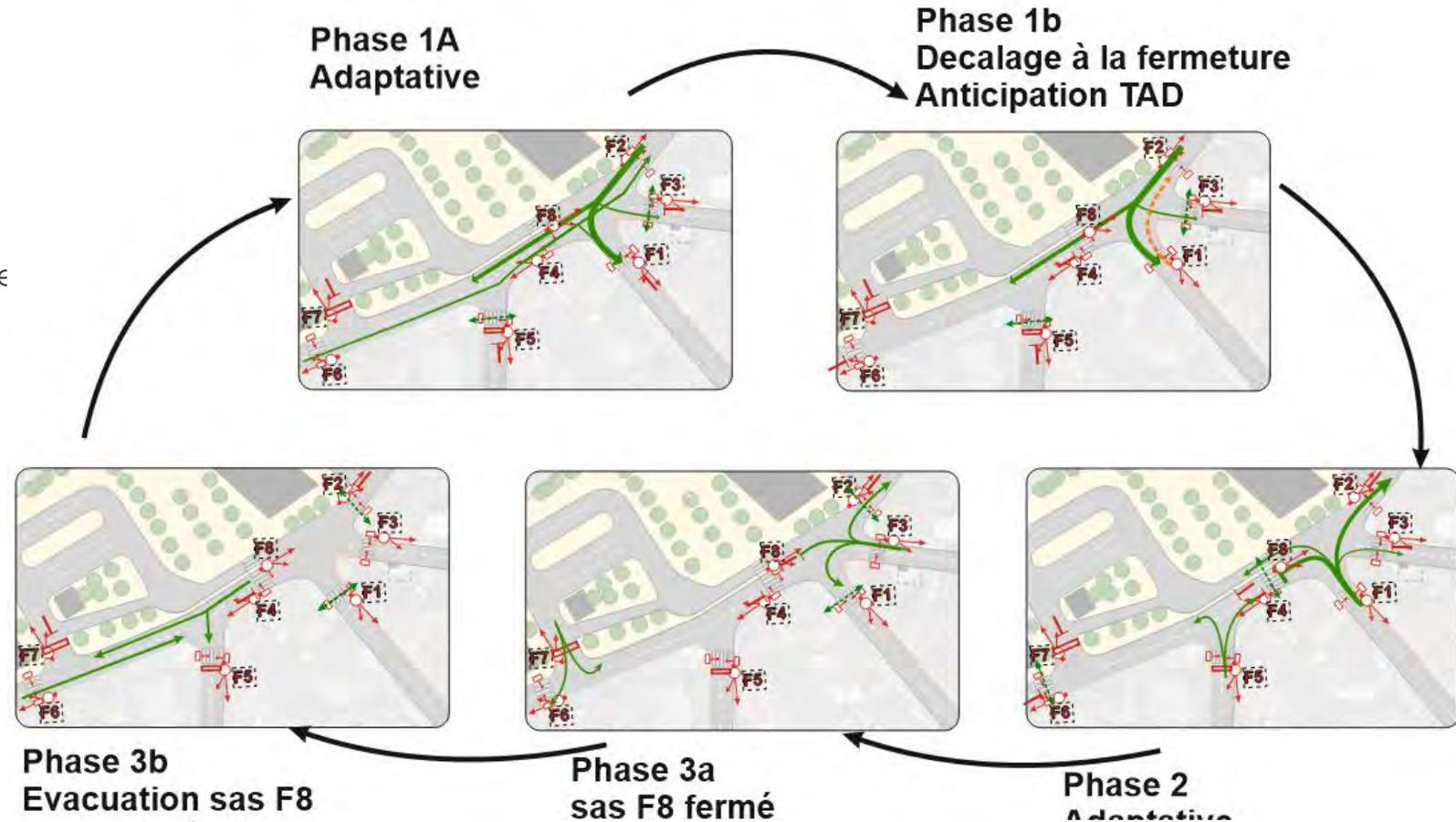
Phase 3A (Sortie bus et PV-C)

Le vert est donné à P-V Couturier

Le mouvement Peri>PV-C est arrêté au sas et se positionne derrière la file débutée en phase 2

Le vert est donné à la sortie bus

Les bus vers Péri se positionnent au sas F4 derrière les véhicules arrivés en phase 2 depuis Pitard



Phase 3b (Evacuation du sas F8 Est->Ouest)

Le vert est donné de façon anticipée au sas central afin d'évacuer les véhicules des mouvements secondaires :TAD depuis Péri (arrivé en phase 2) +TAD depuis P-V-Couturier (arrivée en phase 3a).

Cela permet de vider le carrefour avant le retour au vert de Rocca.

PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSEVELT

2-C : AMÉNAGEMENT ET GESTION PAR PRIORITÉ

Le fonctionnement du carrefour priorise à **tour de rôle** l'écoulement du transit entre G.Péri et A.Rocca.

Pour les bus, leurs accès seront fluidifiés par la mise au rouge de toutes les autres branches. Lorsque le vert sera donné à Péri, le bus bénéficiera d'un carrefour vide pour s'écouler vers la gare.

Pour les bus en sortie, un cycle sur appel permettra de mettre au vert les feux situés dans la trajectoire de sortie.

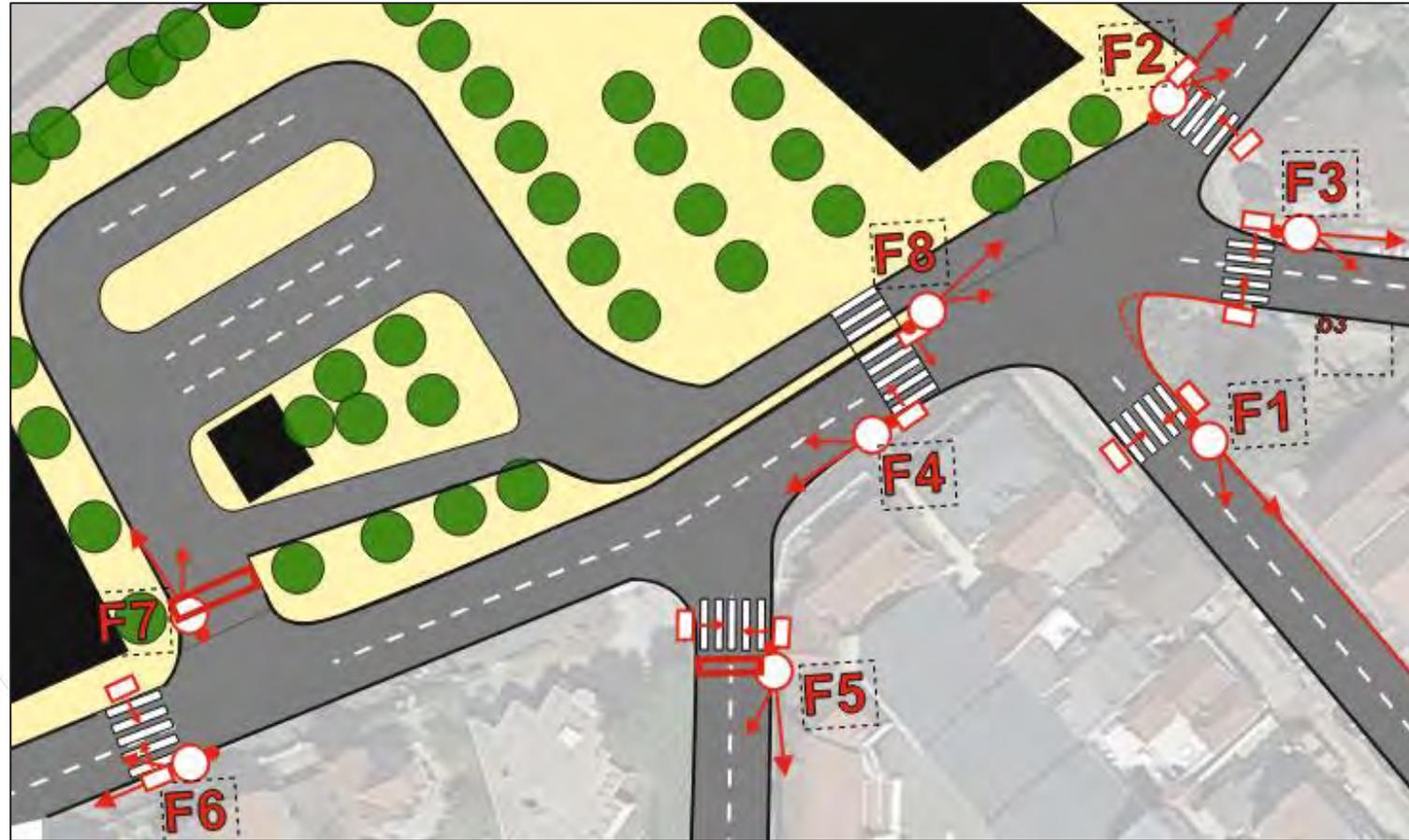
Les piétons bénéficieront de traversées protégées par des feux R12

Par rapport à l'existant, cet aménagement permet un réel gain de fluidité et de sécurité pour tous les usagers.

Les deux mouvements de transit principaux bénéficient de phases respectives permettant à chacun de s'écouler dans un carrefour vide, sans contrainte vis-à-vis du mouvement antagoniste.

Les bus profitent de ce fonctionnement et bénéficient d'un accès sans contrainte aux accès de la gare bus relocalisée.

Les piétons sont protégés par des passages piétons avec signaux R12.



PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSEVELT

2-C : GESTION PAR FEUX SLT

Le fonctionnement nominal présente en HPM et HPS de bonnes réserves de capacité. Le carrefour ne devrait pas congestionner.

A l'HPM, une réserve de capacité de 53% ce qui indique une marge de manœuvre de +47% par rapport au trafic actuel avant congestion.

Phase	Signal	Entrée	Mouvements	Coefficients	Trafics (uvp/h) (comptages)		Voies	Trafics (uvpd / h / file)		Trafics max par cycle (uvpd/file)		Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée		Réserve de capacité		
					HPM	HPS		Nbre	HPM	HPS	HPM	HPS	Perdus		Vert		HPM	HPS	HPM	HPS
													Jaune	R. Dégaig.	HPM	HPS				
1	F1	Gabriel Peri	TAD	1,1	286	197	1	453	347	16	13	3	3	31	31	649	649	43%	87%	
			Dir	1,0	42	28								31	31					
			TAG	1,1	88	93								31	31					
2	F2	Antoine Rocca	TAD	1,1	1	2	1	300	549	12	19	3	3	33	33	691	691	>100%	26%	
			Dir	1,0	86	81								33	33					
			TAG	1,3	164	358								33	33					
3	F3	Paul-Vaillant Couturier	TAD	1,1	48	39	1	161	124	7	6	3	3	15	15	314	314	95%	>100%	
			Dir	1,0	14	11								15	15					
			TAG	1,1	86	64								15	15					
2	F4	Sas 1	TAD	1,1	201	200	1	295	255	12	10	3		18	18	377	377	28%	48%	
			Dir	1,0	61	26								18	18					
			TAG	1,1	12	8								18	18					
2	F5	Semard	TaD	1,1	30	30	1,0	66	66	4	4	3	4	18	18	377	377	>100%	>100%	
			Dir	1,0	0	0								18	18					
			TaG	1,1	30	30								18	18					
3	F7	Sortie Bus	TaD	1,1	0	0	1	45	45	3	3	3		6	6	126	126	>100%	>100%	
			Dir	1,0	0	0								6	6					
			TaG	1,1	41	41								6	6					
1	F8	Sas 2	TaD	1,1	183	182	1	273	235	11	10	3		37	37	774	774	>100%	>100%	
			Dir	1,0	55	24								37	37					
			TaG	1,5	11	7								37	37					
1	F6	Saint-Michel	TaD	1,1	0	0	1	337	302	13	12	3		22	22	460	460	37%	53%	
			Dir	1,0	292	257								22	22					
			TaG	1,5	30	30								22	22					
		Carrefour					Charge du carrefour 915 1020		Débit de saturation de référence 1800 1800				Durée de cycle 86 86		Capacité du carrefour 1402 1402		53%	37%		

PRÉCONISATION 2: RÉAMÉNAGER LA PLACE F.ROOSEVELT

	2-A Conservation de l'existant	2-B Réaménagement de la place et régime de priorité	2-C Gestion par feux de circulation
Gestion	<p><i>Une gestion équivalente à l'existant avec une organisation des flux qui s'appuient sur les habitudes préexistantes d'usagers.</i></p> <p><i>Seules une remise au neuf de l'enrobé et de la signalisation verticale peut être envisagée.</i></p>	<p>La nouvelle gestion des flux est gérée uniquement par de la priorité et elle est renforcée par une requalification importante des espaces de voirie.</p>	<p>La gestion complexe des flux est entièrement organisée, sécurisée par la mise en place de signaux SLT au droit des branches entrantes et des passages piétons.</p> <p>Il n'y a aucune exigence vis-à-vis de la bonne compréhension du site par l'usager. Il n'a qu'à suivre la couleur du signal.</p>
Efficacité	<p>Globalement équivalente à l'existant avec une distribution des flux globalement dictée par le trafic de transit qui va conserver un écoulement sensiblement égal à la situation actuelle.</p>	<p>Variable selon l'adhésion ou la bonne compréhension individuelle des usagers vis-à-vis des nouvelles règles définies par la signalisation verticale et renforcées grâce à l'aménagement qualitatif.</p>	<p>Totalement contrôlée grâce à la programmation et au phasage du carrefour qui définit à la seconde le moment où chaque flux est autorisé à circuler.</p>
Points négatifs	<p>La modification de la trajectoire bus va induire un mouvement de tourne-à-gauche en carrefour.</p> <p>Une modification du mouvement qui peut perturber les habitudes des autres usagers mais qui se limitent uniquement sur l'hyperpointe du matin.</p> <p>Sur le reste de la journée, la situation est équivalente à l'existant</p>	<p>Traversées piétonnes mises en valeur mais pas protégées au sens stricte du terme</p> <p>Le mouvement bus depuis Péri vers l'accès gare sera contraint car il devra s'écouler en créneau vis-à-vis du flux de transit antagoniste Rocca->Péri</p> <p>Un risque de blocage du carrefour en heure de pointe est possible par l'arrêt des véhicules en TAG depuis Péri et P-V Couturier en milieu de carrefour.</p>	<p>Aux heures creuses, les contraintes de temps réglementaires (incompressibles) du fonctionnement à feux induisent un temps de réactivité du carrefour qui est défavorable par rapport à un fonctionnement par priorité. Des véhicules pourront attendre quelques secondes au rouge dans un carrefour vide le temps que le feu passe au vert</p> <p>Pour autant cette gêne ne sera aucunement responsable d'un risque de congestion.</p>
Bilan	<p>L'enjeu est -il de modifier le changement actuel de la place pour finalement prendre le risque de changer les habitudes des usagers ?</p>	<p>Une requalification totale de la voirie sur l'ensemble du carrefour. Une efficacité difficile à mesurer puisqu'elle dépendra de la bonne adhésion des usagers aux règles imposées par de la signalisation verticale. Peu de possibilité d'une modification à posteriori.</p>	<p>Un aménagement aisément estimable puisque uniquement centré sur la pose de SLT</p> <p>Une efficacité future validée par les calculs théoriques mais qui reste facilement adaptable si besoin (changement de la programmation)</p>

PRÉCONISATION 3

GESTION DES FLUX SUR LA RD25

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

4 ALTERNATIVES DÉCOULANT DES CHOIX D'AMÉNAGEMENT AREP

La RD25 porte un transit notable mais elle est également une interface avec le trafic généré par la gare (flux bus et flux accès parking gare).

Cette fonction sera modifiée demain avec le projets de requalification de la gare:

- Concentration de l'offre de stationnement sur un seul et unique parking relais,
- Ouverture d'une nouvelle branche sur l'intersection RD25xRD35 pour assurer une boucle de desserte bus sur l'actuelle place de la gare.

Deux questions restent cependant à élucider:

- Le mode de gestion du carrefour
Maintien d'un giratoire ou carrefour à feux 4 branches
- L'emplacement de la sortie parking
 - Entrée/Sortie sur une même intersection
 - Sortie se faisant sur la voie de sortie bus

Scénario 1

Rond-point et accès parking en commun géré par feux

Scénario 2

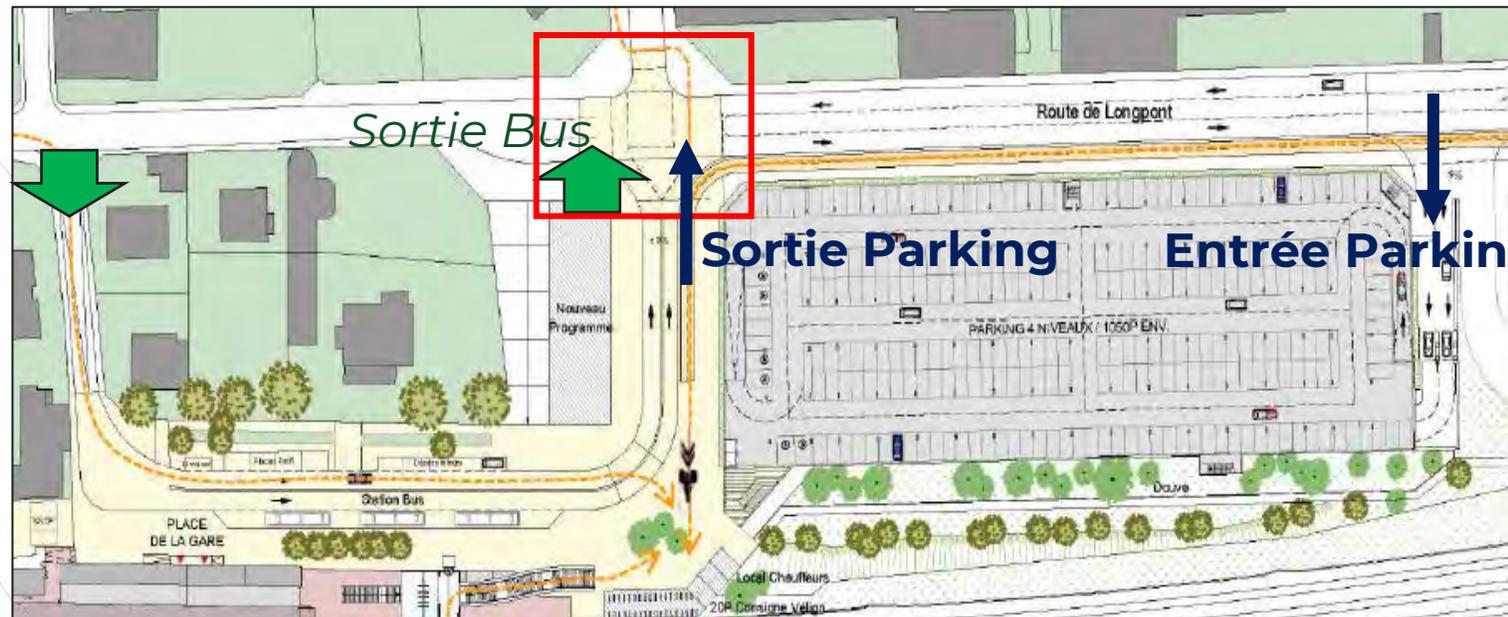
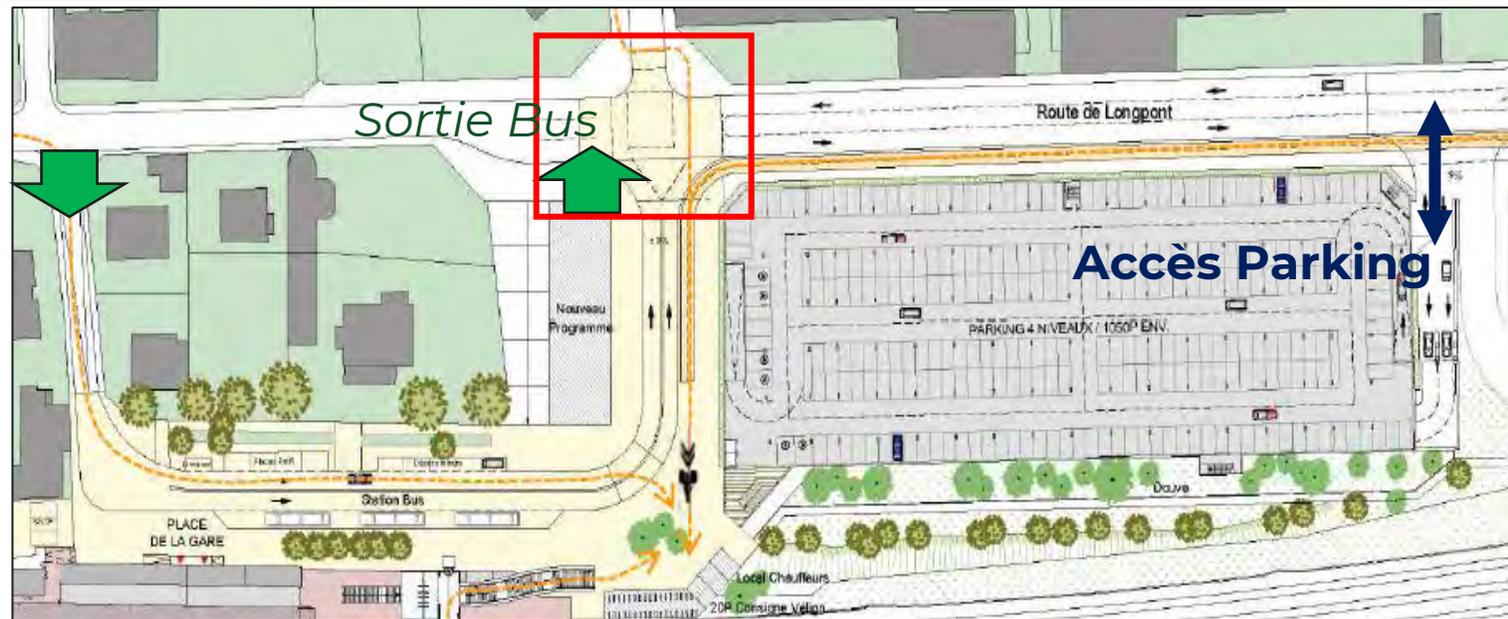
Rond-point avec sortie parking+ bus

Scénario 3

Carrefour à feux et accès parking en commun géré par feux

Scénario 4

Carrefour à feux avec sortie parking+ bus

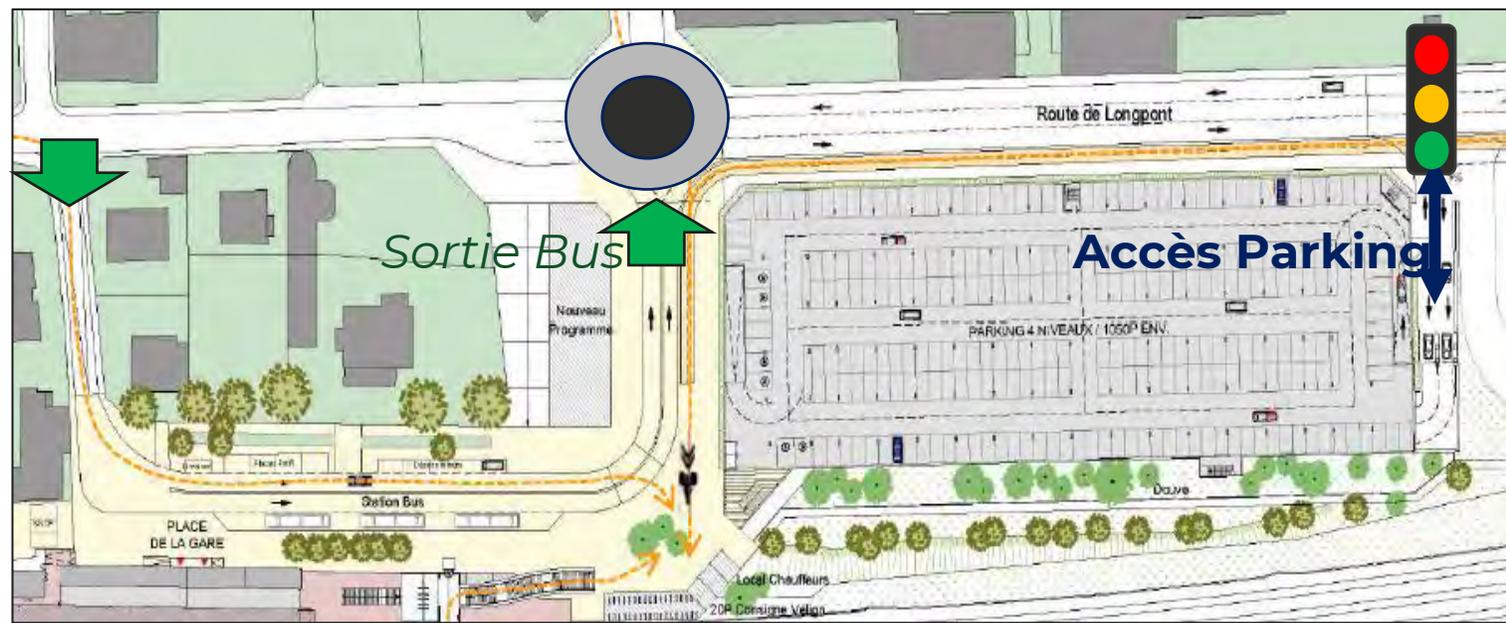


PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

SCÉNARIO 1

Dans ce premier scénario:

- **L'intersection RD25xRD35 reste un giratoire**, seule une 4^{ème} branche est rajoutée.
- La desserte bus s'organise en entrée comme actuellement et **la sortie se fait sur la nouvelle branche**.
- **L'accès au parking gare se fait au droit d'un accès unique** (entrée/sortie) dissocié du giratoire comme actuellement.
Le carrefour est géré par feux pour assurer l'écoulement des sorties parking. Les entrées s'écoulent en créneau grâce à la présence d'une voie de stockage.



C'est le scénario qui se rapproche le plus de l'état existant

Répartition des trafics:

- Le giratoire subit une légère augmentation du trafic induite par la nouvelle branche. Cette dernière est aisément absorbée par le giratoire
- L'accès parking subit une hausse notable du mouvement de tourne-à-gauche et en sortie induite par la concentration de tous le stationnement sur un même site. Une reprogrammation du fonctionnement actuel suffit pour écouler ce trafic
 - Ajout d'un décalage à la fermeture (A l'HPM seulement)
 - Augmentation du temps de vert sur le feu en sortie de parking (à L'HPS seulement).

Avantages:

L'écoulement du transit est satisfaisant. Le giratoire parvient à bien écouler les importants mouvements de tourne-à-gauche qui s'exercent entre la RD25 Ouest et la RD35 Dr Pinel. Peu d'évolution par rapport à l'existant en terme de travaux. Il s'agit d'une solution économique.

Inconvénients:

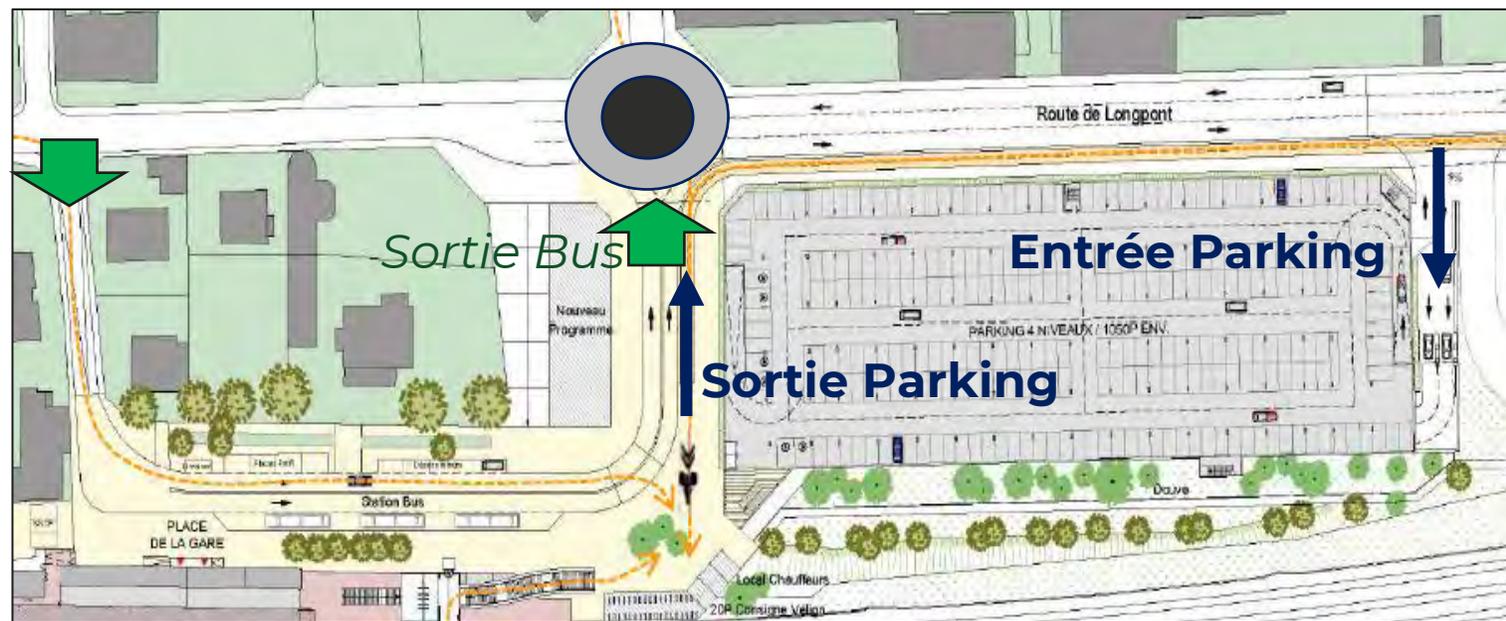
Le carrefour giratoire n'assure pas des traversées piétonnes sécurisées. L'aménagement conserve un aspect routier prédominant

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

SCÉNARIO 2

Dans ce second scénario:

- **L'intersection RD25xRD35 reste un giratoire**, seule une 4^{ème} branche est rajoutée.
- La desserte bus s'organise en entrée comme actuellement et **la sortie se fait sur la nouvelle branche**.
- **L'accès au parking gare est dissocié**
La sortie Parking se fait directement sur le giratoire, Les entrées s'écoulent en créneau grâce à la présence d'une voie de stockage.



Ce scénario retire l'utilité d'un carrefour à feux mais cumule tous le trafic bus+sortie parking sur la nouvelle branche du giratoire

Répartition des trafics:

- Le giratoire subit une forte augmentation du trafic induite par la nouvelle branche. Cette dernière est absorbée, **non sans contraintes**, par le giratoire
- Au droit de l'entrée parking, le flux qui arrivent du Pont de la Fouille bénéficie d'une longue voie de stockage pour attendre un créneau pour accéder au parking. La rencontre avec la piste cyclable n'est pas sécurisée.

Avantages:

On concentre tous les flux sortants sur la 4^{ème} branche du giratoire. Le giratoire est le seul point où du trafic généré par la gare s'insère sur la RD25. Le régime de priorité du giratoire permet de conserver la priorité dans l'écoulement des mouvements tournant RD25<>RD35 qui sont les plus volumineux.

Inconvénients:

L'aménagement conserve un aspect routier prépondérant avec un carrefour giratoire qui subit un important volume de trafic. Le carrefour giratoire n'assure pas des traversées piétonnes sécurisées. Solution économique.

La branche RD25 le Perray subit une baisse notable des réserves de capacité. Elles ne sont que de 10% dans une prévision HPM future.

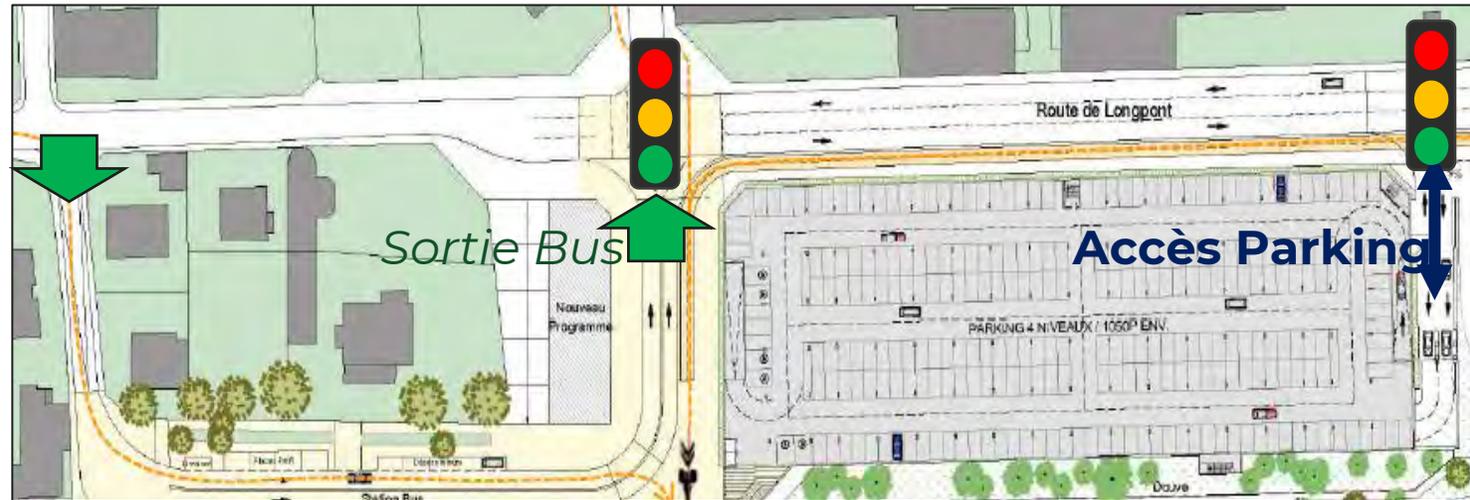
PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

SCÉNARIO 3

Dans ce troisième scénario:

- L'intersection RD25xRD35 est transformée en un carrefour à feux 4 branches.
- La desserte bus s'organise en entrée comme actuellement et **la sortie se fait sur la nouvelle branche.**
- L'accès au parking gare se fait au droit d'un accès unique (entrée/sortie) dissociée du giratoire comme actuellement.
Le carrefour est géré par feux pour assurer l'écoulement des sorties parking comme actuellement. Les entrées s'écoulent en créneau grâce à la présence d'une voie de stockage.

Le scénario n'est pas acceptable. On vient saturer le carrefour



Répartition des trafics:

- Le carrefour à feux RD25xRD35 doit gérer l'écoulement d'un important mouvement de tourne-à-gauche RD25 Ouest vers RD35. Cela implique inéluctablement la mise en place d'une voie de stockage sur la branche Ouest et **d'un fonctionnement en 4 phases peu optimal** en terme de capacité
 - Phase 1 : RD25 Est et Ouest suivie en phase 2 d'un très long décalage à la fermeture pour favoriser l'écoulement du TAG RD25Ouest vers Pinel
 - Phase 3 : Ecoulement du flux depuis la RD35
 - Phase 4 (sur appel) : Ecoulement de la sortie bus sur appel.
- L'accès parking subit une hausse notable du mouvement de tourne-à-gauche et en sortie induite par la concentration de tous le stationnement sur un même site. Une reprogrammation du fonctionnement actuel suffit pour écouler localement ce trafic.
 - Ajout d'un décalage à la fermeture + Augmentation du temps de vert sur le feux en sortie de parking

Avantages:

La présence de deux carrefours à feux permet un contrôle total des flux et sécurise l'écoulement des modes doux et cyclables

Inconvénients:

Le carrefour à feux RD25xRD35 présente un fonctionnement laborieux, lourdement pénalisé par la nécessité d'écouler un important mouvement de TAG. S'ajoute 140 m plus loin un second carrefour à feux que l'on ne pourra synchroniser au premier. Tous deux sont en effet animés par des phases sur appel ou adaptatives. Il y'a un risque d'accentuer les files d'attentes dès lors que « les carrefours sont trop désynchronisés ».

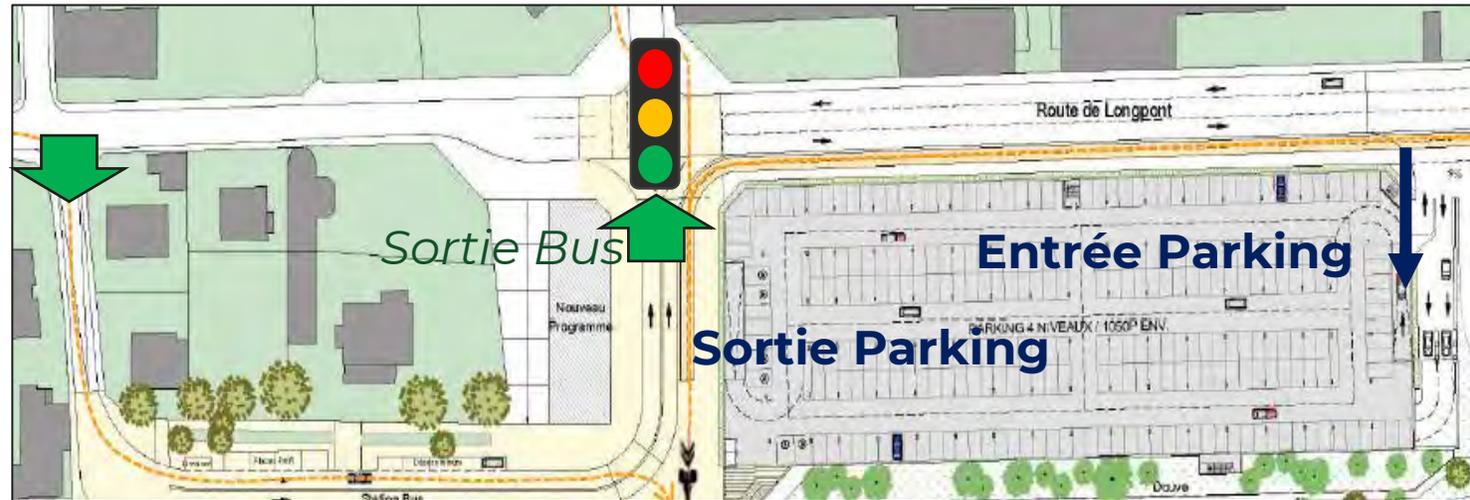
PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

SCÉNARIO 4

Dans ce quatrième scénario:

- L'intersection RD25xRD35 est transformée en un carrefour à feux 4 branches.
- La desserte bus s'organise en entrée comme actuellement et la sortie se fait sur la nouvelle branche.
- L'accès au parking relai est dissocié
La sortie Parking se fait directement sur le carrefour à feux
Les entrées s'écoulent en créneau grâce à la présence d'une voie de stockage.

Il s'agit d'une légère variante de scénario 3 mais qui reste insatisfaisante en raison d'une gestion en 4 phases du carrefour RD25xRD35



Répartition des trafics:

- Le carrefour à feux RD25xRD35 doit gérer l'écoulement d'un important mouvement de tourne-à-gauche RD25 Ouest vers RD35; Cela implique inéluctablement la mise en place d'une voie de stockage sur la branche Ouest **et d'un fonctionnement en 4 phases** peu optimal en terme de capacité:
 - Phase 1 : RD25 Est et Ouest suivie en phase 2 d'un très long décalage à la fermeture pour favoriser l'écoulement du TAG RD25Ouest vers Pinel
 - Phase 3 : Ecoulement du flux depuis la RD35
 - Phase 4 (sur appel) : Ecoulement de la sortie bus + sortie parking

La différence par rapport au scénario 3 est que le carrefour va subir davantage de situation d'appel de la phase 4 car cette dernière sera également associée au mouvement de sortie des véhicules du parking. Des temps de vert davantage utilisés par cette ph 4 et qui seront en moins pour le transit.

Avantages:

On concentre tous les flux sortants sur la seule sortie bus. Le giratoire est le seul point où du trafic généré par la gare s'insère sur la RD25. Les traversées piétonnes sont sécurisées grâce au carrefour à feux. Par rapport au scénario 3, on concentre un flux plus important en carrefour mais on évite des nuisances externes induites par l'effet de promiscuité entre deux carrefours SLT non synchronisable.

Inconvénients:

Le carrefour à feux RD25xRD35 présente un fonctionnement laborieux, lourdement pénalisé par la nécessité d'écouler un important mouvement de TAG. La 4^{ème} phase sur appel est davantage utilisée car elle doit écouler, en plus des bus, le flux en en sortie de parking

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

SCÉNARIO 5

Si la gestion par feux veut malgré tout être mise en place, il est possible d'envisager une alternative qui doit néanmoins exiger **un changement de sens des bus sur le parvis de la gare**

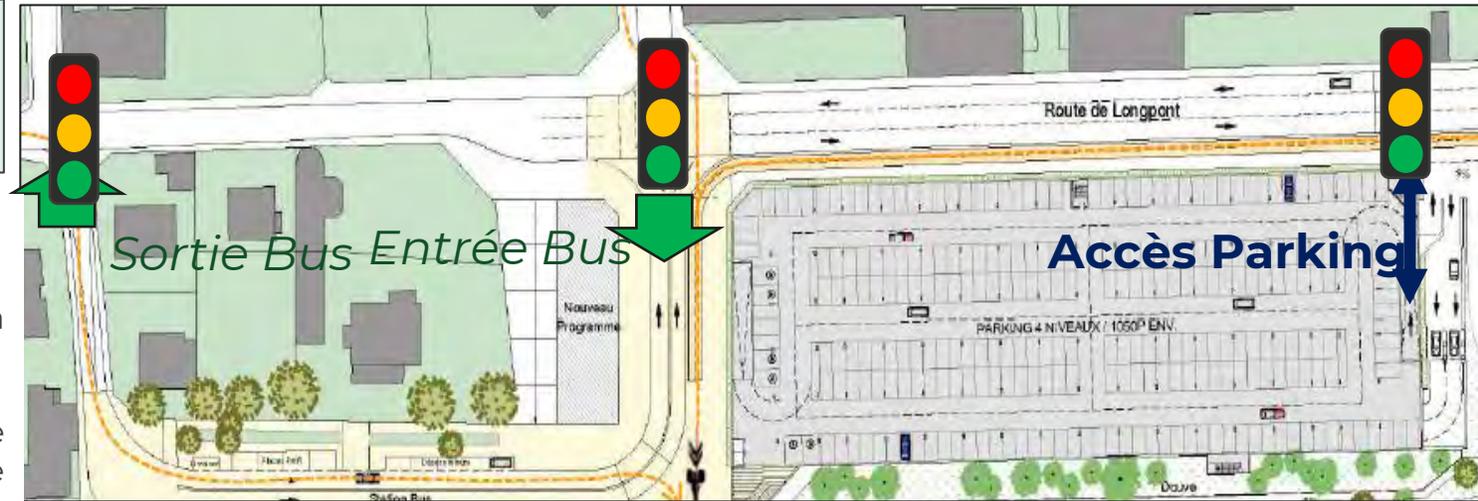
Dans ce cinquième scénario:

- Les bus accèdent à la gare bus par le carrefour
- Les bus sortent par l'intersection avec l'actuelle rue de la Place de la Gare

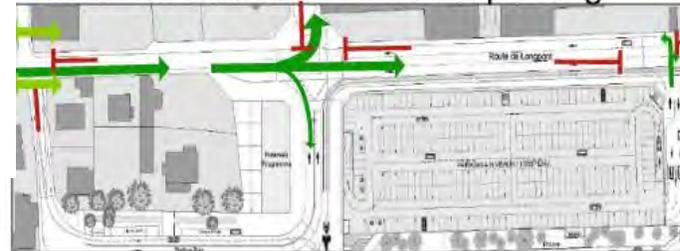
Ce changement de sens permet au carrefour RD35xRD25 de fonctionner selon un cycle de 3 phases qui conserve une phase spéciale pour le TAG RD25 Ouest vers RD35.

Ce changement permet d'envisager un fonctionnement global structuré autour des 3 sous-carrefours.

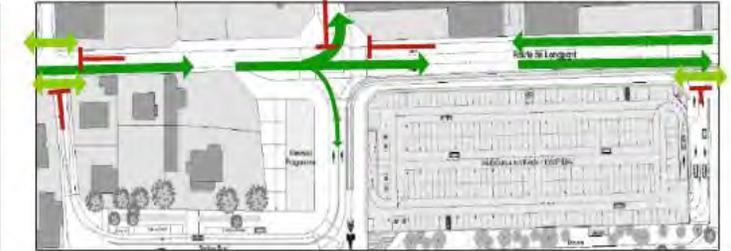
Après analyse des réserves de capacité, ce fonctionnement en 3 phases ne permet pas l'écoulement des trafics actuellement observés aux heures de pointe.



Phase 1a: D25Ouest + sortie parking



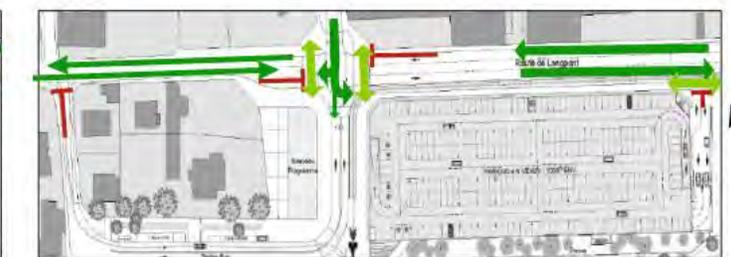
Phase 1b: D25Ouest



Phase 3: D25 Est + sortie bus + entrée parking



Phase 2: D35 Pinel



PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

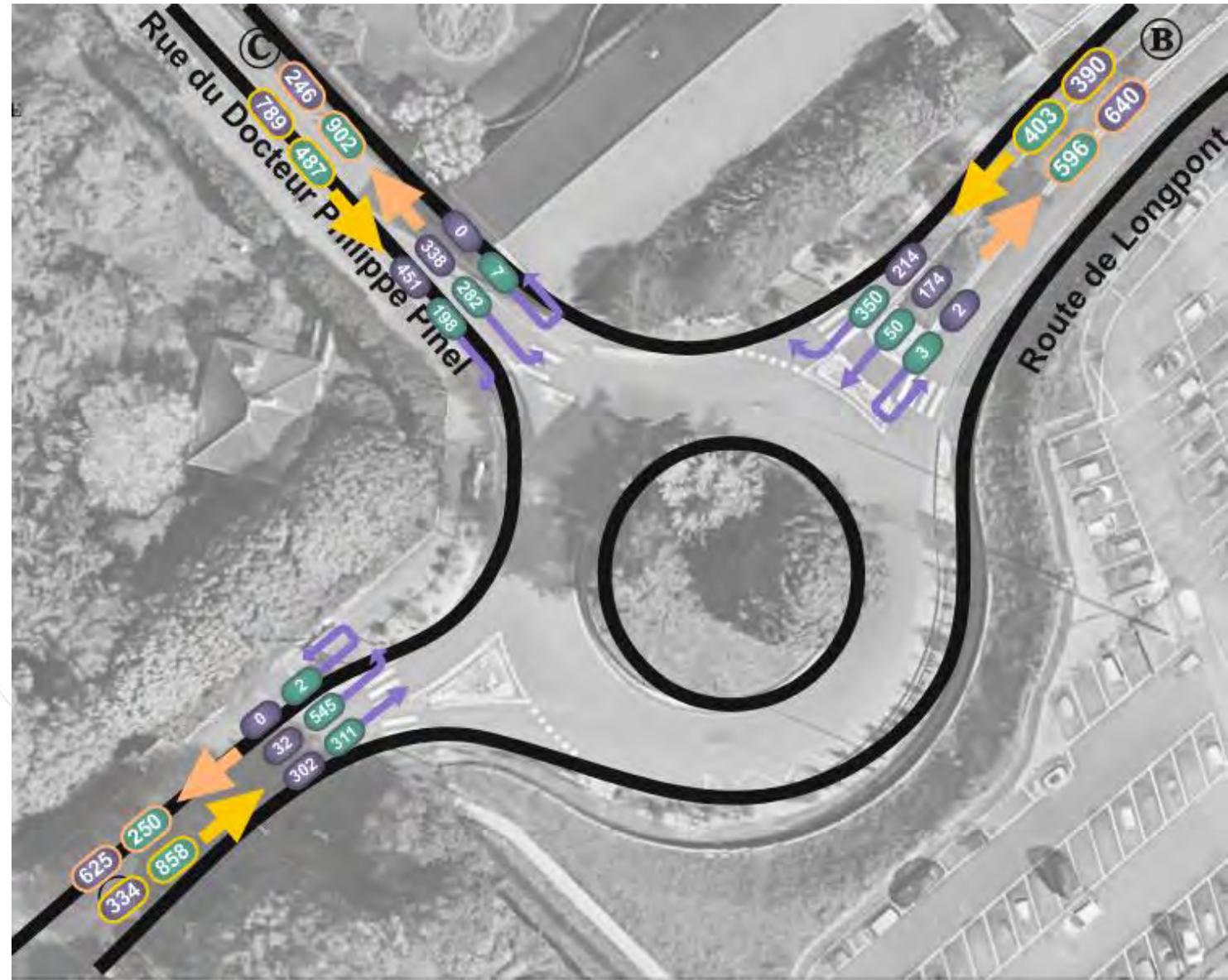
BILAN: LE CARREFOUR GIRATOIRE RESTE EN L'ÉTAT LA MEILLEURE SOLUTION

- **La gestion des flux par un carrefour à feux est assurément le mode le plus adapté à un environnement** urbain où se rencontre différents flux: les traversées douces sont sécurisées, les temps de vert sont adaptables à l'écoulement de chaque flux.
- Malheureusement, dans le cas présent, **l'existence d'importants mouvements tournants est un élément très défavorable à la mise en place d'une gestion par feux optimale**:
 - A l'HPM, 545 uvp/h effectuent le mouvement RD25 Ouest vers Perray.
 - **Un tel mouvement de TAG ne peut s'écouler en créneau et doit donc bénéficier d'une phase spéciale**, sans contrainte vis-à-vis du flux antagoniste en provenance de la RD25 Est (depuis Pont de la Fouille)
 - Rapidement, on arrive sur un fonctionnement en 4 phases très contraint en terme de temps perdu et en difficulté pour écouler un tel niveau de trafic. **Un fonctionnement en 4 phases qui va induire plus de congestion par rapport à l'existant.**
- **Le carrefour giratoire a, dans le cas présent, un gros avantage** car son fonctionnement a naturellement la capacité de prioriser le mouvement tournant (qui se trouve dans l'anneau) vis-à-vis du flux antagoniste. De plus, le carrefour giratoire n'est pas soumis à des temps réglementaires (incompressibles) ce qui limite les temps perdus:
 - Oui, le giratoire présente une dimension routière davantage marquée. Les flux piétons y sont relégués à un second plan.
 - Mais, au regard de la situation en présence, l'écoulement du transit doit rester au premier plan car un risque important de file d'attente peut être observé. Un risque pouvant découler sur des situations de tension auxquelles ne pourront pas d'ailleurs échapper les piétons et cyclistes qui se retrouveront, eux aussi, dans un carrefour bloqué.
- **Pour ce qui est enfin de la gestion des accès du parking**, la dissociation de la sortie a l'avantage d'enlever la nécessité d'un carrefour à feux puisque les entrées seules peuvent s'écouler en créneau grâce à la longue voie de stockage. L'inconvénient est que l'on vient concentrer sur la nouvelle branche du carrefour RD25xRD35 les sorties bus +les sorties parking.
 - La mise en place de deux carrefours à feux risque de poser des problèmes car, au regard de leurs promiscuités et de l'impossibilité de les synchroniser, des perturbation parasites dans l'écoulement des flux sont à prévoir et pénaliser davantage le carrefour à feux RD25xRD35 par une remontée de file en sortie Ouest.

Ordre	Scénario	Points positifs	Points négatifs
1	<p>Scénario 1 RD25XRD35 sur giratoire Entrées/sorties parking sur carrefour à feux dissocié</p> <p>Similaire à l'existant</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Solution la plus économique en travaux -Le giratoire a une faible évolution du trafic par rapport à l'existant -Les entrées/sorties parking bénéficient d'un écoulement sécurisé par le feu 	<ul style="list-style-type: none"> -Présence d'un carrefour à feux à proximité du giratoire avec un risque d'interférences -Pas de prise en compte des mobilités douces -Sorties bus contraintes en giratoire -Entrées bus contraintes sur le mouvement de TAG
2	<p>Scénario 2 RD25XRD35 sur giratoire Sortie parking sur giratoire</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Tous les flux en conflits sont gérés par le giratoire -Les entrées parking n'impliquent pas de carrefour à feux 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas de prise en compte des mobilités douces -Sorties bus contraintes en giratoire -Entrées bus contraintes sur le mouvement de TAG -Sorties Parking sur giratoire
3	<p>Scénario 5 Gestion par feux sur 3 carrefours Changement du sens de circulation bus</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Gestion totale de tous les flux par feux -Intégration des traversées douces -Les entrées/sorties bus sont sans conflits -Les entrées/sorties parkings sont sans conflits 	<p>-Saturation totale du carrefour</p>
4	<p>Scénario 4 RD25XRD35 sur feux Sortie bus sur le carrefour Sortie parking sur le carrefour</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Tous les flux en conflits sont gérés par le carrefours -Les entrées parking n'impliquent pas de carrefour à feux 	<p>-Saturation totale du carrefour</p>
5	<p>Scénario 3 RD25XRD35 sur feux Sortie bus sur le carrefour</p> <p>Accès parking sur un carrefour à feux dissocié</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Le carrefour a une faible évolution du trafic par rapport à l'existant -Les entrées/sorties parking bénéficient d'un écoulement sécurisé par le feu -Les entrées/sorties parking bénéficient d'un écoulement sécurisé par le feu 	<p>-Saturation totale du carrefour</p>

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

ANNEXE : RAPPEL DES TRAFICS ACTUELS SUR LE CARREFOUR RD25XRD35



PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

ANNEXE : RÉSERVES DE CAPACITÉ D'UN CARREFOUR 4 PHASES

Un fonctionnement par carrefour à feux en 4 phases tel qu'imaginé en scénario 4 et 3 n'a aucune chance d'aboutir à un état fluide en heures de pointe. Les niveaux de trafics par phases sont trop importants

Phase	Signal	Entrée	Mouvements	Coefficients	Trafics (uvp/h) (comptages)		Voies	Trafics (uvpd / h / file)		Trafics cycle	max par (uvpd/file)	Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée		Réserve de capacité		
					HPM	HPS		Nbre	HPM			HPS	Perdus		Vert		HPM	HPS	HPM	HPS
													Jaune	R: Dégag	HPM	HPS				
1	F1	RD25 Est	TAD	1,1	350	214	1	435	409	19	20	3	3	28	23	480	342	10%	-16%	
			Dir	1,0	50	174														
			TAG	1,1																
2	F2	RD25 Ouest	TAD	1,1			1	911	337	35	17	3	3	25	26	429	387	-53%	15%	
			Dir	1,0	311	302														
			TAG	1,1	545	32														
3	F2	RD35 Dr Pinel	TAD	1,1	198	451	1	528	868	22	38	3	3	22	42	377	625	-29%	-28%	
			Dir	1,0																
			TAG	1,1	282	338														
4	F3	Sortie Bus	TAD	1,1	20	20	1	64	64	4	5	3	3	6	6	103	89	61%	39%	
			Dir	1,0	20	20														
			TAG	1,1	20	20														
		Carrefour						Charge du carrefour		Débit de saturation de référence		Durée de cycle		Capacité du carrefour		-28%	-14%			
		E DU DOCUM						1938	1679	1800	1800	105	121	1389	1443					

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

ANNEXE : RÉSERVES DE CAPACITÉ D'UN CARREFOUR 3 PHASES

Le scénario 5 permettait d'envisager un fonctionnement SLT plus souple, en 3 phases « seulement »

Malheureusement, les trafics par phases sont trop importants et ne peuvent tenir sur un fonctionnement en 3 phases.

Phase	Signal	Entrée	Mouvements	Coefficients	Trafics (uvp/h) (comptages)		Voies	Trafics (uvpd / h / file)		Trafics cycle	max par (uvpd/file)		Temps (secondes)				Capacité théorique par entrée		Réserve de capacité		
					HPM	HPS		Nbre	HPM		HPS	HPM	HPS	Perdus		Vert		HPM	HPS	HPM	HPS
														Jaune	R. Dégag.	HPM	HPS				
1	F1	RD25 Est	TAD	1,1	350	214	1	490	464	16	20	3	3	19	24	630	380	29%	-18%		
			Dir	1,0	50	174								28	23						
			TAG	1,1	50	50															
2	F2	RD25 Ouest	TAD	1,1	50	50	1	966	392	29	18	3	3	29	20	270	429	-72%	9%		
			Dir	1,0	311	302								12	26						
			TAG	1,1	545	32															
3	F2	RD35 Dr Pinel	TAD	1,1	198	451	1	578	918	19	37	3	3	18	47	495	694	-14%	-24%		
			Dir	1,0	50	50								22	42						
			TAG	1,1	282	338															
		Carrefour						Charge du carrefour	Débit de saturation de référence				Durée de cycle		Capacité du carrefour						
								2034	1800				80		1395		-31%	-15%			
								1775	1800				109		1503						

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

ANNEXE : RÉSERVES DE CAPACITÉ ACTUELLES GIRATOIRE

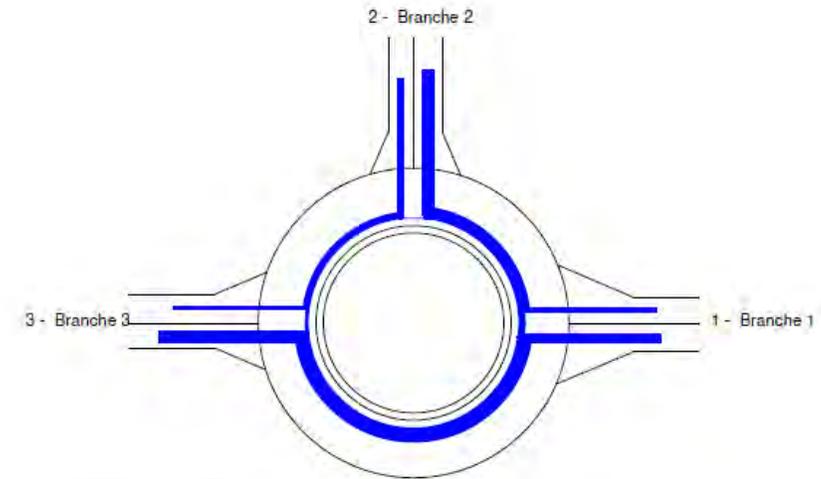
En l'état actuel, les réserves de capacités sont bonnes à l'heure de pointe du matin dimensionnante.

La branche la plus contrainte est la branche RD25 le Perray à l'HPM

La réserve de capacité la plus contrainte est donc de 42% ce qui reste excellent et démontre d'un risque mesuré de congestion (hors hyperpointe ponctuelles)

Trafic Véhicules Mode UVP

	1	2	3	Total Entrant
1	3	350	50	403
2	282	7	198	487
3	311	545	2	858
Total Sortant	596	902	250	1748



Branche Branche 1

Périodes de trafic	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente total	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	
HPM	754	65%	0vh	3vh	2s	0,3h
HPS	1532	80%	0vh	2vh	0s	0,0h

Branche Branche 2

Périodes de trafic	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente total	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	
HPM	1369	74%	0vh	2vh	0s	0,1h
HPS	845	52%	0vh	3vh	1s	0,3h

Branche Branche 3

Périodes de trafic	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente total	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	
HPM	621	42%	1vh	4vh	2s	0,6h
HPS	1051	76%	0vh	2vh	1s	0,1h

PRÉCONISATION 3: GESTION DES FLUX RD25

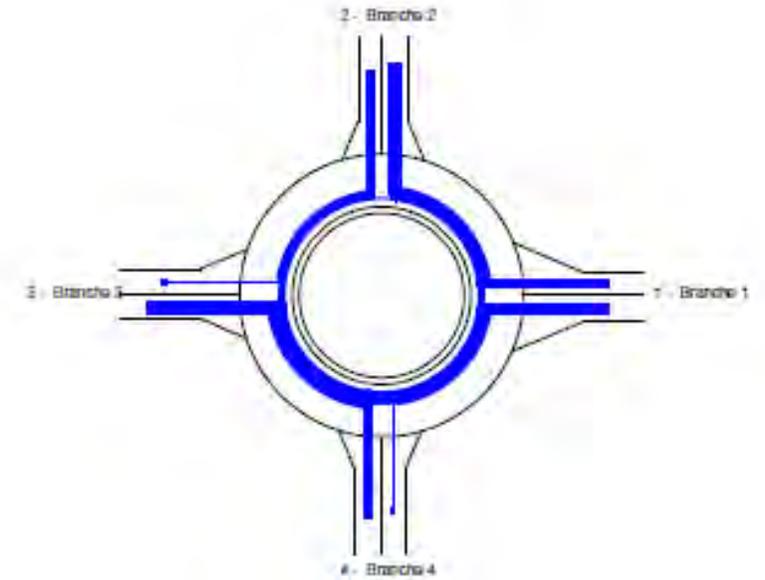
ANNEXE : RÉSERVES DE CAPACITÉ ACTUELLES GIRATOIRE

Le scénario 1 qui prévoit juste l'embranchement de la sortie bus permet au giratoire de conserver un fonctionnement normal.

Dans le scénario 2, la 4^{ème} branche sert également de voie de sortie parking.

Pour ce scénario, la branche 3 (RD25 Le Perray) a une réserve de capacité limite de 10% seulement.

	1	2	3	4	Total Entrant
1	3	350	50	225	628
2	282	7	198	114	601
3	311	545	2	106	964
4	77	68	0	0	145
Total Sortant	673	970	250	445	2338



Résultats

	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente	
	en vvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	total
Branche 1	454	42%	1vh	4vh	4s	0,7h
Branche 2	842	58%	0vh	3vh	2s	0,3h
Branche 3	107	10%	5vh	18vh	19s	5,2h
Branche 4	489	77%	0vh	3vh	5s	0,2h

Rapport d'étude acoustique

Mission de réalisation d'étude d'impact acoustique

ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SUR L'AMENAGEMENT DU PÔLE GARE DE SAINTE-GENEVI EVE-DES-BOIS

Contact / Mandataire	BURGEAP 143 avenue de Verdun 92130 ISSY-LES-MOULINEAUX www.burgeap.fr
Numéro de dossier	R2021-0903-1615
Indice	I2
Contacts Arundo Acoustique	Pierre WOILLARD - Nicolas HERO 0612604344 - 0682589917 contact@arundo-acoustique.com

Ce rapport comprend 24 pages (annexes incluses)

Fait à Paris, le 02/10/2024



Sommaire

Présentation.....	3
Généralités.....	3
Cadre réglementaire et normatif.....	4
Quelques rappels sur le bruit.....	5
Mesures de niveaux sonores dans l'environnement.....	8
Contexte.....	8
Analyse du site.....	8
Emplacement des mesurages.....	9
Résultats de mesures : Niveaux sonores ferroviaires.....	10
Résultats de mesures : Niveaux sonores routiers.....	12
Modélisation Acoustique.....	13
Cartographies.....	16
Mesures compensatoires sur les nouveaux bâtiments.....	22
Bruit de chantier.....	23
Annexe 1 : Matériel métrologique utilisé pour les mesurages.....	26
Annexe 2 : fiches de mesures.....	27
POINT 1 FER.....	27
POINT 1 ROUTIER.....	28
POINT 2.....	29
POINT 3.....	30
Glossaire.....	31

Présentation

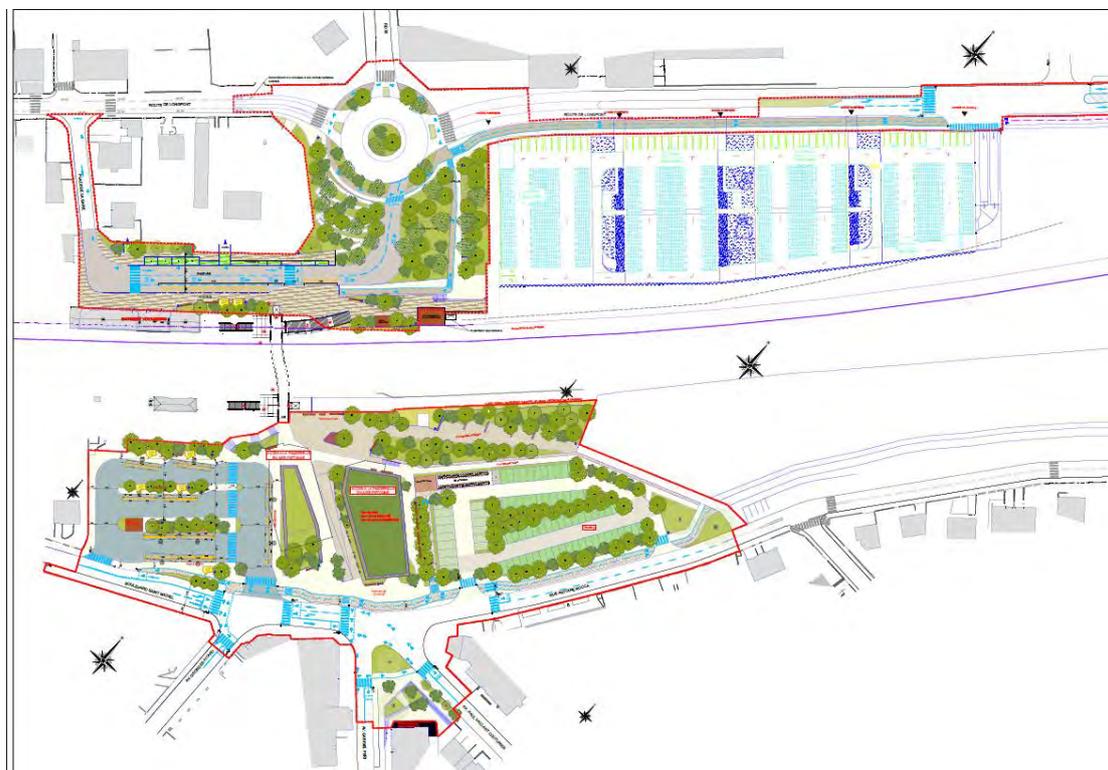
Généralités

Dans le cadre de la mission de réalisation des études de cas environnementales pour le projet **d'aménagement du pôle gare de Sainte Geneviève des Bois**, Arundo Acoustique a été sollicité pour la réalisation d'une mission acoustique.

La mission consiste en :

- Un constat initial in situ par des mesures acoustiques ;
- Une modélisation et simulation de bruit ;
- **L'impact du projet sur l'environnement avec une** analyse réglementaire sur les bâtiments neufs et existants ainsi que les mesures compensatoires

Le projet concerne **l'aménagement de la gare à Sainte Geneviève des Bois** :



Projet

Cadre réglementaire et normatif

L'étude prendra en compte les textes réglementaires et normes suivants :

Isolement de façade des constructions neuves :

- Arrêté Ministériel du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit ;
- Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit
- Arrêté préfectoral portant sur le classement des infrastructures terrestres sur la commune de Sainte Geneviève des Bois

Impact des voies nouvelles sur les bâtiments existants :

- Code de l'environnement R571-32 à 43 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et modifiant le Code de l'urbanisme et le Code de la construction et de l'habitation
- Code de l'environnement R571-44 à 52 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres,
- Arrêté du 5 mai 1995 : relatif au bruit des infrastructures routières nouvelles, détermination des niveaux sonores maximaux admissibles en fonction de la nature des locaux et de la zone d'ambiance sonore (modérée ou non modérée) ;

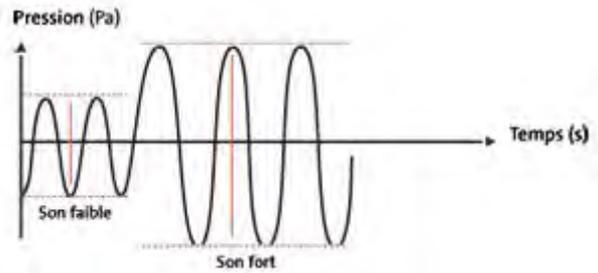
Norme de mesurage :

- Norme NFS31-010 relative à la caractérisation des bruits de l'environnement extérieur ;

Quelques rappels sur le bruit

Définition

Le bruit est une variation de pression autour de la pression atmosphérique.



Le bruit est caractérisé par :

- **L'intensité (son plus ou moins fort, exprimé en dB(A))**
- La fréquence (son plus ou moins aigu et notion de timbre)
- **La durée d'apparition.**

Notion de gêne

La gêne subjective est affaire d'individu, de situation, de lieu, de durée, etc. toutefois, on admet généralement qu'il y a gêne lorsque le bruit perturbe les activités habituelles (écoute de la télévision ou de la radio / sommeil / conversation / travail).

Le décibel

La pression sonore s'exprime en pascal. L'oreille humaine perçoit des sons à partir de 20 micro pascals (seuil d'audibilité) et jusqu'à 20 pascals (seuil de la douleur). Cette unité est peu pratique, c'est pourquoi les acousticiens ont défini une nouvelle unité : le décibel (dB), qui permet de comprimer cette gamme entre 0 (seuil d'audibilité) et 130 (seuil de la douleur). Le décibel représente la plus petite variation de l'air d'intensité sonore perceptible par l'oreille humaine.

Le décibel est également utilisé pour caractériser les performances acoustiques des produits et des ouvrages de bâtiment, comme par exemple l'indice d'affaiblissement acoustique d'un produit ou bien l'isolement acoustique entre logements. Plus la valeur de ces caractéristiques, exprimée en dB, est grande, meilleure est la performance.

Les décibels sont des logarithmes, on ne peut donc pas les additionner ou les soustraire comme des nombres décimaux.

- si le niveau du bruit double, le niveau augmente de 3 dB.
- **s'il diminue de moitié, le niveau sera de 3 dB de moins.**

Afin de connaître le niveau global de bruit émis par plusieurs sources en même temps, deux règles s'appliquent:

Pour des bruits de niveaux équivalents

$$50 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 53 \text{ dB}$$

Pour des bruits de niveaux très différents

$$20 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 50 \text{ dB}$$

Si deux niveaux de bruit sont émis simultanément par deux sources sonores, et si le premier est au moins supérieur de 10 dB(A) par rapport au second, le niveau sonore résultant est égal au plus grand des deux. Le bruit le plus faible est alors masqué par le plus fort.

L'échelle du bruit s'étend du seuil d'audibilité (0 dB théorique) à 130 dB (seuil de la douleur). La plupart des sons de la vie courante sont compris entre 30 et 90 décibels. On trouve des niveaux supérieurs à 90 dB essentiellement dans la vie professionnelle (industrie, armée, artisanat...) et dans certaines activités de loisirs (chasse, musique, sports mécaniques). Les discothèques et salles de concert ont, quant à elles, un niveau sonore maximal autorisé de 105 dB(A). Certaines sources (avions, fusées, canons) émettent des niveaux supérieurs à 130 dB et pouvant aller jusqu'à 200 dB.

Echelle de bruit :

Niveaux sonores	Bruit lié à la parole	Bruits courants	Bruit de circulation	Zone
30 dB(A) - 45dB(A)	Je chuchote	Appartement calme	Rue très calme, rue résidentielle	Très calme
45 dB(A) - 50dB(A)		Bureau calme	Rue très calme, rue résidentielle	Très calme
50dB(A) - 55dB(A)		Lave-vaisselle	Rue calme	Calme
55 dB(A) - 60dB(A)	Je parle	Robinet ouvert au maximum	Rue avec légère circulation	Moyennement bruyante
60dB(A) - 65dB(A)		Grands magasins	Rue avec circulation	Moyennement bruyante à Bruyante
65 dB(A) - 70dB(A)		Téléviseur	Rue à fort trafic	Bruyante
70dB(A) - 75dB(A)		Aspirateur	Rue à très fort trafic	Très bruyante
> 75 dB(A)	Je crie	Tondeuse, klaxon	Autoroute, passage de train	Très bruyante

Indice réglementaire L_{Aeq}

Le bruit de la circulation fluctue au cours du temps et la mesure instantanée (au passage d'une voiture, et de trains) ne suffit pas à caractériser le niveau d'exposition des personnes.

Les enquêtes et études menées ces vingt dernières années dans différents pays ont montré que c'est le cumul de l'énergie sonore reçue par un individu qui constitue l'indicateur le plus représentatif des effets du bruit sur l'homme et, en particulier, de la gêne issue du bruit de trafic. Ce cumul est traduit par le niveau énergétique équivalent noté L_{Aeq} sur une période de référence jour (6h-22h) ou nuit (22h-6h).

Les indices L_{Aeq} (6h-22h) et L_{Aeq} (22h-6h) correspondent à la moyenne de l'énergie cumulée sur les périodes (6h-22 h) et (22h-6h) pour l'ensemble des bruits observés.

Effets sur la santé

La surdité peut apparaître chez les individus si l'exposition à un bruit intense a lieu de manière prolongée.

Etant donné que les niveaux sonores mesurés chez les personnes physiques habitant le long d'une voie ferrée ou d'une route sont généralement très en dessous des niveaux reconnus comme étant dangereux pour l'appareil auditif, il n'y a pas de risque de surdité.

Cependant, le bruit peut perturber le sommeil nocturne en fonction de son intensité, de sa répétition, de **l'émergence (différence entre le niveau sonore maximum et le niveau de bruit de fond).**

Le bruit nocturne et la perturbation du sommeil peuvent induire une modification de la qualité de vie de la journée suivante ou une diminution des capacités de travail lors de cette même journée.

La réalisation de certaines tâches exige une forte concentration et peut être perturbée par un environnement sonore trop important. Cette g ne peut se traduire par un allongement de la durée **d'exécution de la tâche, une moindre qualité de celle-ci** ou une impossibilité à la réaliser.

Le bruit (par sa répétition et son intensité) peut également engendrer du stress.

Il est également probable que les personnes agressées par le bruit deviennent plus vulnérables à l'action d'autres facteurs de l'environnement.

Mesures de niveaux sonores dans l'environnement

Contexte

Les mesures de bruit ont été réalisées du 2 au 3 juin 2022 par M. Nicolas Hero, Acousticien

Elles ont été réalisées conformément aux prescriptions de la norme NFS31-010 relative à la **caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement**.

Les fiches de mesurage sont situées en annexe.

Analyse du site

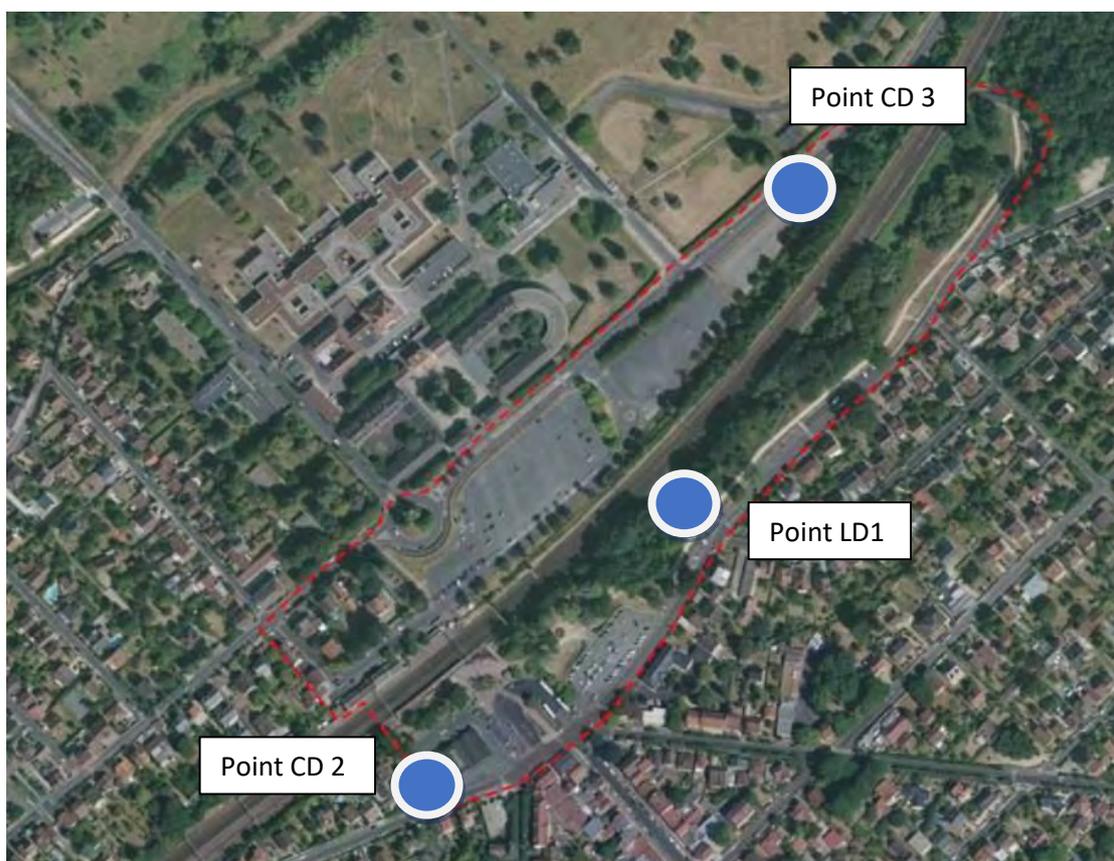
Les infrastructures pouvant impacter le site au niveau du bruit sont les suivantes :

- la voie ferrée,
- le bd saint Michel et la rue Antoine Rocca,
- la route de Longpont D25,

Emplacement des mesurages

Le constat sonore consiste en 3 points de mesures. (Points de mesure courtes durées notés CD de 30 minutes minimum et point LD de 24h)

Le plan ci-dessous montre l'emplacement des points de mesures :



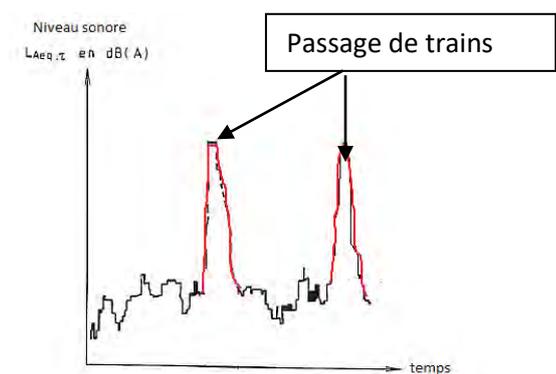
Plan de mesure

Points	Emplacement	Sources caractérisées
Point LD1	A 20 mètres de la voie ferrée et 35 mètres de la rue Antoine Rocca à 1,7m de hauteur	Voie ferrée et rue Antoine Rocca
Point CD2	A 10 mètres du bd saint Michel, à 1,7m de hauteur	Bd Saint Michel
Point CD3	A 10 mètres de la route de Longpont D25 à 1,7m de hauteur	Route de Longpont

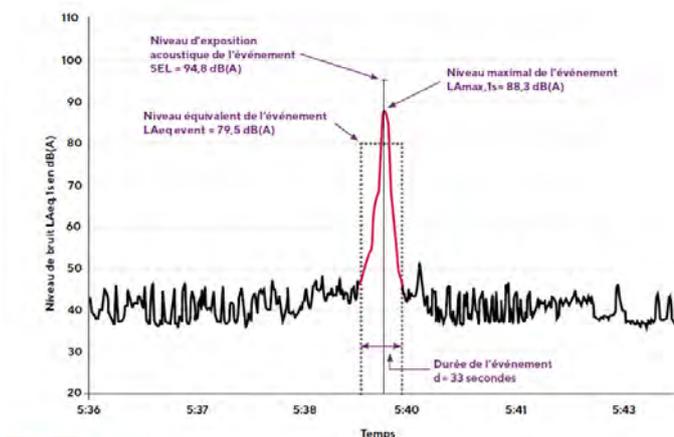
Résultats de mesures : Niveaux sonores ferroviaires

Les passages des trains ont été codés. Le niveau sonore global ferroviaire correspond à la moyenne des niveaux sonores de tous les trains pendant leur durée d'apparition. Cette moyenne est ensuite recalée sur la durée de référence jour ou nuit.

Exemple de codage (extrait de la norme 31-088 relative au mesurage du bruit du au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation) :

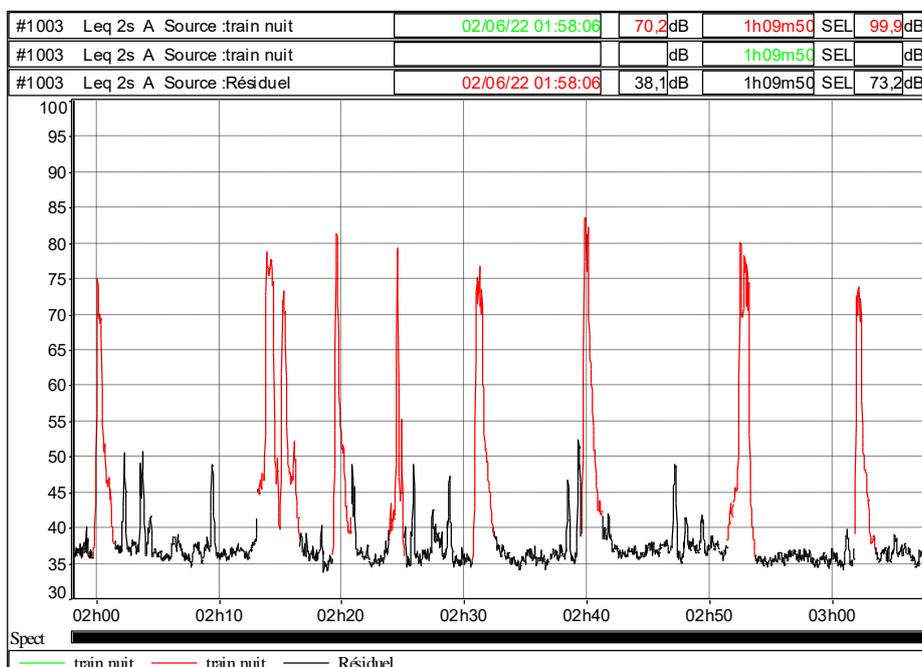


Norme 31-088 codage passage train



INDICES ACOUSTIQUES
 Source : Bruitparif

Pour obtenir la « dose de bruit recue ».



Exemple de codage des trains entre 02h00 et 03h00

POINT 1	JOUR	NUIT
Durée moyenne d'apparition mesurée d'un train en secondes	36 s	72 s
Niveau sonore L_{Aeq} mesuré durant le passage d'un train en dB(A)	74,6 dB(A)	74,4 dB(A)
Niveau sonore maximum L_{Amax} mesuré lors du passage de trains	91 dB(A)	90 dB(A)
Trafic de trains	275 trains	46 trains

Afin de déterminer la contribution du niveau sonore de la voie ferrée on utilise la formule suivante (cf norme 31-088 relative au mesurage du bruit du au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation)

$$L_{Aeq, T_{Réf}}(\text{circulation } i) = 10 \log \left[\frac{\tau}{T_{Réf}} \sum_{j=1}^{N_i} 10^{0,1(L_{Aeq, \tau})_{ij}} \right]$$

On obtient les résultats suivants :

Voie caractérisée	Point	Résultats des mesures ferroviaires L_{Aeq} dB(A)
Voie ferrée	Point 1 JOUR	67
	Point 1 NUIT	65

Ce point caractérise le bruit engendré par le passage des trains sur la voie ferrée. Sur cette voie circulent des TER, FRET, CORAIL et transiliens.

Lors du passage de certains trains (de type FRET), le bruit émerge très largement du trafic de fond (de 40dB(A) en période nuit en moyenne).

Certains trains sont très bruyants, avec un niveau maximum de 90dB(A) mesuré à 20m des voies.

Ces résultats permettent de caler le modèle informatique.

Résultats de mesures : Niveaux sonores routiers

Le tableau suivant présente les niveaux sonores relevés pour les différents points de mesure (arrondis au demi-décibel le plus proche).

Le L_{Aeq} (niveau sonore mesuré en niveau continu équivalent pondéré A) caractérise l'ambiance sonore globale. Par ailleurs, divers indices acoustiques sont couramment utilisés pour caractériser la situation sonore d'un lieu :

- L'indice fractile L_{90} (niveau de pression acoustique dépassé pendant 90 % du temps) représente le bruit de fond
- L'indice fractile L_{50} (niveau de pression acoustique dépassé pendant 50 % du temps) représente le bruit moyen

Voie caractérisée	Point	Bruit mesuré			Commentaires
		L_{Aeq} en dB(A)	L_{50} (bruit moyen)	L_{90} (bruit de fond)	
Rue Antoine Rocca	Point 1 Jour	49,5	47	42,5	Relativement calme
	Point 1 Nuit	41,5	37,5	34,5	Relativement calme
Bd Saint Michel	Point 2 Jour	54	50.5	43.5	Relativement calme
Route de Longpont D25	Point 3 Jour	59	53.5	42	Relativement bruyant

Les niveaux sonores mesurés à 10m de la route de Longpont en période Jour sont de 59 dB(A), correspondant à une zone moyennement bruyante.

Le bd saint Michel et la rue Antoine Rocca sont relativement calmes avec des niveaux sonores de 49,5 et 54 dB(A).

Notons que le bruit du trafic routier est faible par rapport au bruit des trains.

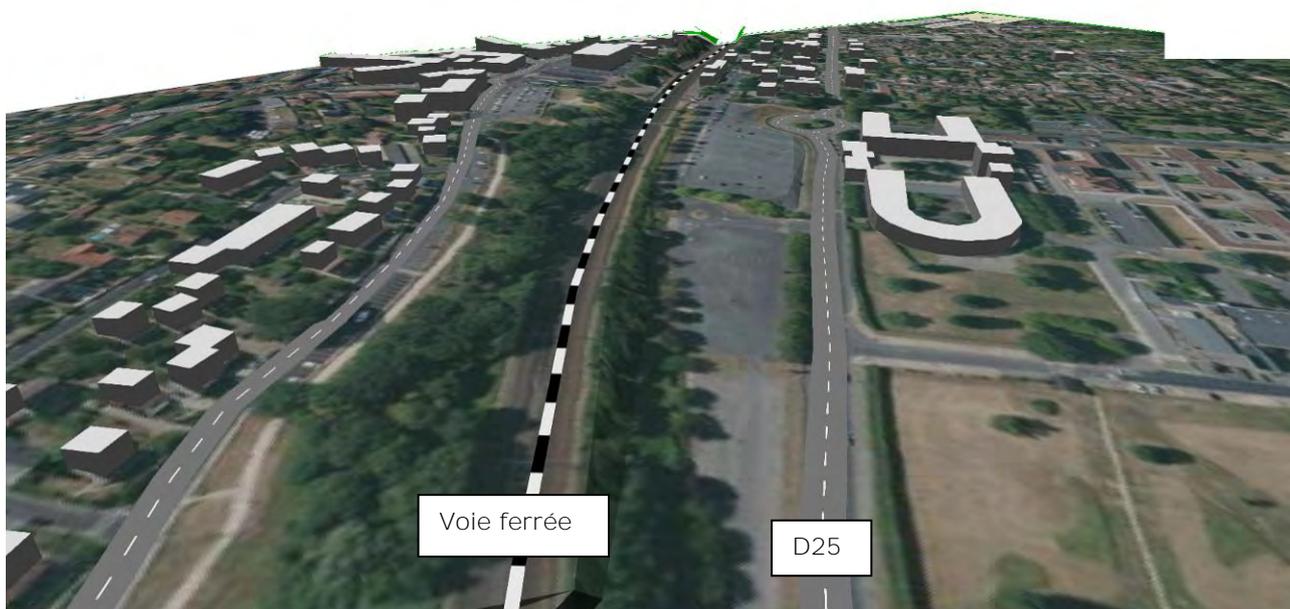
Globalement, les niveaux sonores, relevés sur la zone du projet, correspondent à des zones qualifiées de bruyantes en raison de la voie ferrée.

Modélisation Acoustique

La modélisation et les simulations permettront de présenter des cartographies de bruit et de définir le niveau sonore auquel sera soumis le projet dans un état futur.

L'environnement du site a été modélisé à l'aide d'un logiciel de simulation de bruit (CadnaA de Datakustik®), logiciel permettant de modéliser la propagation acoustique en espace extérieur)

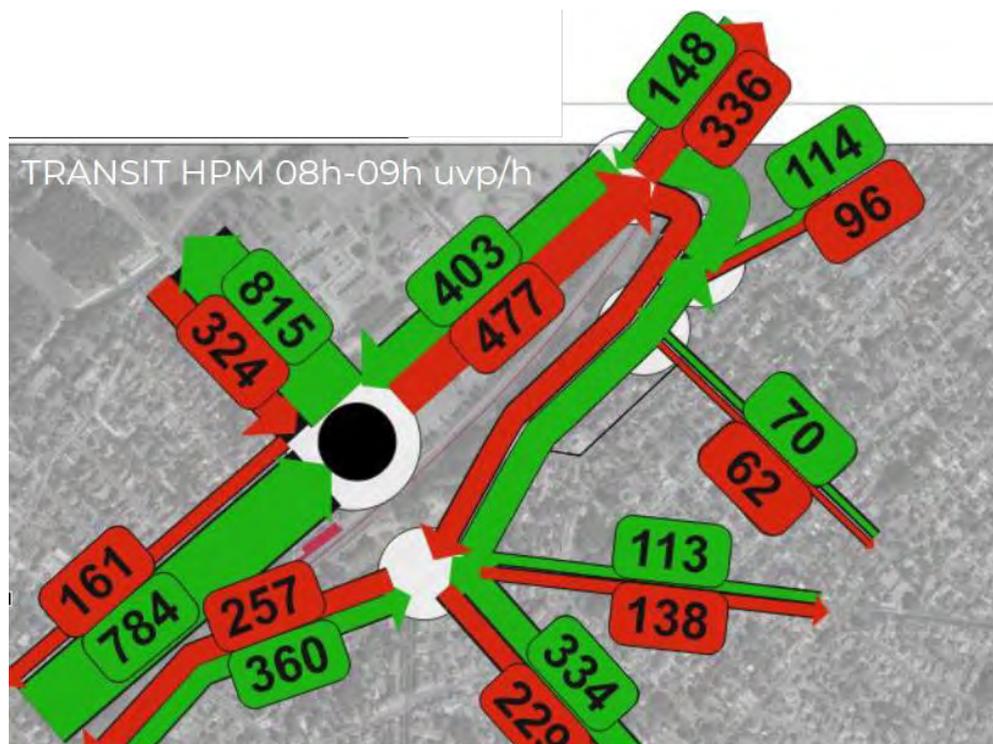
La méthode de calcul de propagation sonore s'appuie sur les normes ISO 9613 et NMPB 08. (Prise en compte de la topographie, des bâtiments, de la nature des sols, et des différentes sources de bruit).



Représentation 3D du modèle état actuel

Trafic routier

La simulation de bruit nécessite la connaissance des Trafics Moyens Journaliers (TMJ) sur le site étudié. L'étude trafic indique les résultats suivants :



Les TMJA ont été obtenus par la formule $HPM \times 10$:

Voie	TRAFIC MOYEN JOURNALIER
D25 Ouest	9450
D25 Est	8800
bd saint Michel	6170
Av Gabriel Perri	5630
Av Paul Vaillant Couturier	2510
D35	11390
avenue Antoine Rocca	6170

Ecarts des mesures dans l'environnement par rapport à la modélisation

Le tableau ci-dessous présente l'écart entre les valeurs mesurées sur site et les valeurs simulées aux différents points avec les conditions de trafic lors des mesures.

Infrastructure caractérisée	Point	Niveaux sonores mesurés en dB(A)	Niveaux sonores simulés en dB(A)	Ecart (valeur absolue)
Rue Antoine Rocca	Point 1 Jour	49.5	50.5	1
	Point 1 Nuit	41.5	43.5	2
Voie ferrée	Point 1 JOUR	67	67	0
	Point 1 NUIT	66	65	1
Bd Saint Michel	Point 2 Jour	54	54	0
Route de Longpont D25	Point 3 Jour	59	58.5	0.5

En acoustique environnementale, un modèle est correct lorsque la différence entre les valeurs simulées et mesurées est inférieure ou égale à 2 dB.

Le modèle de la présente simulation est donc validé.

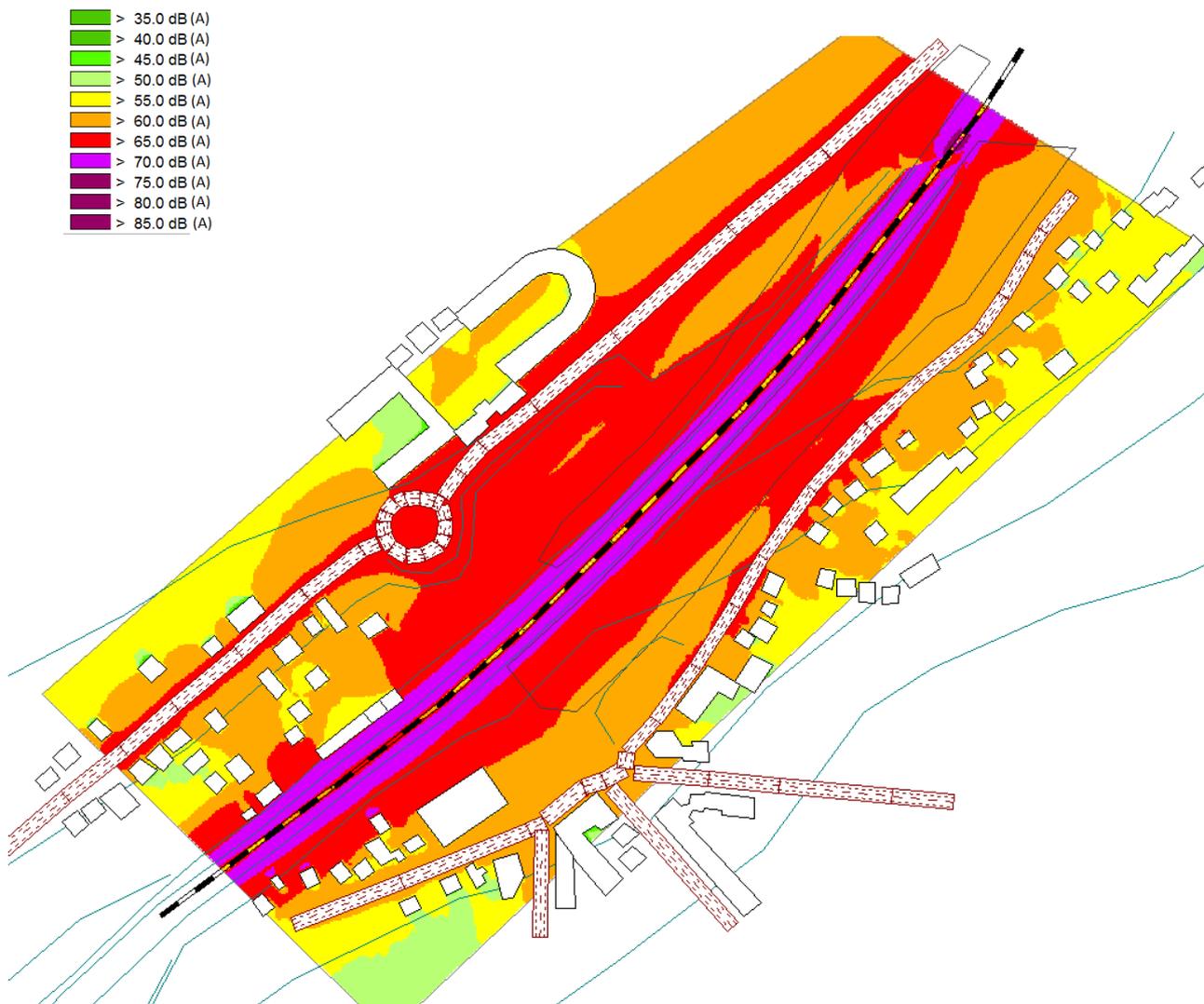
Cartographies

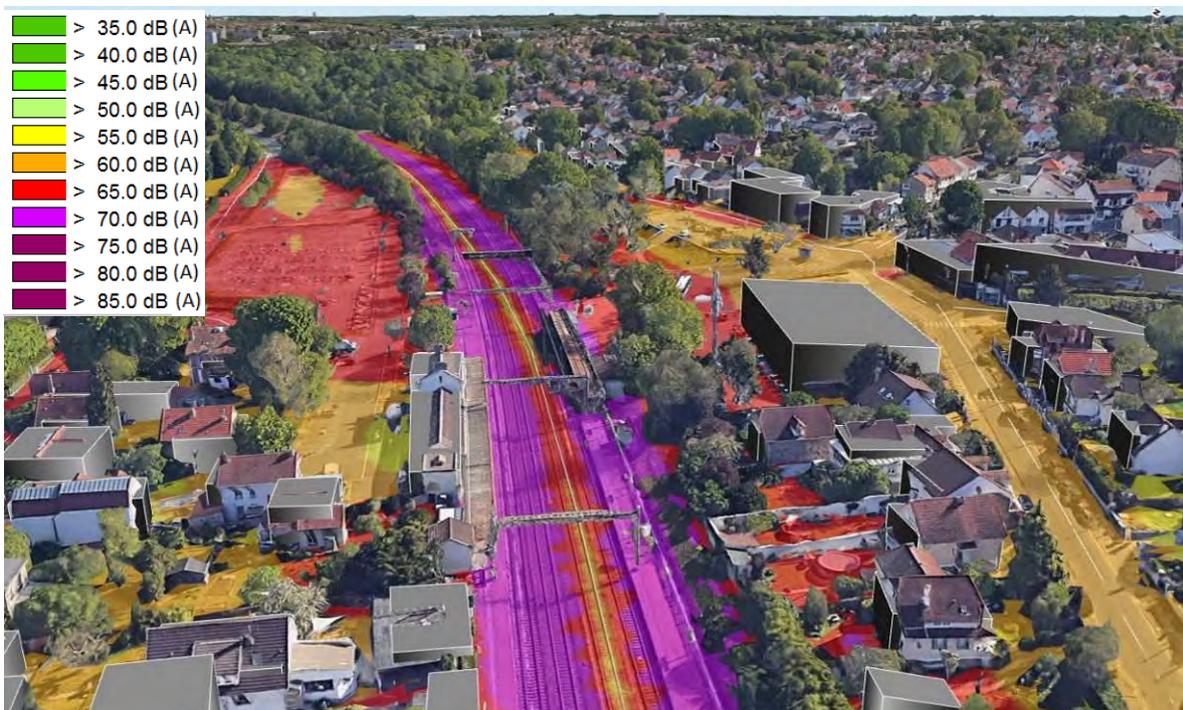
Les cartographies ont été calculées à 5 m de hauteur. Elles correspondent à des niveaux de pression acoustique équivalente L_{Aeq} , exprimés en dB (A) (niveaux sonores moyennés sur la période considérée)

Les configurations suivantes ont été simulées :

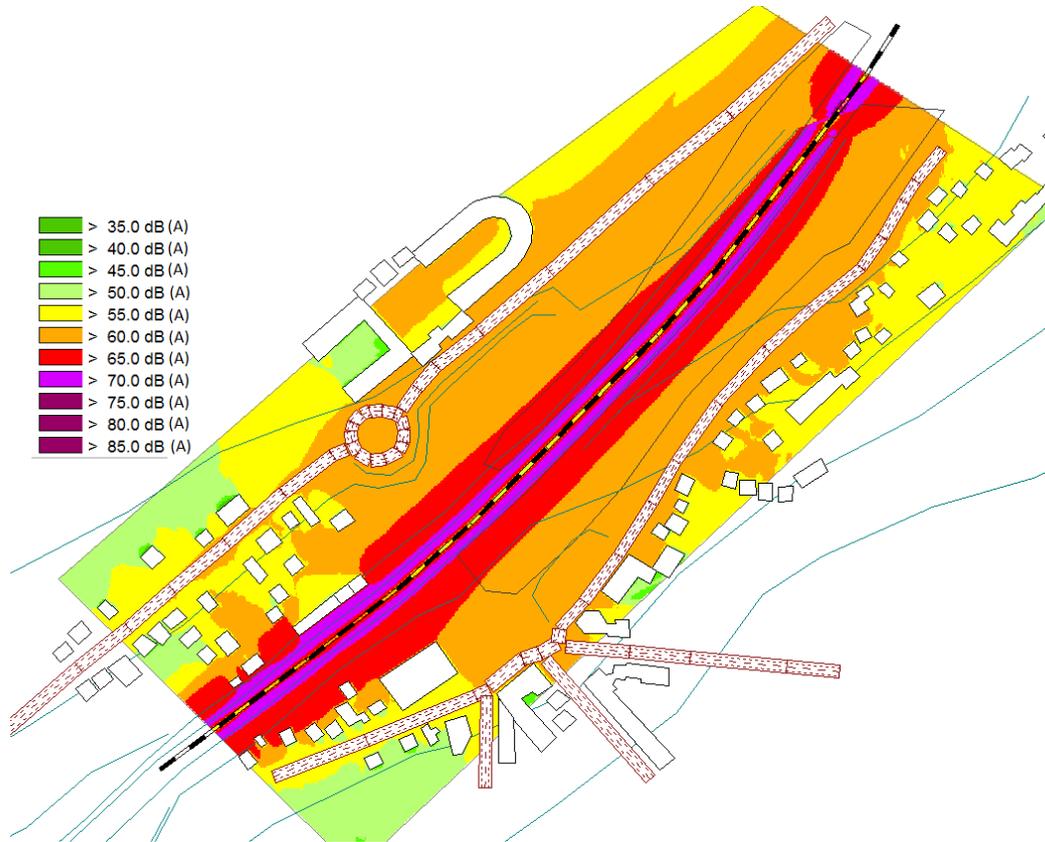
- État actuel SANS projet.
- État AVEC projet.

ETAT ACTUEL SANS PROJET JOUR

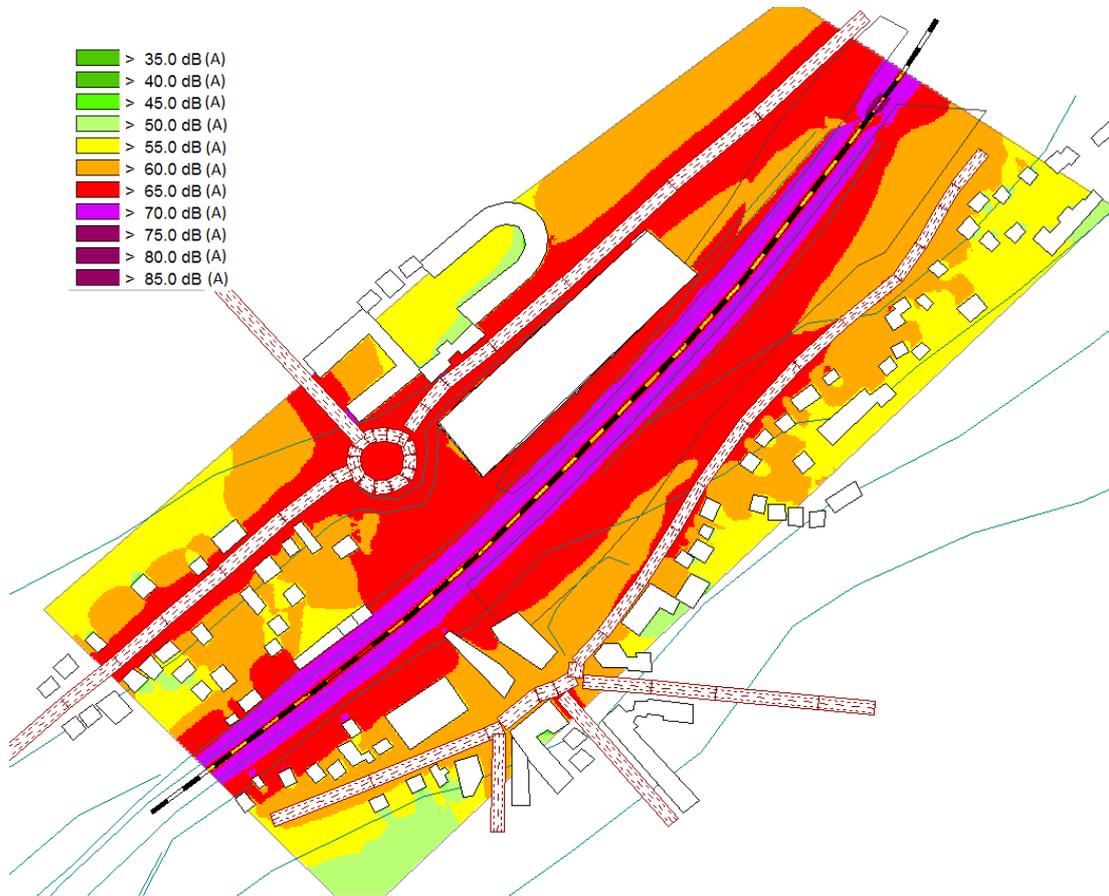




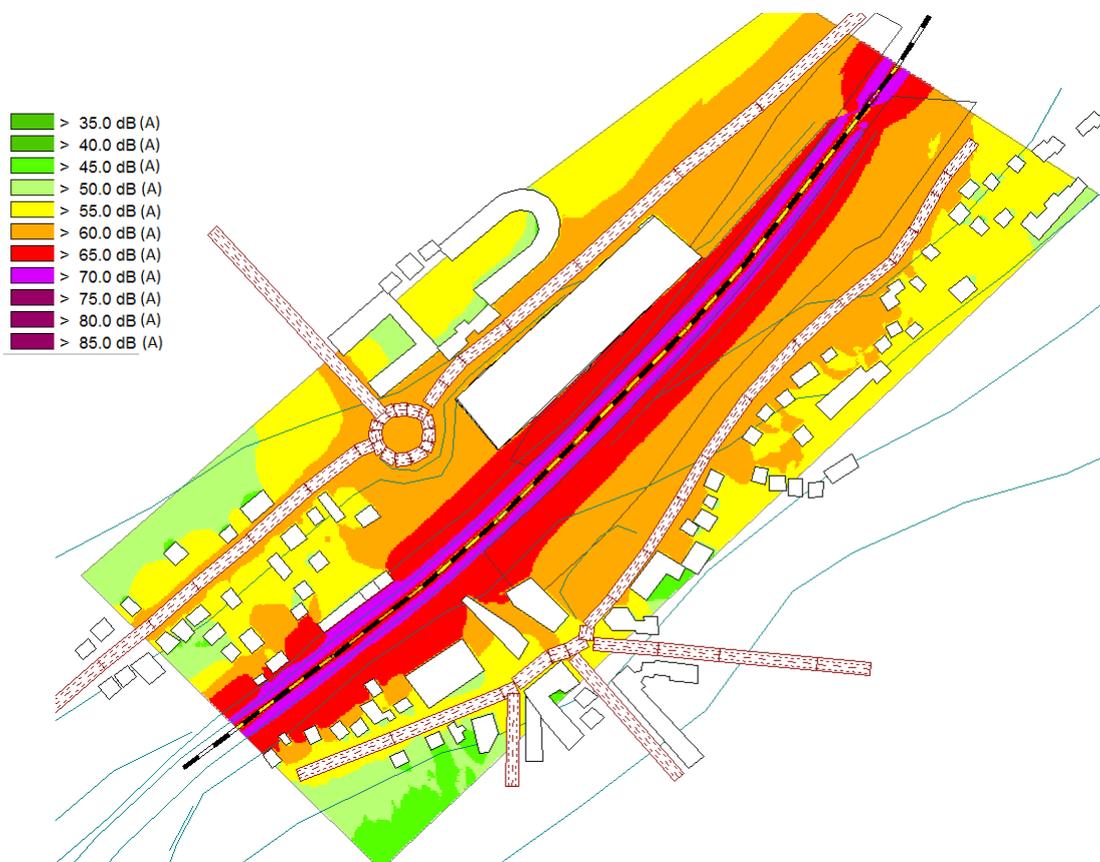
ETAT ACTUEL SANS PROJET NUIT



ETAT PROJET JOUR



ETAT PROJET NUIT



ANALYSE

Ces cartographies permettent de dégager quelques tendances et d'apprécier l'impact des différentes sources de bruit ; le zone est bruyante en raison de la voie ferrée.

Les nouveaux bâtiments et le parking permettront de créer un effet d'écran pour limiter la propagation du bruit de la voie ferrée.

Mesures compensatoires sur les nouveaux bâtiments

Les cartographies de bruit sont utiles à la conception de l'aménagement du nouveau quartier.

L'ambiance sonore des différentes zones permet d'anticiper l'importance des contraintes acoustiques, notamment en termes d'isolation des façades des bâtiments.

Il n'y a pas de réglementation pour les isollements de façade pour les commerces.

A titre indicatif, la seule indication que nous avons est le REFERENTIEL POUR LA QUALITE ENVIRONNEMENTALE DES BATIMENTS COMMERCE décembre 2008 :

« 9.2.1. **Isollement des espaces associés vis-à-vis de l'extérieur**

*Isollement acoustique standardisé pondéré $DnTA, tr$ des espaces associés vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur : **Isollement \geq Isollement réglementaire logement - 5 dB ET $DnTA, tr \geq 30$ dB** »*

Bruit de chantier

Le chantier engendrera des nuisances sonores sur le site et ses abords, avec notamment des travaux **bruyants par nature (marteau piqueur, déchargement...)** et une augmentation du trafic de poids lourds. Les entreprises de travaux devront respecter la réglementation acoustique et vibratoire. En complément, une charte pourra fixer des objectifs et les moyens pour limiter les nuisances sonores.

Réglementation

Les règles du décret « Bruit de voisinage » **s'appliquent** :

"Art. R. 1336-5 – Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter **atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, ...**

« Art. R. 1334-10. - Si le bruit mentionné à l'article R. 1334-31 a pour origine un chantier de travaux publics ou privés, ou des travaux intéressant les bâtiments et leurs équipements soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :

« 1° Le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes en ce qui concerne soit la réalisation des travaux, soit l'utilisation ou l'exploitation de matériels ou d'équipements ;

« 2° L'insuffisance de précautions appropriées pour limiter ce bruit ;

« 3° Un comportement anormalement bruyant. »

Le bruit global d'un chantier n'est pas soumis à des limites quantifiées par une valeur d'émergence sonore au niveau des habitations les plus exposées.

En complément, la réglementation impose l'utilisation de matériel homologué justifiant de normes acoustiques particulières et testé en laboratoire.

Le décret d'application du 23 janvier 1995 fixe les prescriptions applicables pour prévenir, et réprimer s'il y a lieu, les émissions sonores des objets et engins bruyants. La directive européenne (directive 2000/14/CE) retranscrite en droit français, fixe selon les types de matériels concernés, les exigences relatives aux niveaux admissibles d'émissions sonores.

En plus de l'utilisation d'engins de chantiers conformes, le maître d'ouvrage et son entrepreneur doivent respecter un certain nombre de prescriptions, telles que :

- Choisir des itinéraires appropriés pour les engins et les camions, en évitant les rues calmes ;
- Assurer le nettoyage des voies ;
- Respecter les horaires, à savoir les jours ouvrables de 8h00 à 20h00 (ou de 7h30 à 19h30). Tout **Dépassement nocturne fera l'objet d'une dérogation**

Mesures compensatoires

Les nuisances sonores seront réduites au maximum « à la source » et des techniques de construction moins bruyantes seront choisies

Matériel utilisé

De manière générale, on privilégiera le matériel électrique (moins bruyant au matériel pneumatique). L'utilisation de matériels réputés très bruyants (BRH, Marteau Piqueur, scies, brise béton, etc.) feront l'objet d'un examen préalable pour chaque engin.

Dans tous les cas, l'utilisation de matériel à percussions sera limitée au strict minimum

L'utilisation de compresseurs et groupes électrogènes sera à éviter. Le branchement au réseau électrique permet d'éviter l'utilisation du groupe électrogène.

Les appareils générant du bruit seront arrêtés dès qu'ils ne sont pas utilisés.

Les engins utilisés seront insonorisés lorsque les technologies le permettent.

Information des riverains

Un bruit est accepté par les tiers (riverains, ...) s'il est compris, considéré comme utile et inévitable. Les informations du chantier telle que la durée des travaux, les horaires et les coordonnées du responsable seront affichées. Les riverains seront informés des phases du chantier les plus bruyantes.

Les rythmes du chantier seront adaptés aux caractéristiques du quartier (zone résidentielle, écoles, hôpital, bureaux, activités industrielles...).

Communication

Un interlocuteur dans l'entreprise de travaux, responsable des bruits et vibrations sera désigné par les entreprises de travaux. Cet interlocuteur devra faire un planning des tâches bruyantes, coordonner les **travaux bruyants en conséquence, sensibiliser le personnel de l'entreprise de travaux aux problématiques acoustiques et vibratoires, présenter les mesures prévues sur le chantier pour limiter les émissions de bruit et vibrations des machines, assurer la communication avec les riverains ...**

Les différents intervenants doivent être sensibilisés à la réduction des bruits sur le chantier (éteindre les moteurs lors des livraisons, éviter les chutes de matériels, limiter les bruits de choc, entretenir le matériel...) **les comportements** individuels inutilement bruyants seront évités

La communication entre opérateurs pourra être effectuée à l'aide de talkie-walkie pour éviter les cris, source de gêne pour les tiers aux alentours ;

Débris

Les bruits de chute de débris seront atténués par l'utilisation d'amortisseur (pneux, tapis amortisseur de type Regupol...) afin d'éviter bruits et vibration

Les gravats seront évacués sur une partie non sensible de la façade (tant côté cour intérieure que côté rue).

Trafic

Le plan de circulation des véhicules nécessaires pour le chantier sera étudié pour être une gêne minimum. Les moteurs des camions seront éteints hors circulation prévue.

Le klaxon de recul des engins roulant éventuels est souvent une source de gêne pour les tiers. Le chantier privilégiera un espace suffisant pour effectuer des demi-tours plutôt que des reculs.

Ecrans acoustiques et zonage

Des écrans acoustiques pourront être disposés autour du chantier (barraque de chantier, tas de gravât, écrans) pour protéger les façades si cela est envisageable.

Dans ce cas, des bâches acoustiques de chantier (d'indice d'affaiblissement acoustique $R_w = 20$ dB) pourront être utilisées en limite de propriété du chantier ou de zone.

Signalétique

Des signalétiques sensibilisant le personnel aux problématiques du bruit et vibration vis-à-vis du **voisinage seront mises en œuvre.**

Surveillance acoustique/vibratoire en cours de chantier

Si nécessaire, un système de surveillance acoustique et vibratoire pourra être installé pendant toute la durée du chantier au niveau des façades des tiers (riverains) potentiellement les plus impactés.

Annexe 1 : Matériel métrologique utilisé pour les mesurages

Le tableau suivant présente les appareils de mesurage utilisés pour les mesurages :

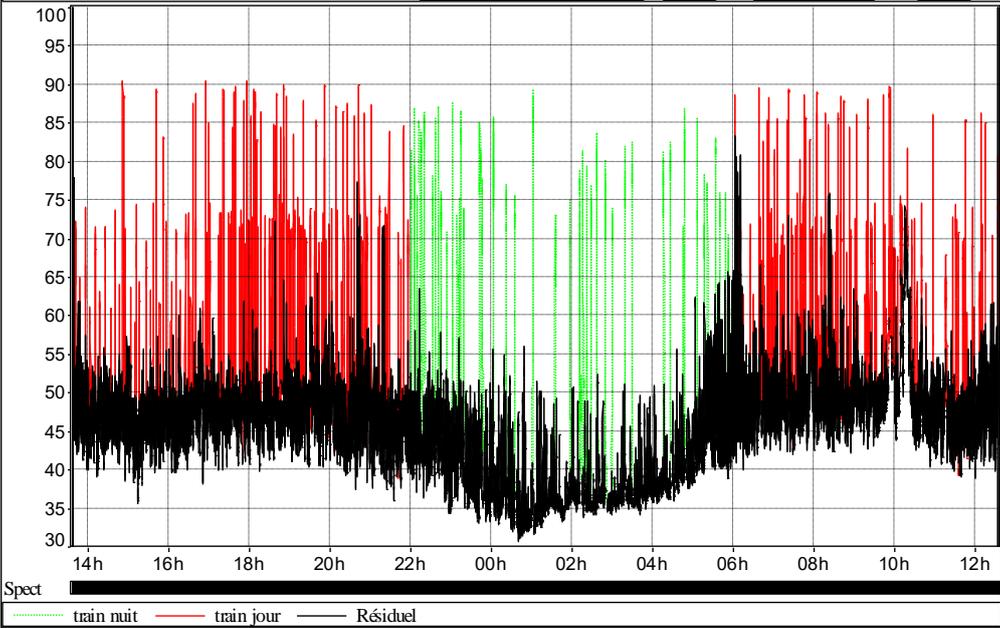
Appareil	Type	SN	Certificat Métrologique	Classe
Sonomètres	RION NL52 RION NL52	0253713 0764958	LNE-26673 rév3 LNE-26673 rév3	1 1
Microphones de mesure	RION UC-59 RION UC-59	07536 09886	LNE-26673 rév3 LNE-26673 rév3	1 1
Préamplificateurs	RION NH-25 RION NH-25	43743 65085	LNE-26673 rév3 LNE-26673 rév3	1 1
Calibreur	RION NC-74	34557127	LNE-23771 rév1	1

Technique utilisée de mesurage : Niveau sonore L_{Aeq} avec temps d'intégration d'une seconde en global en dB(A) et sur chaque bande d'octave de 63Hz à 4000 Hz en dB.

Tous nos appareils de mesure sont intégrateurs, de classe 1 conformes à la norme ISO NF EN 61 672-1. Les copies des certificats métrologiques sont disponibles sur simple demande.

Annexe 2 : fiches de mesures

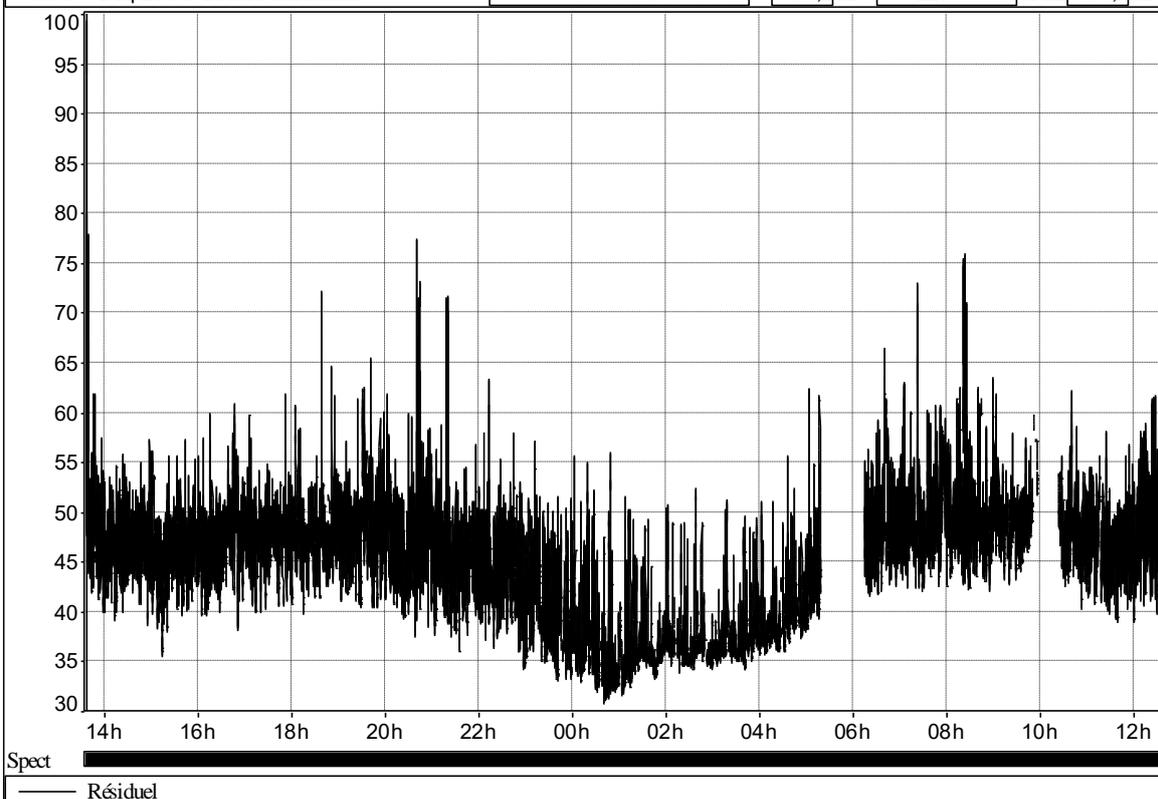
POINT 1 FER

Caractérise la voie ferrée	01/06/2022 PERIODE JOUR/NUIT A 20 mètres de la voie ferrée Durée de la mesure : 24h																			
Conditions météorologiques	U3T2 (Vent faible -Ciel découvert) U3T5																			
<table border="1"> <tr> <td>#1003</td> <td>Leq 2s A Source :train nuit</td> <td>02/06/22 12:36:46</td> <td>74,4dB</td> <td>22h57m24</td> <td>SEL 109,7dB</td> </tr> <tr> <td>#1003</td> <td>Leq 2s A Source :train jour</td> <td></td> <td>74,6dB</td> <td>22h57m24</td> <td>SEL 114,2dB</td> </tr> <tr> <td>#1003</td> <td>Leq 2s A Source :Résiduel</td> <td>02/06/22 12:36:46</td> <td>52,8dB</td> <td>22h57m24</td> <td>SEL 101,2dB</td> </tr> </table> 			#1003	Leq 2s A Source :train nuit	02/06/22 12:36:46	74,4dB	22h57m24	SEL 109,7dB	#1003	Leq 2s A Source :train jour		74,6dB	22h57m24	SEL 114,2dB	#1003	Leq 2s A Source :Résiduel	02/06/22 12:36:46	52,8dB	22h57m24	SEL 101,2dB
#1003	Leq 2s A Source :train nuit	02/06/22 12:36:46	74,4dB	22h57m24	SEL 109,7dB															
#1003	Leq 2s A Source :train jour		74,6dB	22h57m24	SEL 114,2dB															
#1003	Leq 2s A Source :Résiduel	02/06/22 12:36:46	52,8dB	22h57m24	SEL 101,2dB															
Configuration	Niveaux sonores JOUR	Niveaux sonores NUIT																		
Niveau sonore en dB(A) L_{Aeq} moyenné sur la période de référence	67	65																		
Commentaires	Trains FRET CORAIL RER ET TER																			

POINT 1 ROUTIER

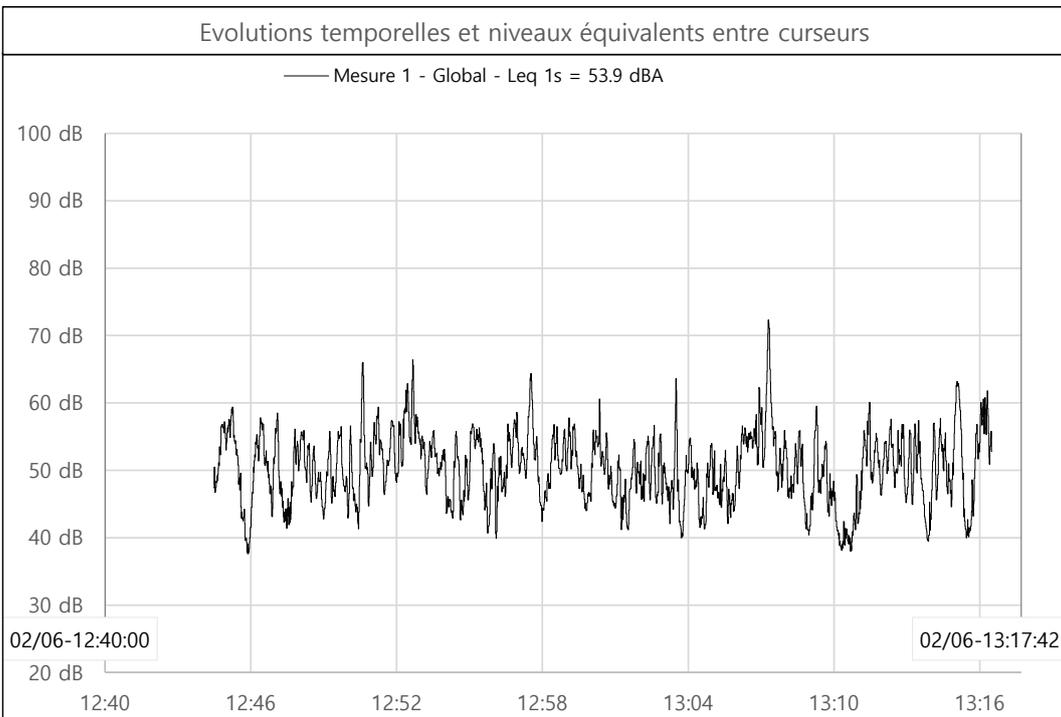
Caractérise la rue Antoine Rocca	01/06/2022 PERIODES JOUR/NUIT A 35 mètres de la rue Antoine Rocca Durée de la mesure : 24h	
Conditions météorologiques	U3T2 (Vent faible -Ciel découvert) U3T5	

#1003 Leq 2s A Source :Résiduel 01/06/22 13:37:32 56,2dB 22h59m16 SEL 104,4dB



Configuration	Niveaux sonores JOUR	Niveaux sonores NUIT
Niveau sonore en dB(A) L_{Aeq}	49,5	41,5
Niveau sonore en dB(A) L_{50}	47	37,5
Niveau sonore en dB(A) L_{90}	42,5	34,5
Commentaires	-	

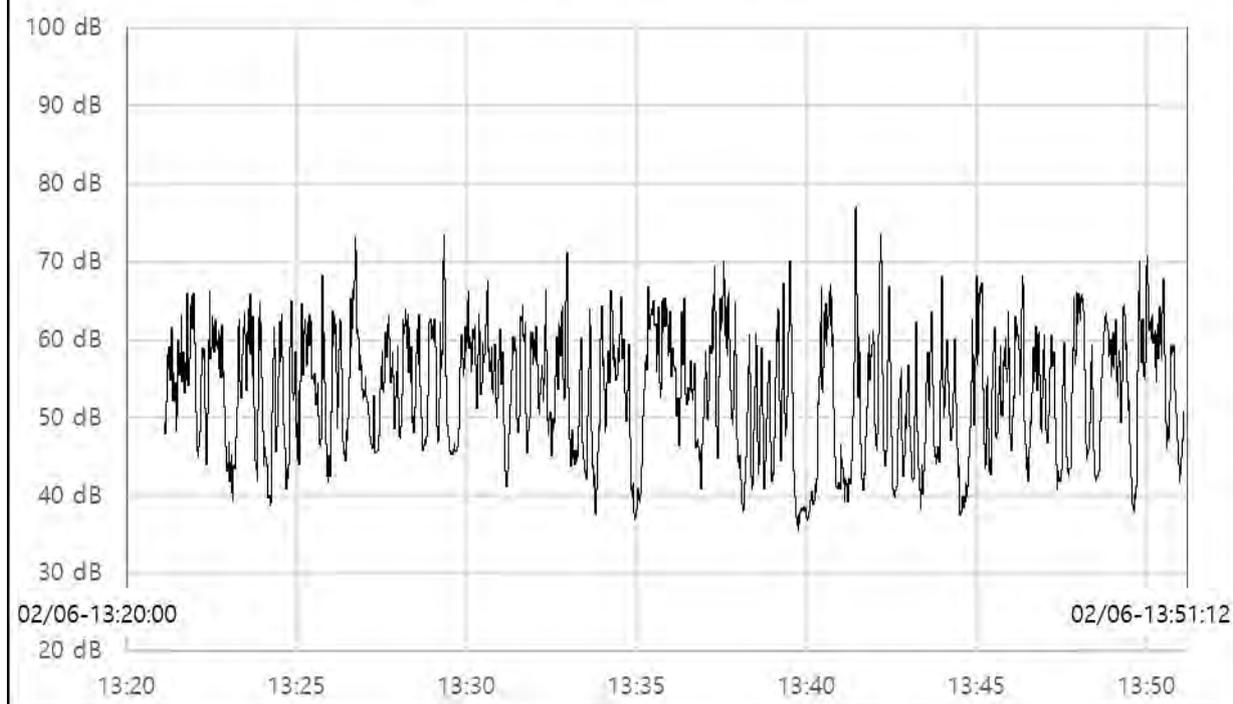
POINT 2

Caractériser le bd saint Michel	03/06/2022 PERIODE JOUR A 10 mètres du bd saint Michel Durée de la mesure : 30min
Conditions météorologiques	U3T2 (Vent faible –Ciel découvert)
<p>Evolutions temporelles et niveaux équivalents entre curseurs</p> <p>— Mesure 1 - Global - Leq 1s = 53.9 dBA</p> 	
Configuration	Niveaux sonores JOUR
Niveau sonore en dB(A) L_{Aeq}	54
Niveau sonore en dB(A) L_{50}	50.5
Niveau sonore en dB(A) L_{90}	43.5
Commentaires	-

POINT 3

Caractérise la route de Longpont	03/06/2022 PERIODE JOUR A 10 mètres de la route de Longpont Durée de la mesure : 30min	
Conditions météorologiques	U3T2 (Vent faible -Ciel découvert)	

Evolutions temporelles et niveaux équivalents entre curseurs



Configuration	Niveaux sonores JOUR
Niveau sonore en dB(A) L_{Aeq}	59
Niveau sonore en dB(A) L_{50}	53.5
Niveau sonore en dB(A) L_{90}	42
Commentaires	-

Glossaire

Bandes d'Octaves et Niveau Global :

La sensation de l'oreille en fréquence n'est pas linéaire. Plus elle est élevée, plus il faut une grande variation de cette fréquence pour que l'impression de variation reste constante. Des valeurs de fréquences, comprises dans le spectre audible, sont normalisées pour exprimer cette sensation :

Le niveau global correspond à la somme d'énergie de toutes les bandes d'octaves. Il est noté L.

Indices statistiques L1 L10 L50 L90 :

Lorsque le bruit n'est pas stable, il peut être caractérisé par :

L1 : niveau dépassé pendant 1 % du temps (bruit maximal).

L10 : niveau dépassé pendant 10 % du temps (bruit crête).

L50 : niveau dépassé pendant 50% du temps.

L90 : niveau dépassé pendant 90% du temps.

Le décibel :

Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique, c'est un terme sans dimension. Il est noté dB. Le décibel étant une échelle logarithmique, il est à remarquer que : 80 dB + 80 dB = 83 dB et 80 dB + 90 dB = 90 dB.

Le décibel A : dB(A) :

Valeur en décibels à laquelle on applique une correction en fonction de la fréquence considérée pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine.

Puissance acoustique Lw :

Une source sonore rayonne de l'énergie acoustique, c'est sa puissance acoustique. Cette source génère un champ de pression acoustique fonction de sa puissance et des caractéristiques de réverbération de l'environnement dans lequel elle se trouve.

$L_w = 10 \text{ Log } (W/W_0)$ où :

$W_0 = 1$ pico Watt et $W =$ puissance rayonnée

Bruit ambiant : Niveau sonore incluant l'ensemble des bruits environnants. Dans le cas d'une gêne liée à une source sonore particulière, le bruit ambiant est la somme du bruit résiduel et du bruit particulier émis par la source.

Bruit particulier : Bruit produit par une source sonore générant une gêne dans l'environnement.

Bruit résiduel : Niveau sonore en l'absence du bruit particulier que l'on veut caractériser.

Valeurs d'émergences : Valeurs représentant l'élévation du niveau sonore engendrée par une source sonore bruyante. Il s'agit de la différence arithmétique entre le bruit ambiant et le bruit résiduel.

Bruit

Sons à caractère non musical. Sa définition dépend souvent de la perception individuelle d'un son particulier, par exemple un bruit de fond.

Bruit Routier

Un bruit route, ou bruit routier, est un bruit normalisé. Il est une référence pour le bruit des trafics routiers et ferroviaires. Son spectre est enrichi en basses fréquences et appauvri dans les aigües par rapport à un bruit rose.

Décroissance par doublement de distance

Décroissance du niveau sonore par doublement de la distance à la source de bruit. La décroissance par doublement de distance peut se mesurer in situ ou être calculée à partir d'une modélisation 3D.

Fréquence (f)

La fréquence est une mesure du nombre de vibrations par seconde. Établie en Hz (hertz). Plus la valeur est basse, plus le son est grave. Plus la valeur est haute, plus le son est aigu. Les sons audibles s'étendent pour l'homme entre 20 et 20000 Hz.

Intervalle de mesurage

Intervalle de temps au cours duquel la pression acoustique pondérée A est intégrée et moyennée.

Intervalle d'observation

Intervalle de temps au cours duquel tous les mesurages nécessaires à la caractérisation de la situation sonore sont effectués soit en continu, soit par intermittence.

Intervalle de référence

Intervalle de temps retenu pour caractériser une situation acoustique et pour déterminer de façon représentative l'exposition au bruit des personnes.

Sonomètre

Instrument permettant de déterminer l'intensité acoustique.

Les trois normes Internationales CEI 60651, CEI 60804 et la récente CEI 61672 classent les sonomètres par type (ou classe). Les appareils de type 1 - **ou classe 1 sont dits "sonomètres de précision" tandis que les appareils de type 2 - ou classe 2 relèvent de la catégorie "usage industriel"**.

Tonalité marquée

La tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octave les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux ci-après pour la bande considérée (pour une analyse à partir d'une acquisition minimale de 10 s) :

- 50 Hz à 315 Hz : 10 dB
- 400 Hz à 1250 Hz : 5 dB
- 1600 Hz à 8000 Hz : 5 dB

Pondération fréquentielle

Pondération A ou C et Z. L'oreille répond aux fréquences de manière non linéaire : certaines tonalités sont plus facilement perçues que d'autres. C'est pour cela que des filtres sont appliqués aux niveaux sonores : ils modifient la réponse fréquentielle. La pondération fréquentielle "A" est prévue pour approcher la façon dont les oreilles entendent les sons. Le symbole pour le décibel pondéré A est dB(A).

La pondération "C" est principalement employée pour des sons de fréquence plus basse en général dans le cadre de la mesure du niveau de crête. (LCpeak employé pour mesurer ces niveaux crête).



CŒUR ESSONNE AGGLOMÉRATION

Aménagement du pôle Gare - Place de la Gare –
SAINTE-GENEVIEVE-DES-BOIS (91)

Etude de valorisation du potentiel en énergies renouvelables

Rapport

Réf : IF1600030 / 1116936

GRS / AUME

04/11/2024



CŒUR ESSONNE AGGLOMERATION

Aménagement du pôle Gare - Place de la Gare – SAINTE-GENEVIEVE-DES-BOIS (91)

Etude de valorisation du potentiel en énergies renouvelables

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Validation Nom / signature
Rapport Etude EnR	04/11/2024	01	G.SERBAT	A.MERCIER	A. MERCIER

Numéro de contrat / de rapport :	IF1600030 / 1116936
Numéro d'affaire :	3683
Domaine technique :	ER07
Mots clé du thésaurus	ENERGIES RENOUVELABLES

GINGER BURGEAP Agence Ile-de-France • 143 avenue de Verdun – 92442 Issy-les-Moulineaux Cedex
Tél : 01.46.10.25.70 • Fax : 01.46.10.25.64 • burgeap.paris@groupeginger.com

Résumé non technique à l'attention des décideurs

L'objectif de la présente étude de faisabilité des énergies renouvelables est d'évaluer le potentiel de développement de sources ENR pour le projet d'aménagement du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois, comprenant la construction de bâtiments de bureaux, de commerces et d'une halle de marché. Le projet comprend également la construction d'un parking aérien en ouvrage qui ne présentera pas de besoins thermiques (chauffage et refroidissement) mais aura des consommations électriques liées à l'éclairage et à des bornes IRVE dont il sera équipé, le parking sera donc étudié dans la partie dédiée au potentiel en énergie solaire, séparément de l'ensemble bâtementaire Halle de marché, bureaux et commerces.

Selon les hypothèses fournies sur l'ensemble bâtementaire hors parking silot du projet, les besoins s'élèvent à environ **21 MWh/an en chaud (chauffage et ECS), et 10 MWh/an en froid** et sont présentés sur le tableau suivant.

Usage énergétique	Total (MWh)
Chauffage	19
ECS	2
Froid	10
Electricité	45

Les besoins énergétiques du parking aérien sont estimés à **930 MWh électriques** en tenant compte des données fournies dans la notice environnementale du projet, d'une puissance surfacique d'éclairage de 7W/m² et d'une puissance installée de 129 kW de bornes IRVE et à partir d'hypothèses sur l'utilisation de l'éclairage et des bornes au cours d'une année.

Au regard de l'analyse des besoins et du potentiel en énergies renouvelables, les scénarios d'approvisionnement suivants sont identifiés comme pertinents pour le projet :

► Scénario « conventionnel »

Couverture des besoins en chaud et froid à partir de **groupes aérothermiques**.

Ce scénario est le scénario identifié comme le plus simple à mettre en œuvre avec la solution énergétique la plus conventionnelle depuis l'entrée en vigueur de la RE2020. C'est également le scénario qui présente la plus faible performance environnementale avec une mobilisation des EnR limitée.

► Scénario « EnR 1 »

Mise en place de la **géothermie** pour la couverture des besoins en chaud et en froid des bureaux. Couverture des besoins en chaud et froid des commerces et de la Halle de marché à partir de groupes aérothermiques.

Ce scénario permet de valoriser le potentiel énergétique du sous-sol grâce à la géothermie. Avec un projet présentant des espaces extérieurs, le positionnement d'un champ de sondes est possible. Une étude de faisabilité géothermique sera nécessaire pour confirmer le potentiel géothermique du site.

► Photovoltaïque »

Parallèlement aux scénarios énergétiques précédents, permettant de répondre aux besoins thermiques du programme, l'installation d'un système **photovoltaïque** en toiture du parking aérien, destiné à

l'autoconsommation permet de répondre partiellement aux besoins électriques et de réduire le soutirage d'énergie sur le réseau électrique.

SOMMAIRE

Résumé non technique à l'attention des décideurs	3
1. Introduction	8
1.1 Notre vision de la problématique énergétique	8
1.2 Contexte réglementaire	9
1.2.1 La loi Grenelle	9
1.2.2 La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte	9
1.2.3 Réglementation Environnementale 2020 (RE2020)	9
2. Méthodologie.....	10
CAHIER 1	11
3. Caractéristiques du projet	12
3.1 Périmètre d'étude	12
3.2 Données collectées et programmation	12
3.2.1 Programmation surfacique	12
3.3 Caractérisation des besoins	13
3.3.1 Energie primaire, finale et utile	13
3.3.2 Choix du niveau de performance thermique	14
3.3.3 Besoins énergétiques du site	15
4. Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération .	18
4.1 Réseaux de chaleur ou de froid	18
4.1.1 Raccordement à un réseau existant.....	18
4.1.2 Raccordement à un réseau de froid existant.....	19
4.2 Energie hydraulique	19
4.3 Energie solaire	19
4.3.1 Potentielles contraintes à anticiper.....	20
4.3.2 Intégration des capteurs solaires sur le programme	21
4.3.3 Solaire photovoltaïque	21
4.3.4 Solaire thermique	23
4.4 Energie éolienne	24
4.4.1 Grand éolien (puissance > 350 kW).....	24
4.4.2 Moyen et Petit éolien.....	24
4.5 Combustion de biomasse	25
4.5.1 Bois énergie	25
4.5.2 Biomasse agricole	26
4.6 Biogaz	26
4.6.1 Valorisation des déchets	26
4.6.2 Valorisation des sous-produits agro-alimentaires.....	27
4.7 Géothermie	27
4.7.1 Code Minier.....	28
4.7.2 Géothermie sur nappe	31
4.7.3 Géothermie sur sondes	32
4.8 Récupération de chaleur sur eaux usées	34
4.8.1 Installation collective (sur un réseau public).....	34
4.8.2 Installation individuelle	34
4.9 Aérothermie	35
4.10 Cogénération	35
4.11 Chaleur fatale industrielle	35
4.12 Synthèse de l'analyse de potentiel en ENR.....	37

5.	Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus	40
	CAHIER 2	42
6.	Dimensionnements techniques	43
	6.1 Scénario Econv.....	44
	6.2 Scénario ENR 1 : Géothermie	47
	6.3 Scénario ENR 2 : Photovoltaïque pour le parking aérien	47
7.	Analyse multicritère des scénarios retenus	47
	7.1 Coûts d'investissements	47
	7.2 Analyse économique en coût global	49
	7.2.1 Hypothèses économiques	49
	7.2.2 Résultats économiques	50
	7.3 Résultats environnementaux	52
	7.4 Résultats économiques et environnementaux pour l'intégration du PV au parking aérien silo.....	54
8.	Conclusion	55

TABLEAUX

Tableau 1 : Besoins en énergie des bâtiments du projet (en kWh _{eu} /m ² SDP).....	15
Tableau 2 : Besoins en énergie totaux du projet par usage (MWh _{eu} /an)	16
Tableau 3 : Synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération.....	37
Tableau 4 : Coûts estimés des équipements de production énergétique *	47
Tableau 5 : Coût global annualisé des différents scénarios étudiés – sans actualisation.	50

FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 : Perspective d'aménagement du programme	13
Figure 3 : Schéma de la chaîne énergétique	14
Figure 4 : Besoins surfaciques annuels en énergie du projet (kWh _{eu} /m ²).....	15
Figure 5 : Répartition des besoins en énergie totaux du projet par usage (MWh _{eu} /an)	16
Figure 6 : Localisation du réseau de chaleur le plus proche (Source : https://cartagene.cerema.fr/).....	18
Figure 7 : Bâti remarquable, bâtiments historiques et distance vers la zone du projet (Source :	20
Figure 8 : résultat de modélisation PVGIS	22
Figure 9 : Classes de géothermie.....	28
Figure 10 : Classement GMI sur nappe pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91) (Source : geothermies.fr)	30
Figure 11 : Classement GMI sur sonde (0 à 100 m de profondeur) pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91) (Source : geothermies.fr)	30
Figure 12 : Classement GMI sur sonde (100 à 200 m de profondeur) pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91) (Source : geothermies.fr)	31
Figure 13 : Puissance chauffage + ECS	43
Figure 14 : Monotone de puissance des besoins de chaleur zone de bureaux	44
Figure 15 : Monotone de puissance des besoins de chaleur zone halle de marché et commerces	45
Figure 16 : Monotone de puissance des besoins de froid zone de bureaux	46
Figure 17 : Monotone de puissance des besoins de froid zone halle de marché et commerces	46
Figure 18 : Coût actualisé de l'énergie sur 20 ans.	51

Figure 19 : Evolution du coût global actualisé selon les scénarios.....	52
Figure 20 : Comparatif environnemental (GES*) des scénarios étudiés.....	53
Figure 21 : Impact environnemental de l'intégration du PV au projet.....	54

1. Introduction

L'analyse préliminaire de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables est initiée avec les premières étapes d'un projet de construction.

Cette analyse doit permettre :

- D'identifier les énergies renouvelables ayant un potentiel de développement à l'échelle de l'opération de construction dès l'avant-projet afin de prévoir leur intégration ;
- De savoir si les projets d'approvisionnement énergétiques associés à ces énergies sont réalisables ;
- D'évaluer les conditions de leur rentabilité.

Il s'agit donc de faire émerger, selon une analyse multicritère (technologie, contraintes de mise en œuvre, investissement, coût global, coût environnemental, etc.), les projets les plus pertinents pour maximiser la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'approvisionnement du bâtiment.

Pour les scénarios d'approvisionnement jugés pertinents, le maître d'ouvrage peut alors procéder à une étude de faisabilité qui fournit avec plus de détails les capacités du gisement, les coûts et les bénéfices du ou des scénarios d'approvisionnement retenus. Si l'intérêt de ces scénarios est confirmé, suivent les étapes de conception et d'ingénierie. Pour les grands projets, ces dernières étapes comprennent des activités de développements, consacrées aux ententes de financement du projet et à l'obtention de tous les permis nécessaires à sa réalisation. Enfin seulement arrivent la construction puis la mise en service du projet.

Le présent rapport constitue un guide à destination du maître d'ouvrage présentant les possibilités et le potentiel d'approvisionnement en EnR pour l'étude d'impact environnemental du projet porté par Cœur Essonne Agglomération. L'opération, situé sur le pôle gare de la ville de Sainte-Geneviève-des-Bois prévoit environ **1 375 m² de SDP¹** chauffées et/ou climatisées: bâtiments de bureaux, commerces et Halle de marché ; ainsi que **32 130 m² de SDP** pour un parking silo aérien.

1.1 Notre vision de la problématique énergétique

Dans le contexte énergétique et climatique actuel, le recours aux énergies renouvelables (ENR) doit être envisagé comme le dernier maillon d'une chaîne vertueuse visant à réduire les consommations d'énergies fossiles non renouvelables et relocaliser la production d'énergie. Il n'a de sens que si des actions prioritaires sont menées en amont sur les questions de sobriété et d'efficacité énergétique. On entend par sobriété énergétique la suppression des gaspillages par la responsabilisation de tous les acteurs, du producteur aux utilisateurs. L'efficacité énergétique quant à elle consiste à réduire le plus possible les pertes par rapport aux ressources utilisées. Ainsi les actions de sobriété et d'efficacité réduisent les besoins d'énergie à la source. La production d'ENR doit alors être encouragée et favorisée pour satisfaire le solde des besoins d'énergie dans le but d'équilibrer durablement ces besoins avec les ressources disponibles et ainsi limiter le recours aux énergies non renouvelables.

La présente étude s'inscrit dans cette démarche.



¹ Surface De Plancher.

1.2 Contexte réglementaire

1.2.1 La loi Grenelle

La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, dite Grenelle I, établit le programme de mise en œuvre des conclusions de la consultation nationale sur la politique de l'environnement. Le texte est composé de 57 articles regroupés en 5 grands titres :

- Lutte contre le changement climatique
- Biodiversité, écosystème et milieux naturels
- Prévention des risques pour l'environnement et la santé, prévention des déchets
- Etat exemplaire
- Gouvernance, information et formation

1.2.2 La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent doivent permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et de renforcer son indépendance énergétique en équilibrant mieux ses différentes sources d'approvisionnement.

Les objectifs de la loi précisent ou renforcent ceux établis par les lois Grenelle :

- Réduire nos émissions de gaz à effet de serre de 40% entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 (facteur 4).
- Réduire notre consommation énergétique finale de 50% en 2050 par rapport à la référence 2012.
- Réduire notre consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30% en 2030 par rapport à la référence 2012.
- Porter la part des énergies renouvelables à 32% de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40% de la production d'électricité.
- Diversifier la production d'électricité et baisser à 50% la part du nucléaire à l'horizon 2025.
- Réduire de 50% les déchets mis en décharge à l'horizon 2025.

1.2.3 Réglementation Environnementale 2020 (RE2020)

Entrée en vigueur le 1er janvier 2022 conformément au décret du 29 juillet 2021, la RE2020 s'appuie sur le principe fondamental de l'analyse du cycle de vie des structures, englobant toutes les étapes, de la production des matériaux à la démolition. Cette approche holistique vise à évaluer l'empreinte carbone des bâtiments sur l'ensemble de leur durée de vie, incitant ainsi les professionnels du secteur à adopter des pratiques constructives durables.

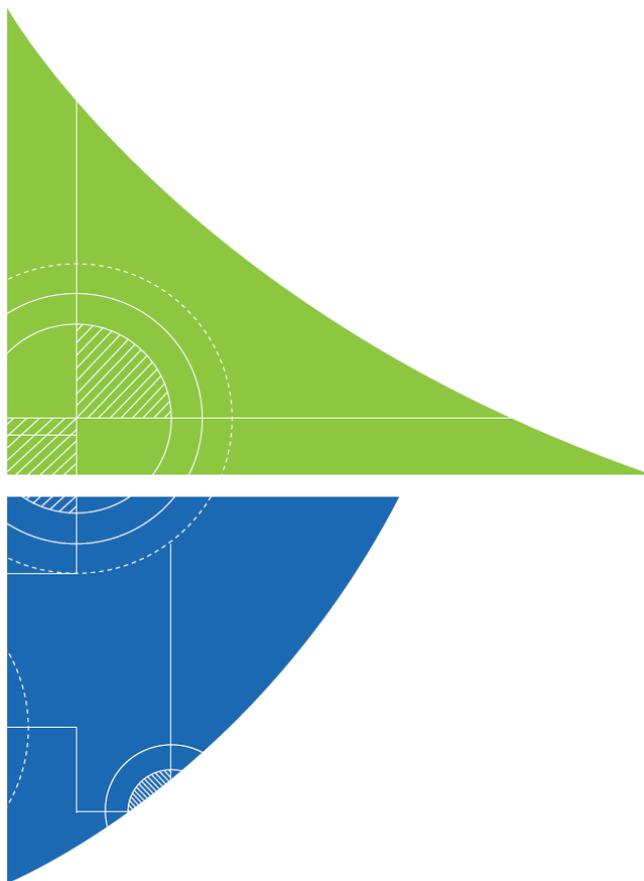
Les objectifs de la RE2020 sont divers, englobant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la promotion des énergies renouvelables, et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Cette réglementation encourage les acteurs du domaine de la construction à revisiter leurs méthodologies, à privilégier l'utilisation de matériaux respectueux de l'environnement, et à concevoir des structures conformes aux normes élevées en matière de performance énergétique.

2. Méthodologie

L'étude proposée par GINGER BURGEAP se déroule en deux phases :

- Diagnostic énergies renouvelables (cahier 1) ;
 - Caractérisations des besoins énergétiques du projet,
 - Analyse du potentiel en énergies renouvelables et de récupération,
 - Sélection des scénarios.
- Analyse environnementale des scénarios (cahier 2) ;
 - Pré dimensionnement,
 - Analyse économique en coût global.

CAHIER 1



3. Caractéristiques du projet

3.1 Périmètre d'étude

L'étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables et de récupération, notée étude de faisabilité ENR par la suite, concerne l'opération de construction de bureaux, de commerces, d'une halle de marché et d'un parking silo aérien au sein du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois. Cette opération, prévoit la construction d'environ 33 817 m² de SDP sur une parcelle d'environ 9,8ha.

La figure ci-dessous illustre la situation du projet



Figure 1 : Localisation du projet

Source : google earth

3.2 Données collectées et programmation

3.2.1 Programmation surfacique

La Surface De Plancher (SDP) totale créée par l'opération est de **33 817m²** constitué de :

- Bureaux (477 m²) ;
- Commerces (230 m²) ;
- Halle de marché (668 m²) ;
- Surfaces diverses non occupées (312 m²)
- Parking aérien (de 950 places réparties sur 32 130 m²) (seulement au périmètre de l'étude énergie solaire).



Figure 2 : Perspective d'aménagement du programme

3.3 Caractérisation des besoins

3.3.1 Energie primaire, finale et utile

On distingue ainsi :

- **Énergie primaire** (en kWh_{ep}) : énergie brute (non transformée) puisée dans l'environnement (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, etc.). Concernant la production d'électricité à partir de combustible nucléaire, l'énergie primaire fait référence à la chaleur produite par le combustible avant transformation en électricité ;
- **Énergie finale** ou disponible chez l'utilisateur (en kWh_{ef}) : énergie qui se présente sous sa forme livrée pour sa consommation finale (essence à la pompe, fioul ou gaz « entrée chaudière », électricité aux bornes du compteur, etc.) ;
- **Énergie utile / besoin** (en kWh_{eu}) : énergie qui réalise effectivement la tâche voulue pour l'utilisateur après la dernière conversion par ses propres appareils (rendement global d'exploitation). Dans le cas de la chaleur délivrée à l'usager, on parle souvent de besoins de chaleur.

Le schéma de la chaîne énergétique, présentant les divers jeux de conversion entre les différentes formes d'énergie, est disponible ci-dessous :

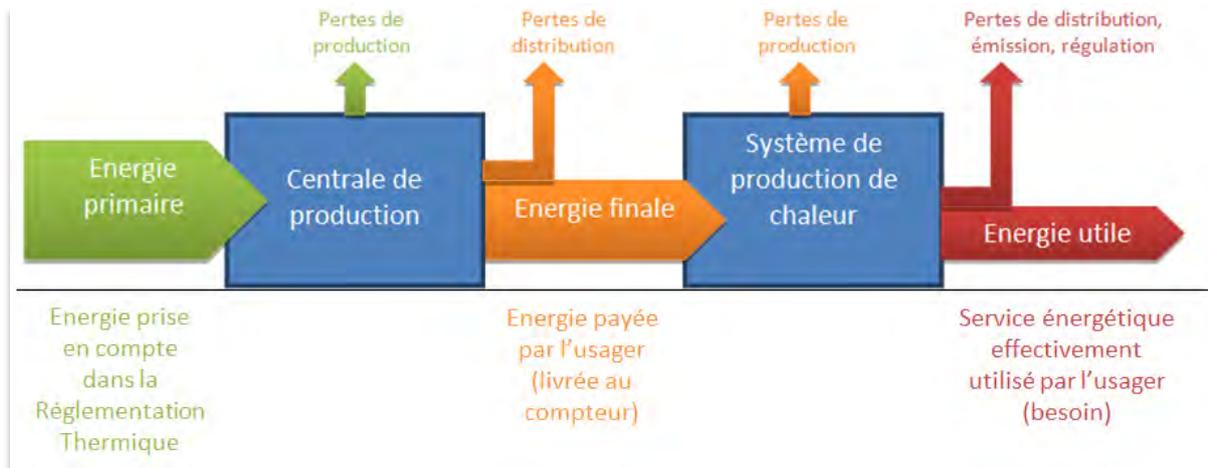


Figure 3 : Schéma de la chaîne énergétique

3.3.2 Choix du niveau de performance thermique

L'ambition énergétique du projet est définie par rapport à la RE2020.

La réglementation fixe une consommation maximale d'énergie primaire annuelle surfacique notée Cep_{max} , pour les usages suivants :

- La production de chaleur pour le chauffage ;
- La production de chaleur pour l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) ;
- La production de froid ;
- L'électricité réglementaire : éclairage des locaux, auxiliaires de chauffages et de ventilation.

Ce facteur Cep_{max} est modulable en fonction du climat et de la solution d'approvisionnement énergétique retenue, etc. Cependant, la présente étude est centrée sur la production énergétique : pour que la comparaison garde un sens physique, il a été décidé ici de travailler avec des bâtiments de même performance thermique, quelle que soit la solution étudiée (i.e. avec des besoins en énergie utile identiques).

De plus, la RE2020 est un mode de calcul à part entière, qui vise moins à prévoir les consommations énergétiques du futur bâtiment qu'à mettre en place une méthode de calcul transposable.

Afin de fournir une analyse globale réaliste, l'étude actuelle utilise des ratios de besoins en énergie surfacique qui correspondent à une conception architecturale visant à atteindre les objectifs de performance réglementaire. Ces ratios considèrent une consommation légèrement supérieure aux seuils réglementaire, basée sur des retours d'expérience et permettant d'inclure dans l'évaluation l'aspect facteur humain sur les besoins énergétiques.

L'objectif de la présente étude étant d'évaluer les besoins énergétiques opérationnels du bâtiment et non les besoins théoriques réglementaires.

3.3.3 Besoins énergétiques du site

► Bâtiments

L'estimation des besoins énergétiques annuels des activités du projet est réalisée sur la base des ratios présentés ci-dessous.

Tableau 1 : Besoins en énergie des bâtiments du projet (en kWh_{eu}/m²SDP)

Usage énergétique	Bureaux	Commerces	Halle de marché
Chauffage	15	35	5
ECS	3	3	0
Froid	10	10	5
Electricité (réglementaire + non réglementaire)	45	45	20

Ces ratios sont issus de retours d'expérience pour des bâtiments RE2020, ou construits à partir d'hypothèses, par exemple pour la halle de marché qui à date n'est prévue d'être ouverte que le samedi matin.

L'étude étant réalisée en amont du projet, ces ratios devront être ajustés au cours de la définition architecturale des bâtiments afin de valider, pour l'ensemble des usages énergétiques, qu'ils soient en adéquation. Par exemple, l'intégration dans la conception des bâtiments d'une gestion bioclimatique sera de nature à impacter le besoin énergétique.

Les besoins sont répartis comme décrit ci-dessous pour chaque usage :

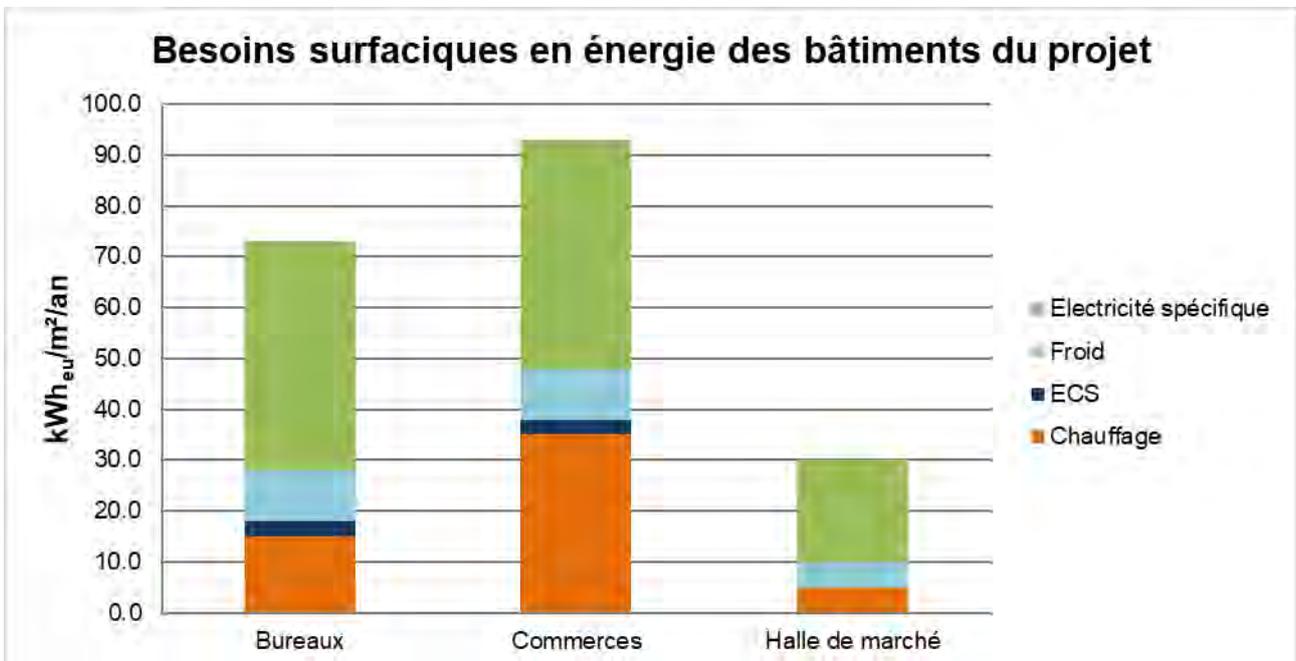


Figure 4 : Besoins surfaciques annuels en énergie du projet (kWh_{eu}/m²)

Sur l'ensemble des bâtiments du projet, les besoins en MWh_{eu}/an s'élèvent à :

Tableau 2 : Besoins en énergie totaux du projet par usage (MWh_{eu}/an)

Usage énergétique	Total	Bureaux	Commerces	Halle de marché
Chauffage	19	7	8	3
ECS	2	1	1	0
Froid	10	5	2	3
Electricité (réglementaire + non réglementaire)	45	21	10	13

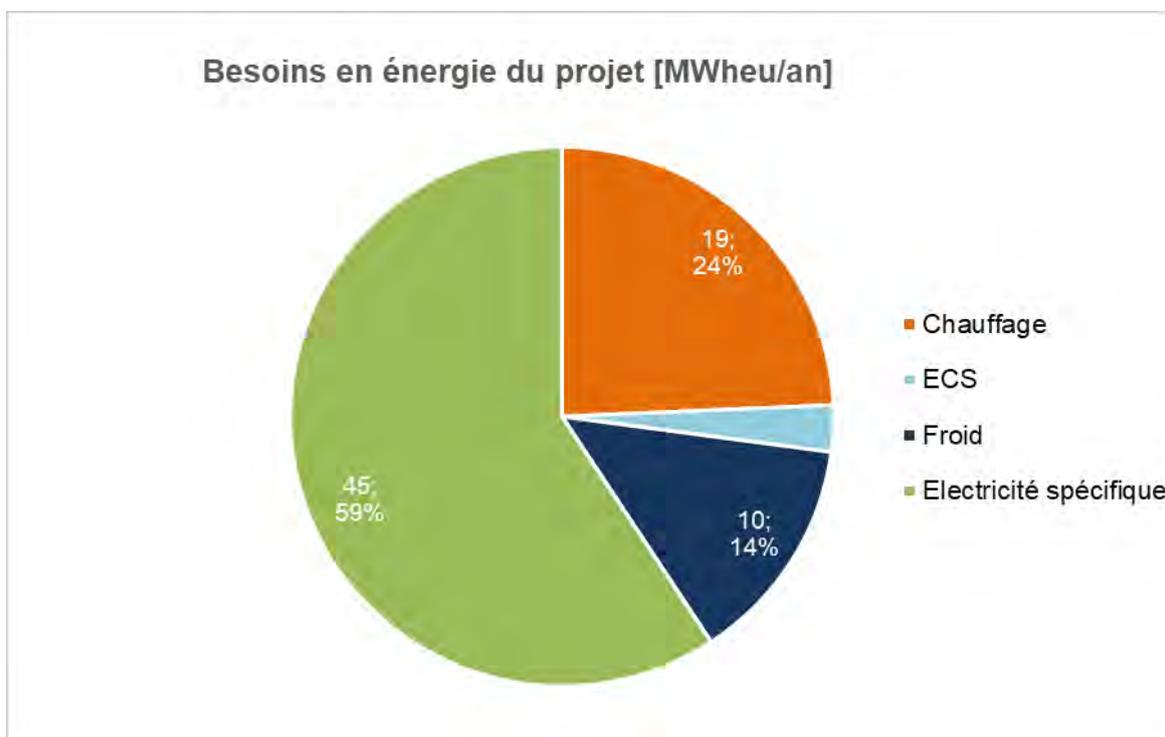


Figure 5 : Répartition des besoins en énergie totaux du projet par usage (MWh_{eu}/an)

► **Parking aérien**

Les estimations des besoins énergétiques du parking aérien ont été faites sur la base d'une modélisation à partir d'hypothèses provenant de la notice environnementale Vizea.

Celle-ci établit que les puissances surfaciques d'éclairage seront de 7 W/m² et que le parking aérien bénéficiera d'un apport d'éclairage naturel important (hypothèse confirmée par les coupes du parking), cette dernière donnée nous permet de réduire le temps d'utilisation d'éclairage et nous aboutissons à une consommation d'éclairage estimée à **591 MWh**.

La notice environnementale nous renseigne également sur la puissance des bornes IRVE de 129 kW, à partir de cette puissance nous estimons la consommation des bornes de recharge à **339 MWh** avec une incertitude élevée.

Le besoin énergétique total du parking aérien est donc estimé à **930 MWh**, résultat en cohérence avec l'estimation de la notice environnementale qui estime que les **541 MWh** d'énergie produite par les ombrières photovoltaïques pourra couvrir au minimum 60% des consommations du parking aérien.

4. Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération

4.1 Réseaux de chaleur ou de froid

L'étude de potentialité du raccord à un réseau de chaleur ou de froid existant ou la création d'un réseau est un des axes de travail obligatoire de l'étude de faisabilité ENR. En effet, ces solutions mutualisées de production énergétique sont un moyen de développer à grande échelle les énergies renouvelables. Le réseau de chaleur permet de bénéficier de l'effet de foisonnement² et donc parfois de diminuer les coûts d'investissement. Par contre, ils nécessitent une prise en compte particulière en amont du projet et souvent un portage fort de la part de l'aménageur.

4.1.1 Raccordement à un réseau existant

Après avoir consulté la base de données, le réseau de chaleur le plus proche est le réseau de chaleur SEER Grigny-Viry (à 2.6 km). Le taux EnR&R est de 76% avec un contenu de 68g/kWh de CO₂.

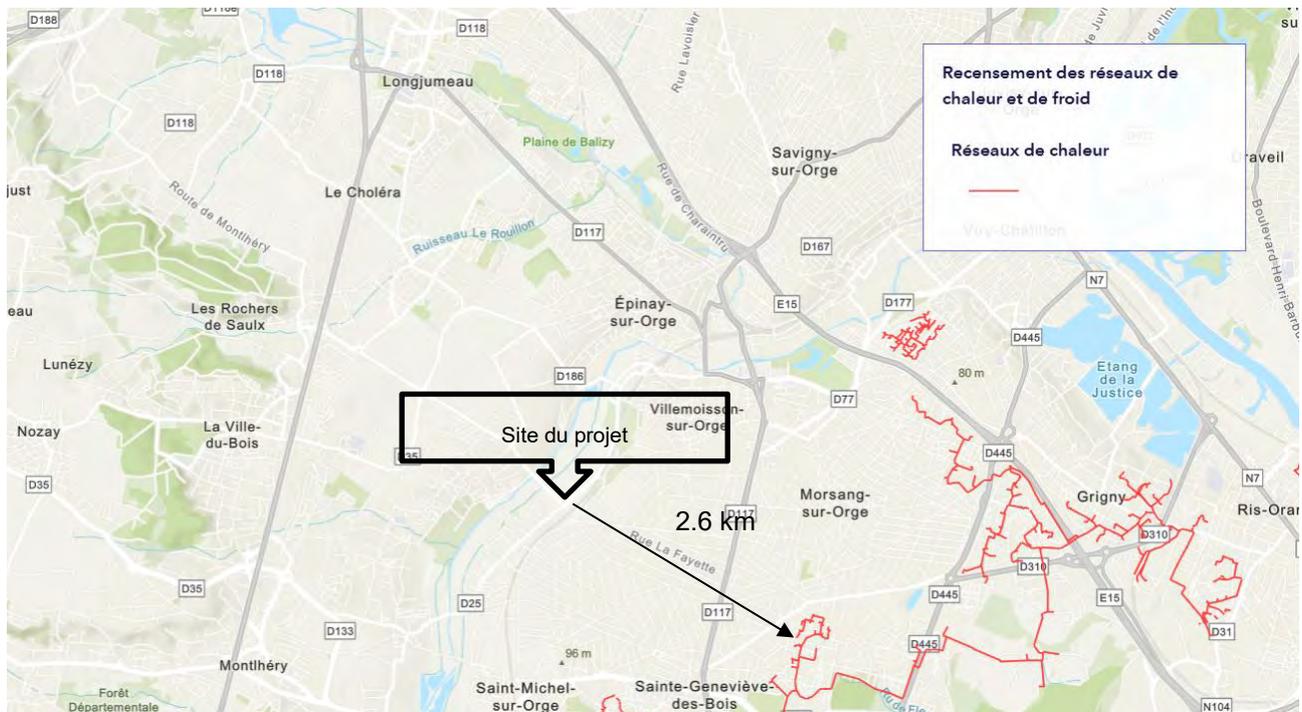


Figure 6 : Localisation du réseau de chaleur le plus proche (Source : <https://cartagene.cerema.fr/>)

Le réseau de chaleur actuel se trouve à une distance significative du site du projet, soit 2.6 km. Il semble improbable qu'un raccordement puisse être réalisé en raison des coûts élevés associés et des difficultés liées au raccordement.

Pour évaluer la pertinence du futur réseau, il est essentiel de calculer sa densité énergétique, représentant la quantité d'énergie distribuée sur la longueur du réseau à déployer. Une densité de réseau plus élevée justifie davantage l'installation, tandis qu'un réseau de faible densité entraînerait des pertes en ligne disproportionnées par rapport à l'énergie effectivement distribuée.

² Le phénomène de foisonnement est observé quand les usages de chaleur/froid sont désynchronisés sur la zone (usages de jour et de nuit par exemple). Dans ce cas, la mutualisation des systèmes de production énergétique permet un dimensionnement inférieur à la somme des équipements individuels. En pratique, plus la diversité des activités de la zone alimentée par un réseau est grande, plus le foisonnement est grand. Sur des réseaux urbains importants, ce foisonnement peut atteindre 50%, ce qui signifie que l'on peut réduire de moitié la puissance des équipements par rapport à la somme de celles des solutions individuelles.

Avec 21 MWh de besoin de chaud estimés sur l'ensemble du programme, il y a trop peu de besoins mutualisable pour envisager la création d'un futur réseau de chaleur pour le programme.

Par exemple le seuil d'éligibilité de l'aide Fonds Chaleur de l'ADEME, est de 1,5 MWh/ml/an alors que lorsque l'on imagine à minima 500mL de réseau interne au programme on obtient une densité énergétique de 0.042 MWh/(mL.an).

Cette solution ne sera donc pas retenue par la suite.

Conclusion sur la ressource

Les réseaux de chaleur existant ne sont pas à proximité du site.

La création d'un réseau de chaleur à l'échelle du site ne serait économiquement pas intéressante étant donné les faibles besoins de chaud mutualisables au sein du programme.

Solution non retenue pour la suite de l'étude.

4.1.2 Raccordement à un réseau de froid existant

Après consultation des bases de données existantes, aucun réseau de froid ne passe à proximité du site.

De plus, de même que pour le réseau de chaleur, les besoins froids sont faibles à l'échelle du programme et ne justifient pas la création d'un réseau de froid connecté au projet.

Cette solution ne sera donc pas retenue pour la suite

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue pour la suite de l'étude.

4.2 Energie hydraulique

L'hydroélectricité est la première source renouvelable d'électricité en France métropolitaine en termes de production. Les installations hydroélectriques représentent 12% de la production d'électricité française (énergie), et 19% de la capacité électrique installée (puissance) sur le territoire en 2021 (soit environ 26 GW).

L'étude du réseau hydrographique de la zone montre qu'aucun cours d'eau exploitable pour l'hydroélectricité n'est à proximité du site du projet.

Conclusion sur la ressource :

Aucune ressource à proximité

Solution non retenue pour la suite de l'étude.

4.3 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 également 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 pour le projet : la

production d'électricité par panneau solaire photovoltaïque et la production d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique.

4.3.1 Potentielles contraintes à anticiper

4.3.1.1 Projet à proximité de monuments historiques

Les articles L. 313-1 et 2 du code de l'urbanisme imposent la consultation de l'Architecte des Bâtiments de France (ABF) lorsque les projets de travaux sont situés dans un espace protégé tel que les abords de monuments historiques. La loi du 25 février 1943 instaure également un périmètre de protection de 500 m de rayon autour des monuments historiques, classés ou inscrits.

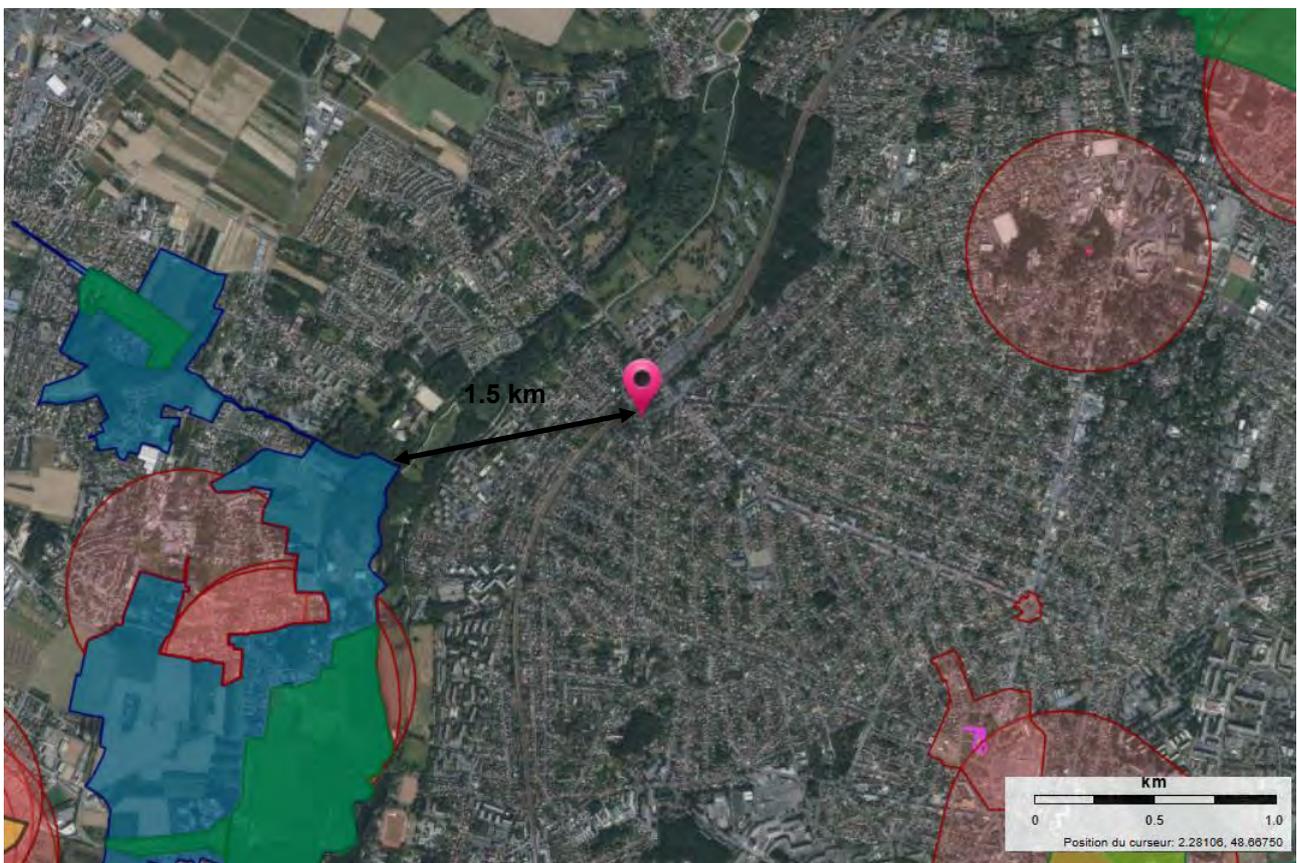


Figure 7 : Bâti remarquable, bâtiments historiques et distance vers la zone du projet (Source : <http://atlas.patrimoines.culture.fr/atlas/trunk/>)

D'après les informations consultées sur la cartographie Atlas des patrimoines, la zone bleue contenant des sites patrimoniaux remarquables se situe à 1.5 km. Le projet n'est pas situé dans un périmètre de protection de monuments historiques.

4.3.1.2 Proximité avec des aérodomes

Le développement de photovoltaïque à proximité d'aérodomes peut être soumis à validation par la DGAC pour évaluer les risques d'éblouissement par reflets. Le projet n'est pas concerné.

4.3.1.3 Loi d'accélération des EnR

La loi d'accélération du développement des énergies renouvelables (EnR) incarne une étape cruciale dans l'engagement de la France en faveur d'une transition énergétique durable. Adoptée pour stimuler la croissance des sources d'énergie renouvelables, cette loi vise à renforcer la part des énergies propres dans le mix énergétique national. Elle offre un cadre réglementaire propice à l'essor des technologies vertes, facilitant les investissements et encourageant l'innovation dans le secteur des énergies renouvelables.

Parmi les mesures emblématiques de cette législation, on trouve des incitations financières, des simplifications administratives, et des exigences spécifiques pour certains secteurs, tels que l'obligation d'installer des ombrières photovoltaïques sur les parkings de plus de 1500 m². Cette initiative vise à exploiter l'espace disponible au-dessus des parkings pour la production d'énergie solaire, contribuant ainsi à la transition vers des solutions énergétiques plus propres et renouvelables.

Dans le cadre du projet de réaménagement du pôle gare de Sainte-Geneviève-des Bois, des ombrières photovoltaïques ne sont prévues que pour le parking aérien mais pas pour le parking à proximité du bâtiment de la halle de marché en raison de la présence de nombreux arbres qui empêchent l'installation d'ombrières.

4.3.2 Intégration des capteurs solaires sur le programme

L'intégration des capteurs solaires doit être anticipée en amont du projet pour faciliter leur intégration à la toiture. Cela signifie qu'il est essentiel de considérer dès le début de la conception du projet comment ces capteurs seront pourront être installés. Un système d'intégration approprié doit être prévu pour assurer une fixation sûre et esthétique des modules solaires.

En outre, il est crucial de prendre en compte les contraintes de reprise de charge dès la conception du projet. Les capteurs solaires ajoutent un poids supplémentaire à la toiture (environ 20 à 25kg/m²), et il est important de s'assurer que la structure du bâtiment est conçue pour supporter cette charge supplémentaire.

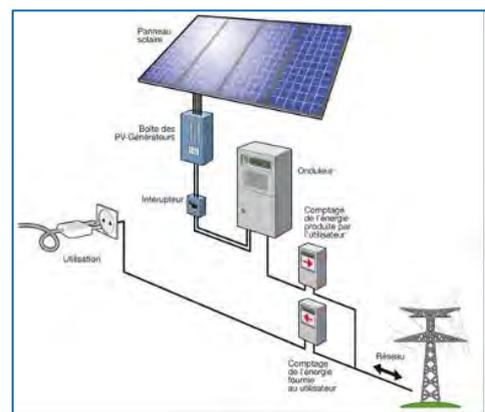
En intégrant ces aspects dès le début du projet, on évite des modifications coûteuses ou des problèmes d'intégration tardive, ce qui permet d'optimiser le coût d'intégration du système solaire installé. Cela permet également de garantir que le projet sera conforme aux normes de sécurité et de performance requises.

Dans le cadre du projet d'aménagement du pôle gare, et comme le montre la figure 2, les toitures des bâtiments sont végétalisées et ne permettent pas l'installation en toiture de panneaux photovoltaïques.

4.3.3 Solaire 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 entre les périodes de besoin en électricité et les périodes de production pour les usages électriques majeurs du site, 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.

► **Production :**

A partir du dimensionnement de calcul de la notice environnementale du projet entier fournie par la Maitrise d'ouvrage, le dernier niveau du parking aérien sera équipé pour 30% de sa surface de panneaux photovoltaïques monocristallin MAXEON 3 d'une puissance de 226 Wc/m² et la surface considérée comme mobilisable pour l'installation de modules photovoltaïques, est d'environ 2 150 m², la puissance estimée sera de 485 kWc et la production maximale annuelle est estimée à l'aide d'une modélisation PVGIS à **557 MWh/an**.

Production énergétique mensuelle du système PV fixe

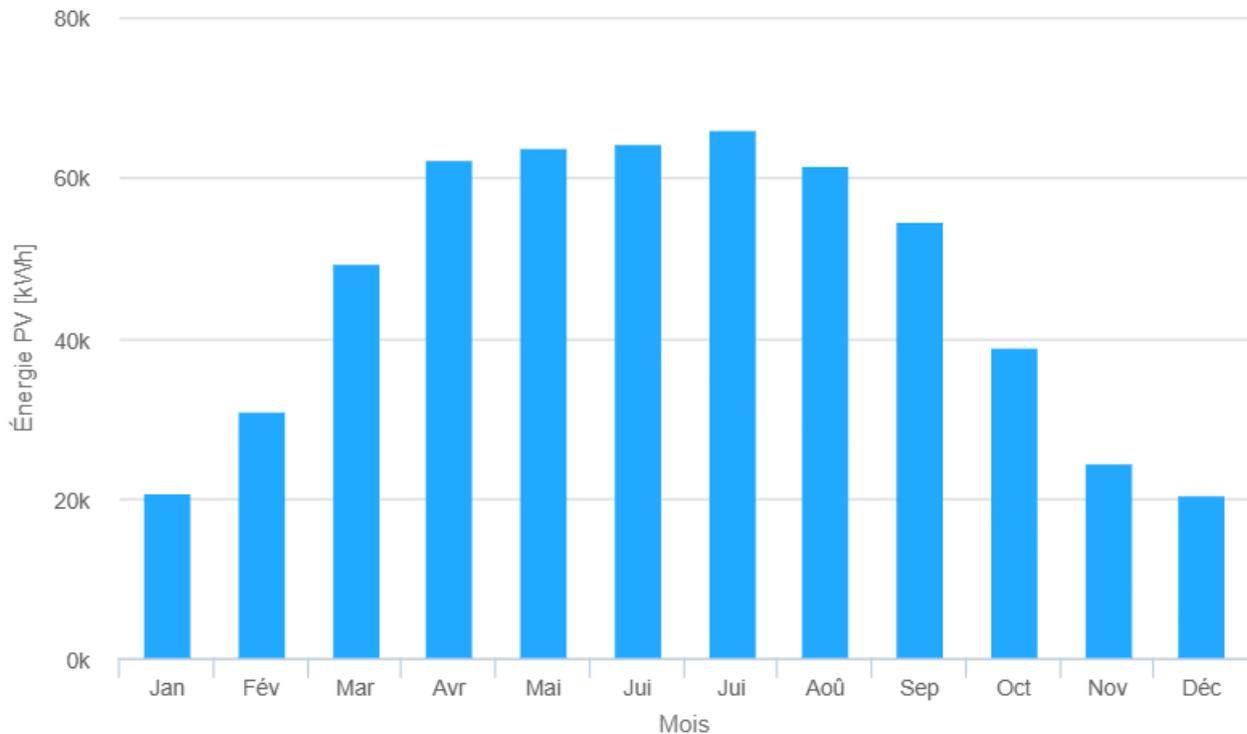


Figure 8 : résultat de modélisation PVGIS

Les besoins d'électricité du parking aérien du projet sont estimés à **930 MWh** par an. Avec la puissance photovoltaïque envisagée, la production d'électricité photovoltaïque pourrait théoriquement couvrir près de 60% des besoins électriques du parking l'ensemble de cette consommation. **Approche qui reste uniquement théorique, car suppose une capacité de valoriser en autoconsommation l'intégralité de la production ce qui ne sera pas le cas dans la réalité.** Un atout néanmoins non négligeable que présente le parking est que ses besoins en électricité ne sont pas intermittents en fonction de la saisonnalité de par l'usage des bornes IRVE pour la recharge des véhicules électriques constant toute l'année, qui offre de bonnes perspectives quant à la valorisation de l'énergie produite et son autoconsommation.

► Condition de raccordement des installations de PV :

Pour une valorisation de l'énergie via la vente de l'énergie sur le réseau public, le tarif de vente de l'électricité photovoltaïque dépend de la puissance installée et de la date du raccordement. Les tarifs sont révisés régulièrement en fonction du nombre de raccords à l'échelle nationale.

Si la vente de toute l'électricité produite sur le réseau (mécanisme de « vente totale » via les tarifs d'achat) était la norme jusque dans les années 2010, ce système tend à s'essouffler (les tarifs d'achats baissent tous les trimestres). Inversement, l'autoconsommation (consommation prioritaire de l'électricité produite) est en plein essor, car le prix de l'électricité conventionnelle augmente et rend plus compétitif l'autoconsommation de l'énergie produite. En fonction de la taille des projets, des primes à l'achat sont mises en place dans ce cas de figure. Une étude de faisabilité photovoltaïque détaillée est à réaliser pour évaluer les montants des aides, les coûts d'investissement, la rentabilité, etc.

Après première analyse, l'autoconsommation de l'énergie photovoltaïque semble pertinente et permettrait de contribuer à la performance du parking aérien silo.

En revanche il ne semble pas y avoir d'axe possible d'installation de panneaux photovoltaïques en toiture des bâtiments .

Conclusion sur la ressource

Solution déjà considérée par la maîtrise d'œuvre pour le parking aérien.

Dans le cas d'une confirmation de la mobilisation de la filière solaire photovoltaïque, l'intégration des modules en toiture est à anticiper.

Les deux modes de valorisation, en vente sur le réseau et en autoconsommation, sont à considérer mais le mode autoconsommation reste privilégié.

La solution n'est toutefois pas considérée pour le reste de l'étude se limitant au périmètre des bâtiments (bureaux, commerces et halle de marché) en raison du choix architectural et bioclimatique de toitures végétalisées.

4.3.4 Solaire thermique

Le solaire thermique correspond à la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique. Traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température ; les plus répandues dans le secteur du bâtiment sont la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de locaux.



Cependant, la productivité du solaire thermique est plus élevée en période estivale, lorsque chutent les besoins en chauffage. Pour cette raison, le solaire thermique est utilisée le plus fréquemment pour la production d'eau chaude sanitaire, dont les besoins sont pratiquement constants toute l'année.

Conclusion sur la ressource

Le projet présente des besoins faible d'ECS.

La solution n'est pas retenue pour la suite de l'étude.

4.4 Energie éolienne

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.

4.4.1 Grand éolien (puissance > 350 kW)

L'installation de grandes éoliennes n'est pas envisageable en milieu urbain à cause des nuisances et des risques générés.

Conclusion sur la ressource

Le grand éolien n'est pas envisageable sur le projet.

4.4.2 Moyen et Petit éolien

Le moyen éolien ($36 \text{ kW} < P < 350 \text{ kW}$) est généralement composé de petites éoliennes à axe horizontal adaptées au milieu rural.

Le petit éolien ($< 36 \text{ kW}$) 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.



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 alentour.

Une note de l'ADEME parue en octobre 2013 rend compte de ces difficultés : « Dans les conditions techniques et économiques actuelles, le petit éolien ne se justifie généralement pas en milieu urbain. Outre le fait que les éoliennes accrochées au pignon d'une habitation peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment, le vent est, en milieu urbain et péri-urbain, en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ». De surcroît, la loi de finance 2016 a supprimé le petit éolien des systèmes éligibles au crédit d'impôt à partir du 1^{er} janvier.

Conclusion sur la ressource

Le petit et le moyen éolien présentent un potentiel faible sur le projet.

4.5 Combustion de biomasse

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques représente une part importante de l'objectif de la France qui, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, s'est engagée à porter à hauteur de 32% sa part EnR dans sa consommation énergétique finale d'ici 2030 selon l'ADEME.

La combustion de la biomasse est « non émettrice de Gaz à effet de serre », car l'intégralité du CO₂ 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 CO₂ 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 kgCO₂e (source : ADEME) du aux transformations de la récolte jusqu'à sa mise en forme combustible. Au regard des autres énergies (0,235 kgCO₂e pour 1 kWh PCI de gaz produit puis brûlé), la biomasse reste une énergie peu carbonée.

4.5.1 Bois énergie

La ressource en bois énergie en France est importante et concerne principalement les bois déchets non souillés (classe A) provenant des déchets des ménages, des déchets du BTP et des déchets provenant d'autres activités économiques (315 kt/an) ainsi que le bois forestier (280 kt/an).

Trois obstacles pénalisent généralement l'utilisation de la biomasse dans le cadre d'un projet.

- **Premièrement**, le trafic routier nécessaire à l'approvisionnement en biomasse est une gêne probable (nuisances sonores, encombrement du trafic) pour les riverains. En effet le projet étant situé en zone urbaine, cet aspect doit être pris en compte en fonction des conditions d'approvisionnement du site en ressources.
- **Deuxièmement**, s'ajoute la problématique de l'espace nécessaire pour la mise en place des chaufferies et pour le dépôtage dans des conditions de sécurité satisfaisantes et le stockage, aspect qui doit être pris en compte à ce stade du projet. Il est à noter que dans le cas où les valeurs de puissances utiles estimées sont supérieures à 1 MW (appoint compris), l'intégration à des bâtiments à usage non exclusif de chaufferie ne sera pas possible. Il est donc nécessaire, dans ces cas, de prévoir des locaux à usage exclusif de chaufferie. Etant donnée l'estimation des besoins très limités, une chaufferie biomasse plus son appoint affichera une puissance inférieure à 1MW.
- **Troisièmement**, la combustion de biomasse est émettrice de particules, ce qui impacte la qualité de l'air. Toutefois, cette problématique est aujourd'hui globalement maîtrisée, notamment sur les installations collectives et récentes et les équipements actuels permettent de respecter les normes de qualité de l'air en lien avec la problématique actuelle sur ce sujet.

La solution d'une chaudière biomasse centralisée pour les bâtiments du projet présente plusieurs désavantages non négligeables, pour des bâtiments qui comportent peu de besoins de chauffage.

Par exemple l'approvisionnement en biomasse dans une zone urbaine fréquentée ainsi que la nécessité d'intégrer une zone de stockage et une chaufferie dédiée représentent des freins compte tenue de l'enjeu faible du chauffage des bâtiments.

Enfin le projet présente une solution décentralisée, capable de répondre à la fois aux besoins de chaud et de froid, bien plus pertinente et que l'installation d'une chaudière biomasse à l'échelle du site qui devrait également être complétée par l'installation de PAC aérothermiques de puissances proches à celle prévues dans le scénario conventionnel pour assurer les besoins de froid des bâtiments du projet. Cette solution ne sera donc pas retenue pour la suite de l'étude

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue pour la suite de l'étude.

4.5.2 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 : alimentaire,
- 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.). A l'échelle de ce projet, il est difficile de conclure sur l'existence d'un réel potentiel. Pour mettre en œuvre l'utilisation de cette biomasse, une approche directe, spécifique à chaque producteur, serait à envisager et à mener à l'échelle d'un territoire plus vaste.

Par ailleurs, les considérations menées sur les contraintes du bois énergie (espace, fret, filtration de particules) sont applicables au cas de la biomasse agricole.

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue pour la suite de l'étude.

4.6 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 de ce projet.

4.6.1 Valorisation des déchets

Les déchets organiques peuvent produire une certaine quantité de biogaz, constitué à la fois de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) 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 CH₄ du biogaz peut aisément atteindre 50%.

Un habitant français moyen génère chaque année environ 350 kg soit un gisement en énergie de près de 250 kWh/an/personne.

Toutefois, les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement pour la collecte spécifique des déchets à méthaniser rendent ces opérations difficilement rentables. De plus, les déchets issus du quartier feront probablement l'objet de valorisation au niveau de l'Unité de Valorisation Energétique.

Pour l'ensemble de ces raisons, cette ressource ne sera pas retenue dans la suite de cette étude.

Conclusion sur la ressource

Solution non étudiée.

4.6.2 Valorisation des sous-produits agro-alimentaires

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 mais les conclusions faites sur la méthanisation des déchets urbains sont également valables pour cette ressource qui ne sera donc pas retenue.

Conclusion sur la ressource

Le site ne présente pas de potentiel en valorisation des sous-produits agro-alimentaires.

4.7 Géothermie

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.
- **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 les nappes d'eau souterraine et sols peu profonds dont la température est inférieure à 30°C et qui permet la production de chaleur via des équipements complémentaires (pompe à chaleur notamment).

Les trois premiers types de géothermie nécessitent **des investissements importants et sont réservés à des projets d'ampleur** (réseau de chaleur ou production d'électricité).

La géothermie très basse énergie semble être la plus pertinente en termes de potentiel et de faisabilité technique (réglementation, coûts, etc.) à l'échelle du projet. Seule cette forme de géothermie est donc détaillée dans ce rapport. 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, ou « PAC ») pendant la période estivale.

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,
- La géothermie sur sondes sèches, qui consiste à faire circuler un fluide caloporteur dans des sondes (circuit fermé), puis à en extraire la chaleur.

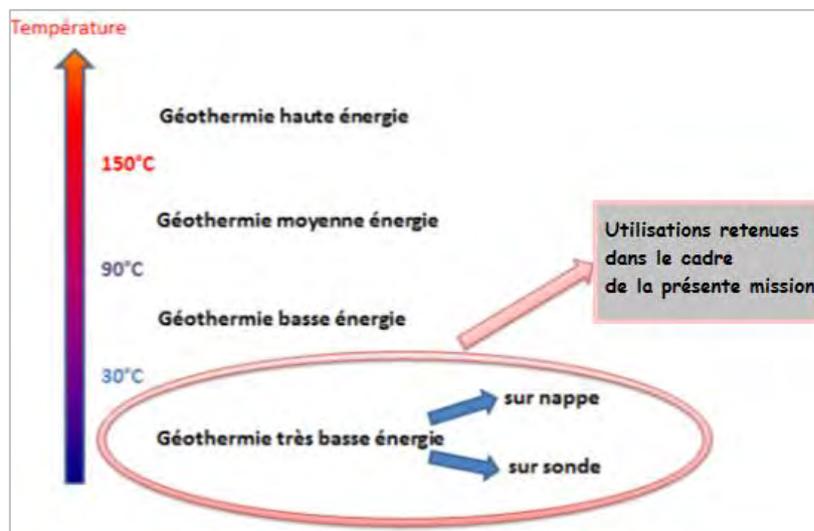


Figure 9 : Classes de géothermie

Ces usages de la géothermie nécessitent l'utilisation d'une pompe à chaleur qui permet d'exploiter au mieux l'énergie d'une source de température modérée.

4.7.1 Code Minier

D'un point de vue réglementaire, le Code Minier a instauré une réglementation dédiée pour la géothermie. En distinguant 2 catégories de projets

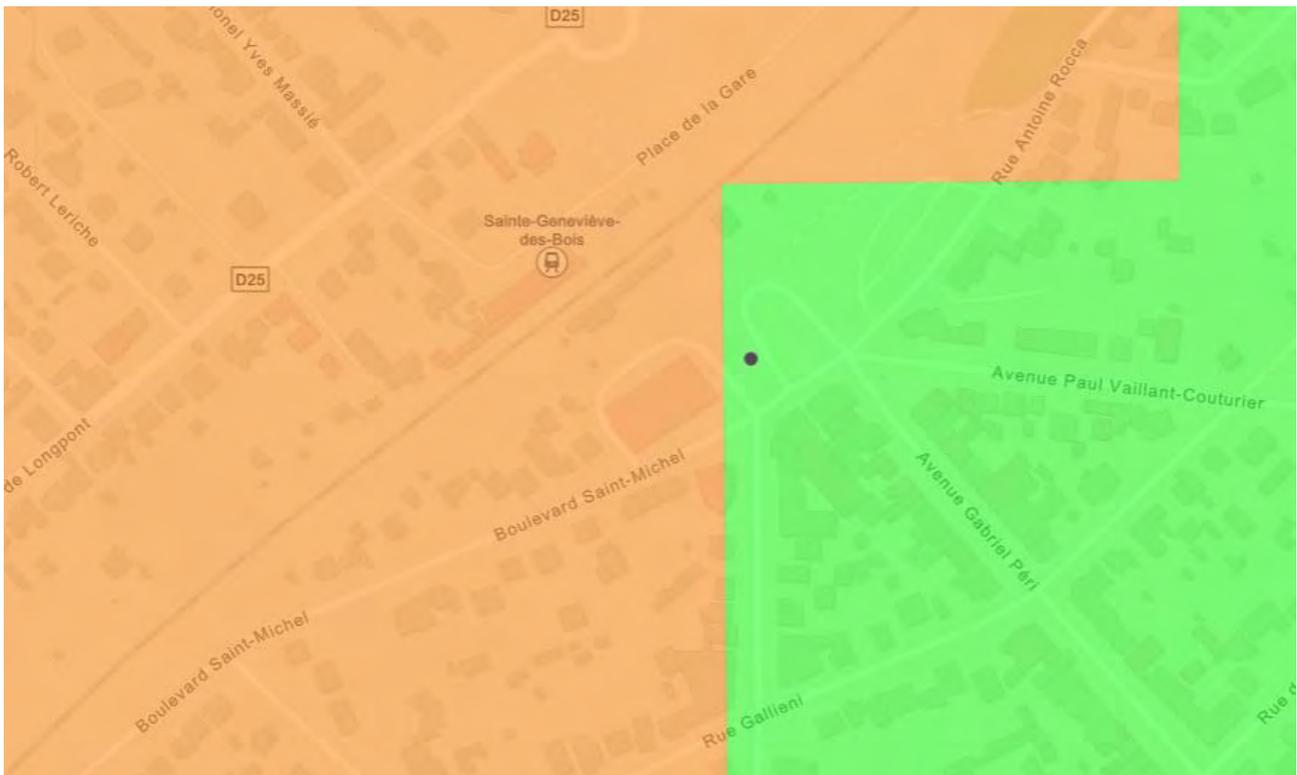
- La notion de gîte géothermique de minime importance (GMI) pour les projets inférieurs à 500 kW et inférieurs à 200 m de profondeur, qui sont soumis à une procédure de télé-déclaration et impose seulement le recourt à des entreprises (Bureau d'étude et foreurs) agréés.
- Les opérations de plus grandes dimensions qui doivent faire l'objet d'un dossier dit « code Minier » soumis à autorisation. Le délai d'autorisation est de 10 à 14 mois, mais il est à noter qu'il est décorrélé des autorisations d'urbanisme (PC, PLU) et que le soutien des autorités et des habitants conduit à une très grande acceptation de ces projets.

Afin de limiter les risques associés aux ouvrages, l'agrément d'un expert géologue avant la réalisation d'ouvrages géothermiques est fortement recommandé quel que soit le classement du site en GMI. Un

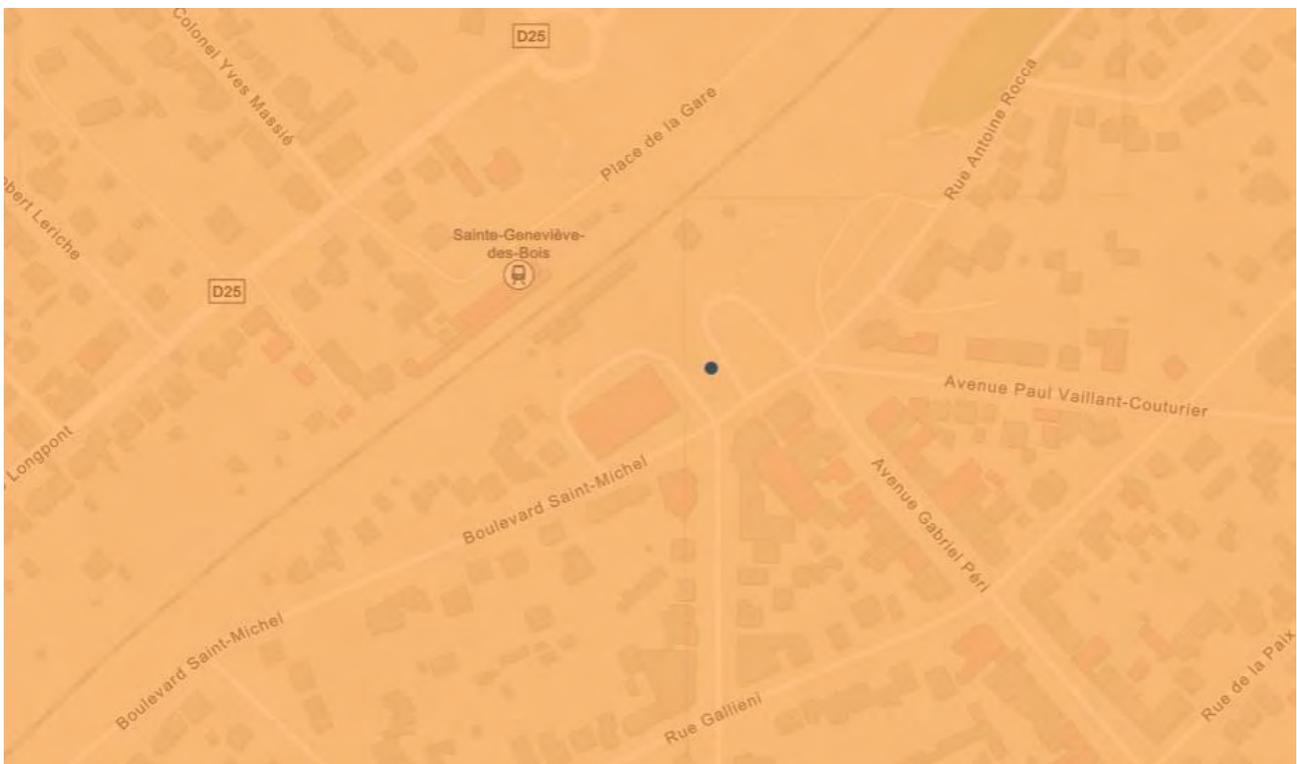
classement « vert » ou « orange » du site permettra à une installation respectant les conditions de la GMI (puissance, profondeur, débit, etc.) de s'affranchir d'une étude réglementaire code minier. Si la géothermie est retenue dans un scénario d'approvisionnement énergétique du programme, une étude de faisabilité géothermique est indispensable afin de déterminer les puissances et énergies soutirables et de dimensionner les ouvrages.

La carte de GMI indique que le projet se situe à la frontière d'une "zone verte" et d'une « zone orange » en ce qui concerne la GMI sur nappe, ce qui rend le site éligible à la GMI sur nappe sous réserve d'un avis émis par un bureau d'études tel que Ginger Burgeap.

La carte de GMI indique que le projet se situe dans la "zone orange" en ce qui concerne la GMI sur sonde (de 0 à 200 m de profondeur), ce qui rend le site éligible à la GMI sur sonde sous réserve d'un avis émis par un bureau d'études tel que Ginger Burgeap.



**Figure 10 : Classement GMI sur nappe pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91)
(Source : geothermies.fr)**



**Figure 11 : Classement GMI sur sonde (0 à 100 m de profondeur) pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91)
(Source : geothermies.fr)**



Figure 12 : Classement GMI sur sonde (100 à 200 m de profondeur) pour le site du pôle gare de Sainte-Geneviève-des-Bois (91) (Source : geothermies.fr)

4.7.2 Géothermie sur nappe

Une étude détaillée sur la filière géothermique sera nécessaire pour définir le potentiel de la ressource.

Un critère de rentabilité de la géothermie est la capacité du projet à valoriser l'énergie chaude et froide que peut produire l'installation géothermie. En effet, avec des besoins équilibrés à l'échelle de l'année en chaud et en froid, la géothermie peut être exploitée à son plein potentiel tout au long de l'année et ainsi amortir au mieux ses coût d'investissement. Le projet ne présente des besoins de froid suffisant et équilibrés avec les besoins de chaud seulement pour les bâtiments de bureaux.

Conclusion sur la ressource

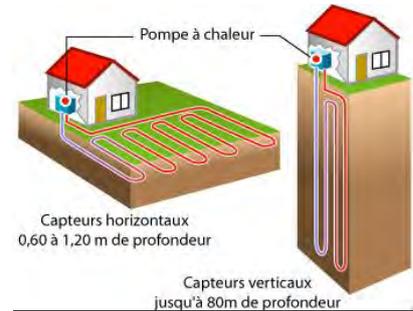
Des données complémentaires permettant de préciser le potentiel géothermique sur nappe seront nécessaires afin d'évaluer la pertinence de la solution aux regards des enjeux du projet.

De plus, le projet présente peu de besoins énergétiques, un forage sur nappe est en général justifié pour des projets plus importants, la solution de géothermie sur sondes sera plus adaptée aux besoins énergétiques du projet.

4.7.3 Géothermie sur sondes

Il est également possible de recourir à des sondes géothermiques verticales ou horizontales, plus coûteuses généralement, mais qui permettent d'exploiter des contextes géologiques défavorables à la géothermie sur nappe, ou plus perturbés.

Un fluide caloporteur les parcourt et capte la chaleur du sous-sol. Cette énergie est alors valorisée en énergie de chauffage au moyen d'une pompe à chaleur.



Dans un contexte d'opération relativement dense, les sondes verticales semblent davantage pertinentes pour réduire l'emprise au sol. Plus encore que la géothermie sur nappe, ce type de dispositif nécessite un équilibre minimum entre les besoins de chaud et de froid afin de permettre un fonctionnement optimal (éviter les dérives en température du sous-sol en cas de sur-sollicitation dans un seul mode). C'est pour ces raisons que la géothermie est envisageable au périmètre du bâtiment de bureaux pour l'approvisionnement à 100% de ses besoins chaud et froids qui sont équilibrés avec 8MWh de besoins de chauffage annuels et 5MWh de besoins de refroidissements annuels estimés.

L'implantation d'un champ de sondes nécessite une emprise au sol qui doit être identifiée le plus en amont possible du projet. Plusieurs solutions d'implantation sont possibles dans le cadre du projet :

- Sous les allées passantes à proximité des bâtiments ;
- Sous les bâtiments.

La géothermie sur sonde permet de mobiliser une énergie renouvelable pour la couverture des besoins en chaleur et en rafraîchissement pour des coûts d'exploitation très compétitifs.

► Productivité théorique de sondes :

Le calcul suivant permet d'estimer la productivité d'une sonde verticale. Le calcul devra être adapté aux caractéristiques du sous-sol si la solution est retenue :

P_{sol} , puissance thermique récupérable dans le sol par mètre linéaire de sonde (valeur standard conservative) = 25 W/ml ;

L, longueur de la sonde = 200 ml (pour des raisons de réglementation (cadre de la GMI), il est souvent choisi de ne pas forer au-delà de 200 m de profondeur³) ;

P_{sonde} , puissance thermique fournie par une sonde : $P_{sol} \times L = 5 \text{ kW}$;

COP, coefficient de performance global annuel en mode chaud = 5 ;

EER, (Energy Efficiency Ratio) ratio de performance en mode froid = 7 ;

P_{th} , puissance thermique fournie au bâtiment en sortie de PAC en mode chaud = $P_{sonde} * (1/(1-1/Cop))$
 = 6,25 kW/sonde

P_{th} , puissance thermique fournie au bâtiment en sortie de PAC en mode froid = $P_{sonde} * (1/(1+1/EER))$
 = 4,36 kW/sonde

Les besoins en puissance pour le chauffage et l'ECS des bureaux du sont estimés en première approche à 11 kW et 10 kW pour les besoins de refroidissement. Avec une puissance géothermique dimensionnée à 100% de cette puissance maximale, qui permet de couvrir l'intégralité de ces besoins **le nombre de sondes à installer est évalué à 3**.

Ce dimensionnement des sondes permettrait de couvrir l'intégralité des besoins de chaud et de froid des bureaux.

Avec un espacement entre chaque sonde de 8 à 10 mètres (en fonction de l'équilibrage chaud/froid et des caractéristiques du sous-sol), **l'installation d'un tel champ de sondes mobiliserait une emprise foncière de 100 m²**.

À ce stade du projet, la faisabilité d'une solution géothermique basée sur des sondes est présentée. Cependant, il est crucial d'analyser le contexte hydrogéologique dans le cadre d'une pré-étude de faisabilité afin de déterminer si l'exploitation de la nappe ou des sondes est plus appropriée. Des données supplémentaires seront nécessaires pour évaluer précisément le potentiel géothermique de la nappe, et ainsi déterminer la pertinence de cette solution par rapport aux enjeux du projet.

Dans la suite de l'étude, une solution décentralisée (géothermie) est reliée essentiellement aux bureaux du programme est prise en compte dans le calcul.

Conclusion sur la ressource

Solution intéressante, à retenir pour la suite de l'étude.

³ Le cadre réglementaire relatif à la géothermie dite "des sites géothermiques minime importance" prévu par le code minier est en consultation. Il précise une augmentation de la profondeur maximale ouvrages de 100 mètres à 200 mètres.

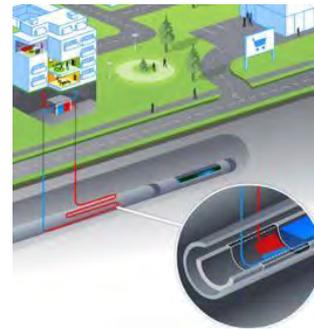
4.8 Récupération de chaleur sur eaux usées

Les eaux usées (issues de nos cuisines, salles de bain, lave-linge etc.) ont une température moyenne comprise entre 10 et 20°C (cette température varie bien sûr en fonction de la région et des saisons). Leur chaleur étant une énergie disponible en quantité importante dans les milieux urbains, une installation de ce type est envisageable pour des projets d'aménagements de logements notamment mais ne semble pas adapté au projet présent dans cette étude.

4.8.1 Installation collective (sur un réseau public)

Un échangeur sur un collecteur important (diamètre et longueur) associé à une pompe à chaleur réversible permet de fournir les calories/frigories aux bâtiments afin de les chauffer ou de les refroidir.

Bien que l'installation sur un réseau collectif permette d'accéder à un gisement plus important, l'investissement est élevé et la faisabilité est conditionnée à plusieurs paramètres indispensables (continuité du gisement, caractéristiques adaptées du réseau, proximité, besoin en basse température tout au long de l'année, etc.).



Au vu des besoins du projet et de sa situation géographique, cette solution ne présente pas d'avantage notable.

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue pour la suite de l'étude

4.8.2 Installation individuelle

A l'échelle individuelle, un récupérateur de chaleur permet d'utiliser les calories extraites des eaux usées générées par le bâtiment et d'économiser de l'énergie sur les besoins en chaleur (chauffage ou eau chaude sanitaire). Si les performances annoncées par les constructeurs sont intéressantes (jusqu'à 60% d'économie sur l'ECS), la mise en place de cette solution dépend fortement des choix réalisés sur le lot CVC lors de la conception des bâtiments. Dans un bâtiment affichant des besoins en ECS faibles, le potentiel de récupération est également faible tout comme les axes de valorisation des calories récupérées.

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue pour la suite de l'étude

4.9 Aérothermie

L'aérothermie consiste à utiliser une pompe à chaleur sur l'air extérieur. Si les investissements sont inférieurs à la géothermie (pas de forage), le coefficient de performance du système est globalement moins bon, car la température extérieure atteint des températures plus basses (particulièrement pendant la période de chauffage). Dans les cas extrêmes, le COP (rapport de l'énergie thermique obtenue sur l'énergie électrique dépensée) tend vers 1 et le système s'approche des performances d'un radiateur électrique à convection classique. Le recours à une pompe à chaleur est donc acceptable pour des bâtiments récents et bien isolés ayant des besoins de chauffage réduits dans des zones climatiques plutôt tempérées.

Dans le cas du projet, l'aérothermie est une solution de chauffage et de refroidissement qui pourrait convenir au bâtiment bureaux et commerces/services mais également pour la fourniture des besoins de chauffage des logements.

Dans la suite de l'étude, une solution décentralisée (aérothermie) est prise en compte dans le calcul.

Remarque : l'aérothermie, pour comptabiliser une part d'EnR dans sa production doit afficher un coefficient de performance moyen supérieur à 2,5 afin de compenser le coefficient de conversion de l'énergie électrique en énergie primaire (1kWh d'énergie électrique implique la consommation d'une quantité d'énergie primaire plus importante).

Conclusion sur la ressource

Solution retenue pour la suite de l'étude.

4.10 Cogénération

La cogénération ne représente pas en soi une source d'énergie renouvelable au sens strict du terme, mais est plutôt une variante technique d'une chaudière à gaz ou biomasse.

Un système de cogénération est conçu pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. L'électricité produite permet de combler des besoins électriques locaux (autoconsommation) ou peut être revendue sur le réseau électrique. Une partie de la chaleur de combustion est récupérée pour répondre aux besoins thermiques locaux : chauffage de bâtiments ou procédés industriels. Les équipements de cogénération sont habituellement activés par la combustion de gaz naturel ou de biomasse.

La viabilité financière des systèmes de cogénération est complexe et dépend de l'usage prioritaire qui en est fait.

Conclusion sur la ressource

Solution non étudiée.

4.11 Chaleur fatale industrielle

La récupération d'énergie sur la chaleur fatale industrielle consiste en la valorisation de la chaleur résiduelle d'un process (qui serait autrement perdue, car non utilisée par celui-ci) grâce à des échangeurs de chaleur.

Il n'existe pas d'industriels sur la zone de projet ni à proximité, il n'y a donc pas possibilité de récupérer de la chaleur fatale sur le projet.

Conclusion sur la ressource

Solution non retenue dans la suite de l'étude

4.12 Synthèse de l'analyse de potentiel en ENR

Tableau 3 : Synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
Hydraulique		Aucun cours d'eau significatif sur site ou à proximité	Inexploitable	<ul style="list-style-type: none"> - Energie maîtrisée en termes de mise en place et d'exploitation de la ressource - Gisement primaire gratuit 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissements importants - Impacts environnementaux forts (construction barrage, modification du débit donc impact sur la faune et la flore,...) 	Potentiel nul
Solaire	Thermique	Oui	Potentiel suffisant. En concurrence d'usage au niveau des zones mobilisables avec le photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> - Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'un système d'appoint - Production et consommation désynchronisées, implique stockage 	Potentiel faible (selon identification du besoins ECS du projet)
	Photovoltaïque		Potentiel suffisant. En concurrence d'usage avec solaire thermique.	<ul style="list-style-type: none"> - Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement important 	Potentiel fort (selon en toiture du parking aérien)
Biomasse	Bois-énergie	Forte au niveau régional (suivant les schémas directeurs énergie régionaux)	Suffisant au vu des besoins du projet	<ul style="list-style-type: none"> - Source décarbonée 	<ul style="list-style-type: none"> - Fret à considérer - Enjeu de la qualité de l'air - Emprise foncière importante 	Solution non pertinente pour le projet

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
	Biogaz	Déchets urbains	Faible			Potentiel inexploitable à l'échelle du site
Eolienne	Grand éolien	Impossible en secteur urbain				
	Petit éolien	Aléatoire et d'ampleur non significative				
	Haute énergie					
	Moyenne énergie					
	Basse énergie					
Géothermie	Très basse énergie	PAC sur nappe	Oui	A priori suffisant, à confirmer à l'aide d'études complémentaires	- Investissement conséquent, nécessité d'un appoint	Potentiel moyen à consolider par étude détaillée
		PAC sur sondes	Présence d'aquifères à confirmer Potentiel moyen	Suffisant	- Source d'énergie peu chère (électricité à haut rendement) - Nuisances réduites	- Nécessite un équilibre entre les besoins de chaud et de froid - Investissement conséquent et nécessité d'un appoint - Emprise au sol importante

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
Aérothermie		Oui	Potentiel suffisant	- Investissements faibles	- Moins performante que la géothermie	Potentiel moyen à fort
Réseaux de chaleur		À 2.6 km du site du projet	Potentiel important avec capacité à fournir l'intégralité de la puissance et de l'énergie demandée au chaud (Chauffage +ECS)	- Taux d'EnR élevé	- Aucune maîtrise de l'évolution du prix de l'énergie sur le long terme (contrairement aux énergies renouvelables localement captées)	Potentiel nul en raison de la trop faible densité énergétique qu'afficherait un réseau
Réseaux de froid		Pas de réseau de froid à proximité				
Récupération de chaleur fatale	Eaux usées	Pas de collecteur d'ampleur à proximité				Solution non pertinente pour le projet
	Industriels	Pas de présence de site industriel à proximité				Solution non pertinente pour le projet

5. Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus

Au regard de l'analyse des besoins du site précédemment présentée et de l'analyse du potentiel en énergies renouvelables, les scénarios d'approvisionnement suivants sont identifiés comme pertinents pour le projet :

► Scénario « conventionnel »

Couverture des besoins de chaud et de froid à partir de **groupes aérothermiques**.

Ce scénario est le scénario identifié comme le plus simple à mettre en œuvre avec la solution énergétique la plus conventionnelle. C'est également le scénario qui présente la plus faible performance environnementale avec une mobilisation des EnR limitée à la production de la chaleur et conditionnée à des machines thermodynamiques performantes affichant un COP élevé.

Les principaux avantages de ce scénario sont les suivants :

- Coûts d'investissement faibles ;
- Mobilisation foncière faible ;
- Etudes de conception et phase travaux simplifiées avec une solution technologiquement simple, mature et très conventionnelle.

Les principaux points faibles de ce scénario « conventionnel » sont les suivants :

- Prix de l'énergie fortement dépendante au prix de l'électricité et donc une facture pour le chauffage non maîtrisé dans le temps ;
- Taux de mobilisation d'EnR plus faible que pour l' autre scénario ;
- Risque d'effet d'îlot de chaleur urbain en été avec possibilité de fonctionnement des groupes aérothermique en mode froid ;
- Contrainte sonore dans le quartier lié aux unités extérieurs ;

► Scénario « EnR 1 »

Mise en place de la **géothermie** pour la couverture des besoins en chaud et des besoins en froid des bureaux du projet. Appoint pour les besoins en chaud et froid du reste du projet à partir de groupes aérothermiques.

Ce scénario permet de valoriser le potentiel énergétique du sous-sol grâce à la géothermie. Avec un projet présentant des espaces extérieurs, le positionnement d'un champ de sondes ou d'un doublet (pompage – injection) pour de la géothermie sur nappe semble pertinent. Un champ de sonde géothermique peut également être positionné sous le bâtiment. Ce scénario doit être confirmé par une étude de faisabilité géothermique.

Les principaux avantages de ce scénario sont les suivants :

- Forte mobilisation des EnR sur le chaud et le froid ;
- Prix de revient de l'énergie faible en exploitation et faiblement dépendant de la fluctuation des énergies primaires ;
- Solution nécessitant peu de maintenance en phase d'exploitation ;
- Possibilité de mobiliser des subventions pour alléger les coûts d'investissement.

Les principaux points faibles de ce scénario géothermie sont les suivants :

- Coût d'investissement important ;
- Etudes amonts indispensables pour caractériser le gisement et dimensionner les installations.

► Photovoltaïque

Le système **photovoltaïque** est identifié comme une solution pertinente pour couvrir partiellement (60%) les besoins en énergie électrique du parking aérien en utilisant la production d'électricité des panneaux photovoltaïques en toiture pour de l'autoconsommation. Cette solution est à considérer en parallèle des solutions sur la couverture des besoins thermiques identifiés ci-dessus – Scénario conventionnel et scénario EnR1.

Avantages :

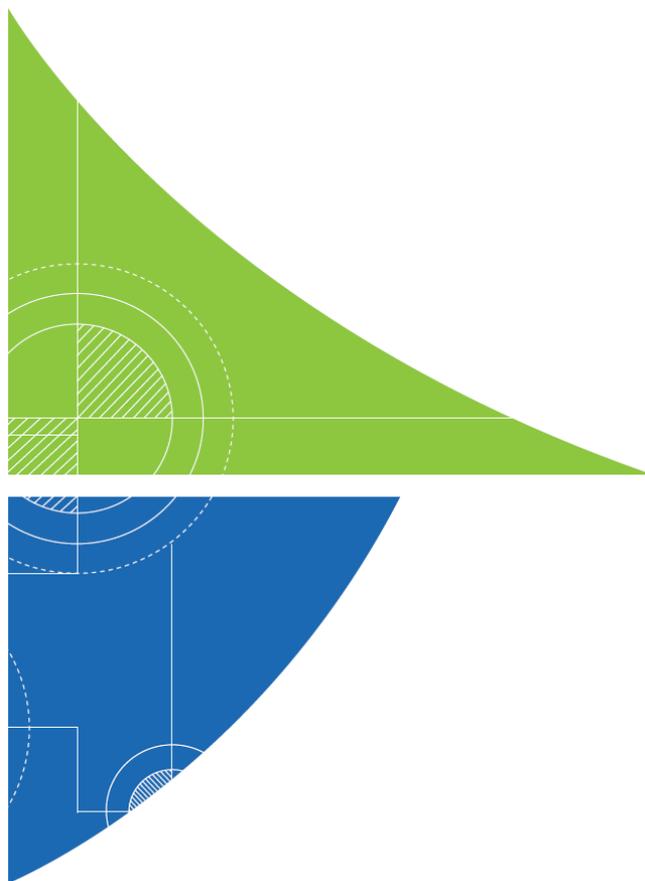
- Économies sur la facture électrique : Les systèmes photovoltaïques en autoconsommation permettent de réduire la facture d'électricité.
- Énergie renouvelable : L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable qui ne produit aucune émission ni polluant durant sa phase d'exploitation.
- Indépendance énergétique : Un système photovoltaïque permet de réduire la dépendance des bâtiments à l'électricité du réseau.
- Faible entretien : Les panneaux solaires nécessitent très peu d'entretien et affiche une durée de vie supérieure à 25 ans.

Inconvénients :

- Coûts initiaux élevés : Le coût de l'installation d'un système photovoltaïque solaire peut être assez élevé, ce qui constitue un frein à son déploiement.
- Mobilisation foncière : Les modules solaires nécessitent une emprise foncière importante, ce qui pose des problèmes de concurrence d'usage. L'intégration de modules photovoltaïque dans un programme doit être identifiée en amont afin de gérer la contrainte d'utilisation de l'espace (généralement en toiture).

Tout comme les maîtres d'œuvres l'ont fait nous préconisons d'envisager une combinaison de l'énergie solaire en parallèle des scénarios EnR identifiés, car cela constitue une solution intéressante pour améliorer la performance environnementale du programme à l'usage et réduire les factures énergétiques.

CAHIER 2



6. Dimensionnements techniques

La consommation énergétique seule ne suffit pas à caractériser une installation de production énergétique. Il faut également étudier sa puissance. La puissance d'une installation est sa capacité à dispenser de l'énergie plus ou moins rapidement. Or, les besoins calculés précédemment ne sont pas constants tout au long de l'année. Ils varient en fonction de paramètres climatiques (température extérieure, apports solaires) et d'usage (occupation des bâtiments, utilisation des équipements, etc.)

Pour retrouver cette puissance, les besoins énergétiques déterminés précédemment sont croisés avec des profils de consommation en fonction des usages (chauffage, froid, ECS) et des activités (logements, bureaux, commerces, etc.). Ces profils de consommations sont construits à partir de données météorologiques et de différents retours d'expérience (campagnes de mesures, simulations thermiques dynamiques). Un exemple de profil annuel est donné dans la figure qui suit.

Des profils « type » de consommation sont ici utilisés pour mieux appréhender la saisonnalité des besoins en énergie, et les niveaux de puissance à mettre en œuvre. Cette première estimation ne remplace pas les études de dimensionnement à réaliser en phase de conception.

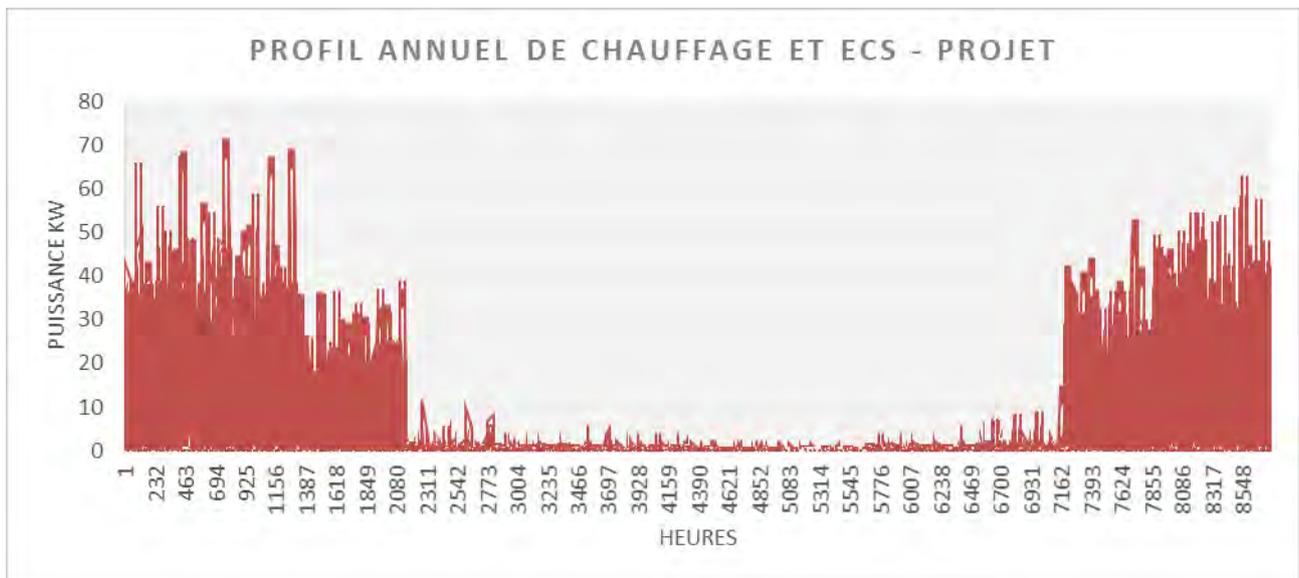


Figure 13 : Puissance chauffage + ECS

Un outil développé en interne permet d'analyser et de croiser ces profils, afin de construire la monotone de puissance qui représente la répartition annuelle des puissances appelées. Elle permet donc d'analyser le régime de fonctionnement de l'installation au cours de l'année et de définir les besoins en puissance.

Pour une installation de production de chaleur fonctionnant environ 6 400 heures au cours de l'année, on s'aperçoit que le régime de fonctionnement varie fortement et n'est réellement élevé que durant 1 000 heures environ. Le maximum atteint est la puissance à installer pour garantir une capacité du système à répondre à la demande lors des pointes de consommation.

6.1 Scénario Econv

Rappel : le scénario conventionnel prévoit la production de chaleur et de froid grâce à des PAC aérothermiques.

► Production de chaleur

La puissance utile installée théorique, nécessaire pour couvrir 100% des besoins de chaleur cumulés (chauffage et ECS) est égale à la somme des puissances maximale appelée par le bâtiment de bureaux et le bâtiment regroupant la halle de marché et les commerces. Elle est estimée à **77 kW** pour l'ensemble du périmètre d'étude. Cette puissance permet de couvrir le besoin en chauffage et en ECS.

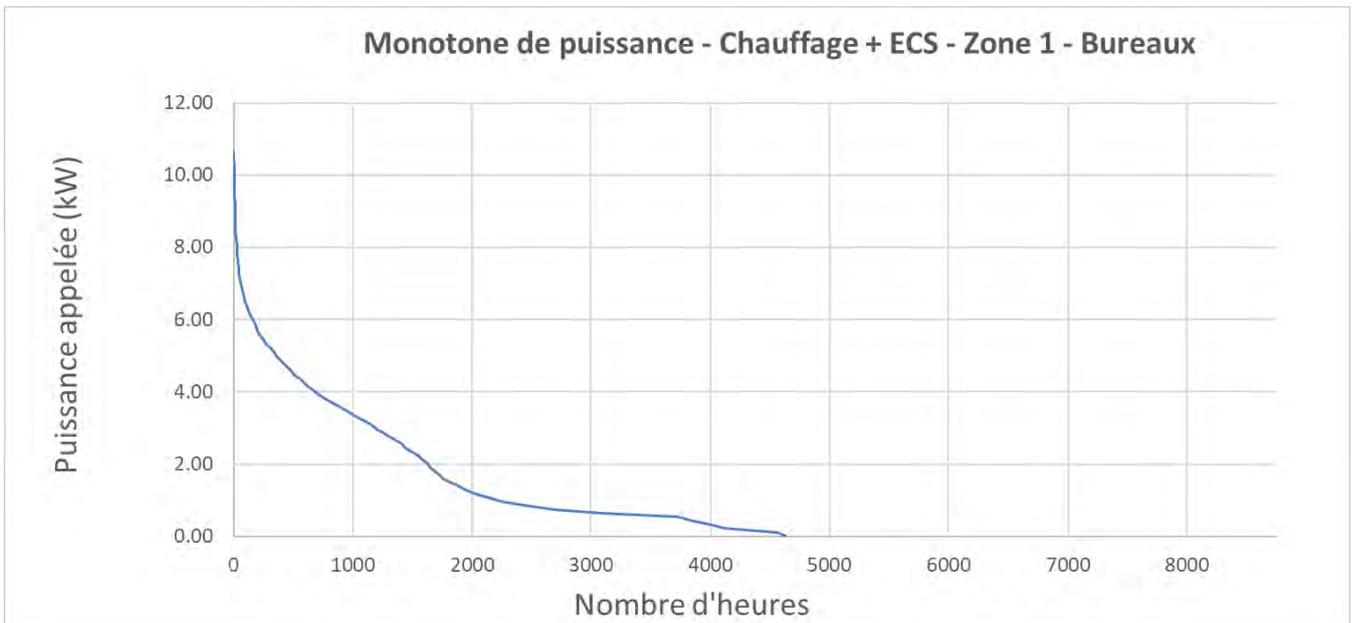


Figure 14 : Monotone de puissance des besoins de chaleur zone de bureaux

La puissance correspondante aux besoins chaud pour le bâtiment regroupant les bureaux est de 11 kW.

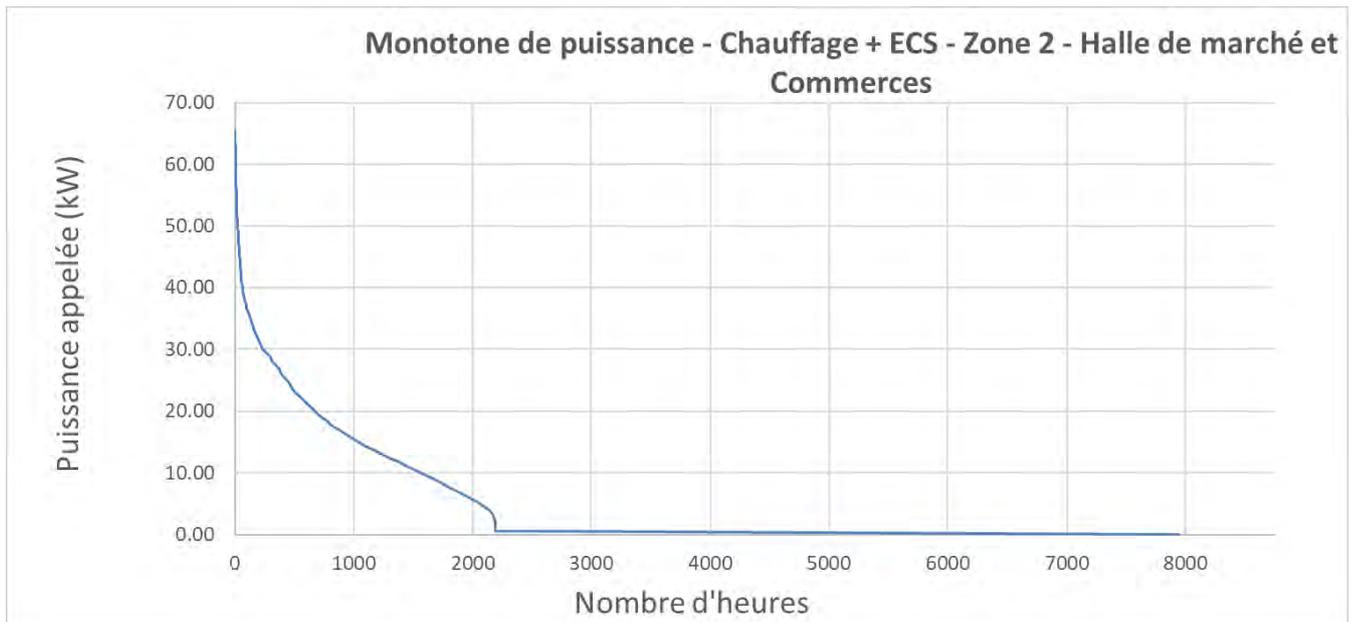


Figure 15 : Monotone de puissance des besoins de chaleur zone halle de marché et commerces

La puissance correspondante aux besoins chaud pour le bâtiment regroupant les bureaux est de 66 kW.

► **Production de froid**

La puissance totale utile installée nécessaire pour couvrir 100% des besoins de froid du site est estimée à **72 kW**. Les besoins de froids sont donc couverts par la puissance utile de PAC installée calculée à partir des besoins de chaleurs cumulés du site.

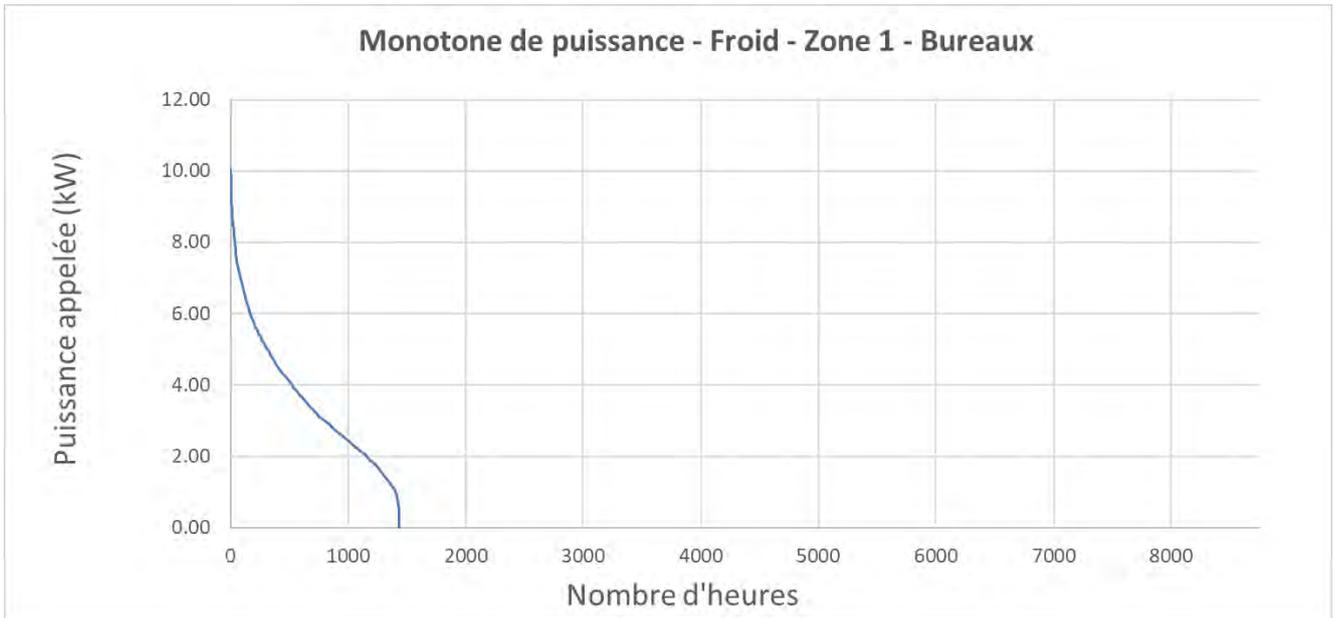


Figure 16 : Monotone de puissance des besoins de froid zone de bureaux

La puissance correspondante aux besoins froid pour le bâtiment regroupant les bureaux est de 10 kW.

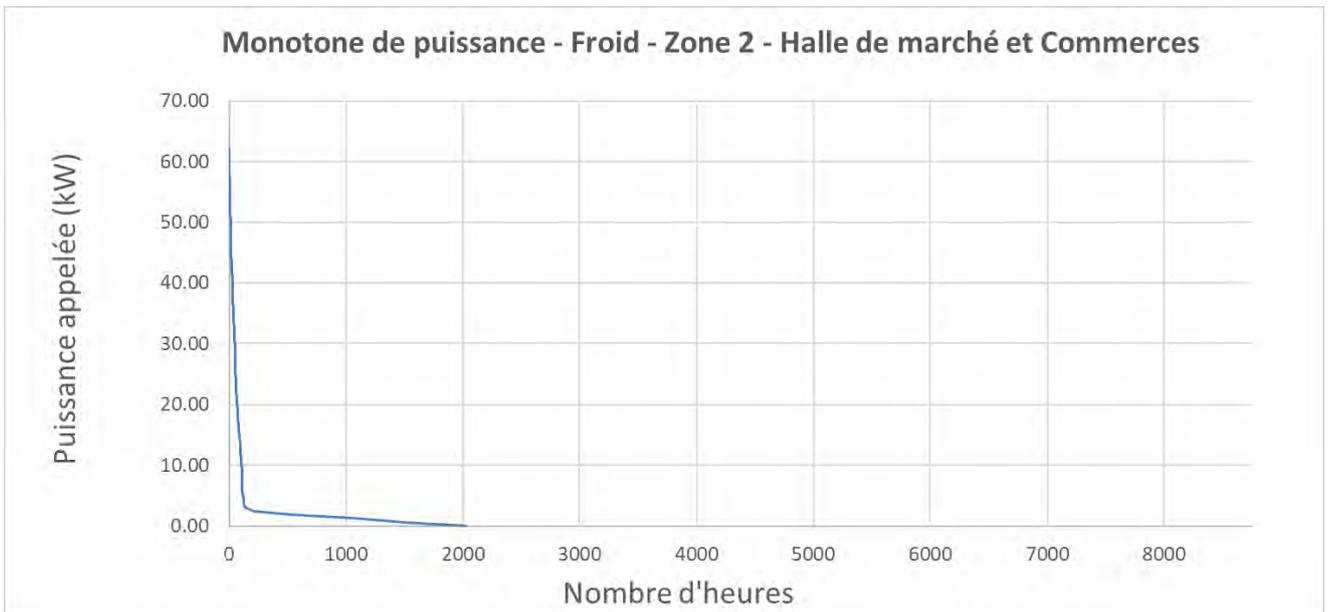


Figure 17 : Monotone de puissance des besoins de froid zone halle de marché et commerces

La puissance correspondante aux besoins froid pour le bâtiment regroupant les bureaux est de 62 kW.

On observe un nombre réduit d'heures avec des besoins de froid mais un pic de puissance maximal appelé important qui s'explique par l'ouverture de la halle de marché limitée seulement aux samedi matin.

6.2 Scénario ENR 1 : Géothermie

Rappel : ce scénario prévoit la production de chaleur (100% des besoins de chaud et froid) pour la zone de bureaux par géothermie, avec recours à l'aérothermie pour la zone de la halle de marché et des commerces. La puissance installée est de 11 kW pour la géothermie et 66 kW pour l'aérothermie.

6.3 Scénario ENR 2 : Photovoltaïque pour le parking aérien

Rappel : En parallèle des scénarios relatifs aux besoins thermiques des bâtiments ce scénario étudie la possibilité de produire de l'électricité par l'intégration de panneaux photovoltaïques en toiture du parking aérien, et la valorisation de cette énergie à l'échelle du parking. Le productible annuel est évalué à 557 MWh/an pour une puissance installée de 485 kWc.

7. Analyse multicritère des scénarios retenus

7.1 Coûts d'investissements

La puissance des installations, déterminée précédemment, permet d'estimer les investissements nécessaires pour la mise en place des équipements. Le tableau ci-dessous présente l'estimation de ces investissements :

Tableau 4 : Coûts estimés des équipements de production énergétique *

Scénario	Equipements pris en compte	Investissement en € HT	Investissement total en € HT
Econv : Scénario de référence	Maîtrise d'œuvre	10 000 €HT	78 247 €HT
	PAC air/eau 77 kW	54 747 €HT	
	Ballons d'eau chaude thermodynamique	3 500 €HT	
	Aléas + ingénierie	10 000 €HT	
ENR 1	Maîtrise d'œuvre	10 000 €HT	146 876 €HT
	PAC air/eau 66 kW	46 926 €HT	
	PAC eau/eau 11 kW	10 450 €HT	
	Sondes géothermiques (3 SGV de 200 m)	54 000 €HT	
	Ballons d'eau chaude thermodynamique	3 500 €HT	
	Aléas + ingénierie	10 000 €HT	
	Subventions estimées (Fond Chaleur ADEME)	- 30 580 €HT	
ENR 2 : PV parking aérien	Maîtrise d'œuvre	1 111 €HT	593 111 €HT
	Aléas + ingénierie	10 000 €HT	
	Champs photovoltaïques sur toiture	582 000 €HT	

** Poste soumis à une incertitude importante qui sera à consolider avec des études spécifiques, notamment à partir d'une consultation du gestionnaire du réseaux et du coût du raccordement qui sera appliqué.*

Ces estimations sont issues de données moyennes et la consultation de fournisseurs permettra dans la suite du projet d'affiner ces prévisions économiques. Les données communiquées, sont donnés à titre indicatif avec une précision de +/- 30%.

7.2 Analyse économique en coût global

Le coût d'investissement seul est une vision cependant très court terme de la problématique énergétique. Pour apprécier le coût réel d'un scénario sur l'ensemble de sa phase de vie, le coût global annualisé des trois scénarios a été calculé. Le résultat présenté est le coût total sur 20 ans (investissement et fonctionnement) rapporté à l'année pour le site.

7.2.1 Hypothèses économiques

Les paramètres suivants sont fixés pour la suite de l'étude :

- Durée d'observation économique : 20 ans
- Taux d'intérêt de l'emprunt : 4 % ;
- Coût des énergies :
 - Electricité à 140 €HT/MWh.
- Inflation sur énergie primaire :
 - Electricité : +4%/an.

7.2.2 Résultats économiques⁴

Pour rendre l'analyse du coût global annualisé possible, ce dernier est décomposé en 4 parties distinctes :

- P1 : coût du combustible,
- P2 : coûts de maintenance courante,
- P3 : coûts de renouvellement,
- P4 : investissement et frais financiers annuels.

D'après les hypothèses listées, l'analyse en coût global peut se résumer de la façon suivante.

Tableau 5 : Coût global annualisé des différents scénarios étudiés – sans actualisation.

COUT GLOBAL ANNUALISÉ	Solution conventionnelle	ENR1-Geothermie
P1-Dépense en énergie	1 500 €	1 200 €
P2-Maintenance	1 400 €	1 500 €
P3-Renouvellement	4 600 €	4 500 €
P4- Investissement lissé sur 20 ans + Frais financiers annuels	5 300 €	7 600 €
Coût complet P1+P2+P3+P4	12 800 €	14 800 €

Sans prendre l'actualisation du coût de l'énergie, c'est donc le scénario conventionnel (PAC aérothermiques) le plus compétitif malgré une dépense en énergie moins importante pour le scénario ENR1 intégrant la géothermie, en raison d'investissement initiaux moins importants pour la solution conventionnelle et de besoins énergétiques limités pour le bâtiment accueillant les bureaux .

7.2.3 Rentabilité économique en coût global actualisé

En prenant les hypothèses exposées plus haut sur l'évolution future des prix, hypothèses discutables depuis la récente explosion des coûts de l'énergie, il est alors possible d'analyser les coûts cumulés actualisés des différents scénarios.

La figure ci-dessous illustre le coût actualisé de l'énergie sur une période de 20 ans pour les besoins de chaud et de froid des bâtiments du projet, mettant en évidence les avantages économiques du scénario conventionnel par rapport à la solution géothermique.

⁴ Le calcul est réalisé « hors externalités » (gestions des terres, enveloppe du bâti, etc.)

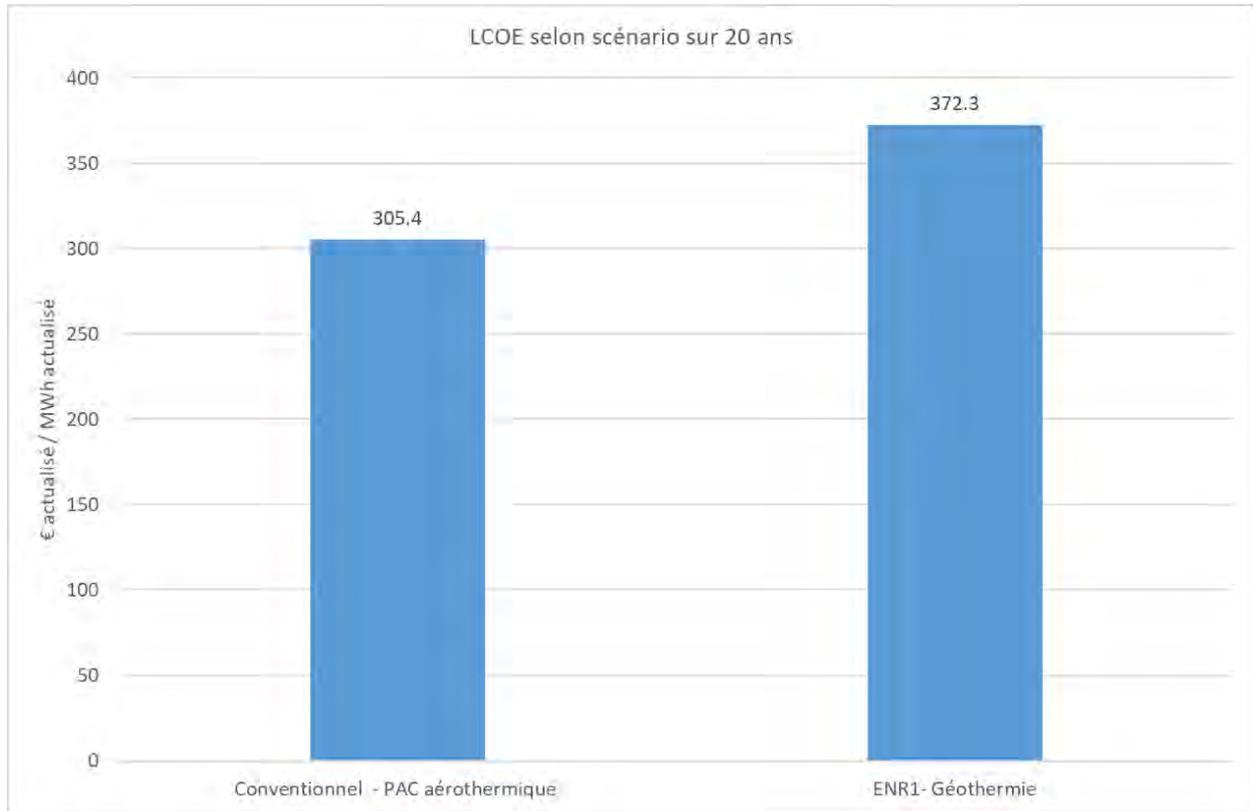


Figure 18 : Coût actualisé de l'énergie pour les besoins chaud et froid des bâtiments sur 20 ans.

Pour les deux scénarios les prix du MWh n'apparaissent pas compétitifs en raison du système énergétique de la halle qui n'est ouverte que le samedi matin et qui impose un rythme de fonctionnement particulier avec des pics de puissances importants estimés à 65 kW impliquant un investissement élevé compte tenu du besoin annuel énergétique du bâtiment relativement faible, 37 MWh.

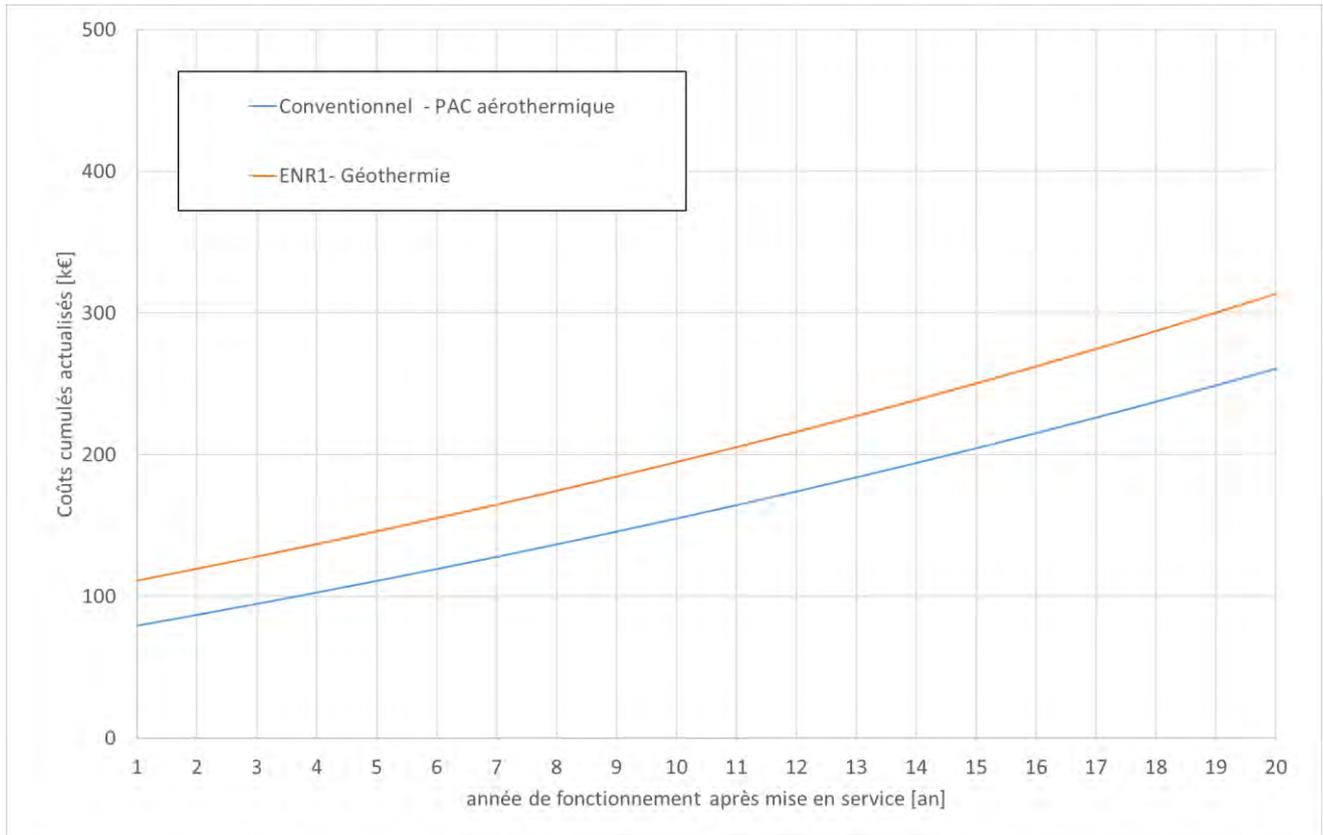


Figure 19 : Evolution du coût global actualisé selon les scénarios.

La figure d'évolution du coût global actualisé (sur 20 ans) montre alors l'intérêt du scénario conventionnel par rapport à l'autre scénario.

7.3 Résultats environnementaux

Les différents scénarios retenus sont comparés par rapport à un critère environnementale :

- Emissions annuelles de gaz à effet de serre,

Les usages pris en compte dans ce calcul sont la production de chaleur pour le chauffage, l'ECS et le froid.

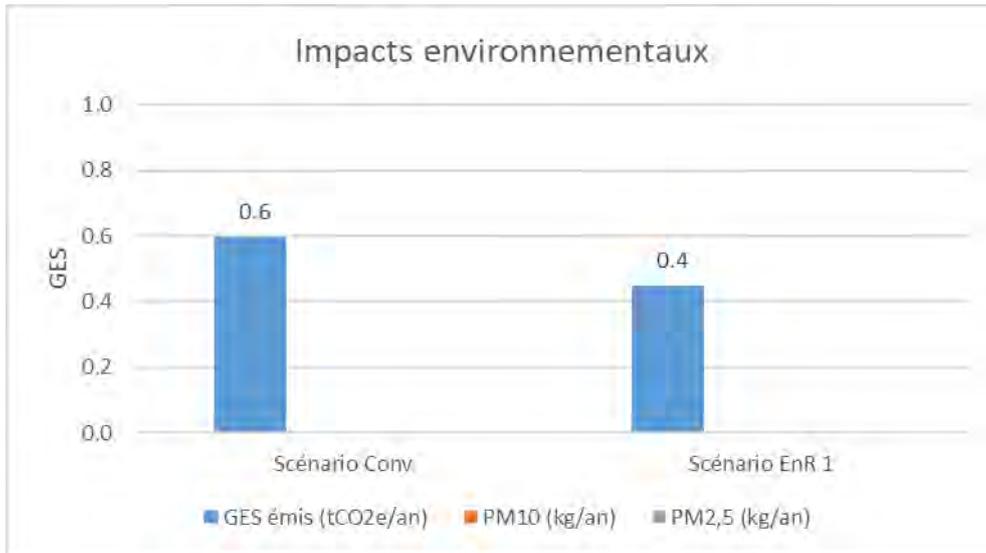


Figure 20 : Comparatif environnemental (GES*) des scénarios étudiés.

* Les émissions de GES dues aux fuites de fluide frigorigène des PAC ne sont pas prises en compte, le taux de fuite et le facteur d'émission variant fortement d'un système à l'autre.

Les histogrammes illustrent les émissions résultant des scénarios de référence, scénario géothermie.

En termes d'émissions de gaz à effet de serre, le scénario ENR 1 (géothermie) est le moins émissif des trois.

Le scénario conventionnel repose entièrement sur l'électricité du réseau pour son fonctionnement, tandis que le scénario 2 (scénario conventionnel + PV) utilise à la fois une partie de l'électricité du réseau et intègre l'autoconsommation de l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques (20% autoconsommation). Ainsi, une fraction de l'électricité consommée dans ce scénario provient, en termes d'empreinte carbone, de l'énergie générée par les PV. Cette approche engendre une réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à l'utilisation d'une solution à faibles émissions pour la production d'électricité. Ces résultats proviennent des taux moyens d'émission de CO₂ pour le réseau électrique, qui sont de 52 gCO₂e/kWh, et pour l'énergie solaire photovoltaïque, qui s'élèvent à 40 gCO₂e/kWh (facteur d'émission de la base empreinte de l'ADEME).

7.4 Résultats économiques et environnementaux pour l'intégration du PV au parking aérien silo

En tenant compte des hypothèses liées au coût de l'énergie (140 €/MWh avec 4% d'inflation annuelle), du coût estimé de l'investissement (593 k€) et de la production annuelle d'électricité des panneaux photovoltaïques (557 MWh), cet investissement a un temps de retour sur investissement ROI estimé à **7 ans** ce qui en fait un investissement fortement intéressant pour le programme du point de vue économique

L'intégration du PV au projet est bien sûr également bénéfique sur le plan environnemental avec la valorisation d'une énergie moins carbonée (0.058 kgCO₂e/kWh pour le mix électrique moyen contre 0.044 kgCO₂e/kWh pour l'électricité produite par le photovoltaïque) permettant d'éviter 7.8 tCO₂e d'émission par an.

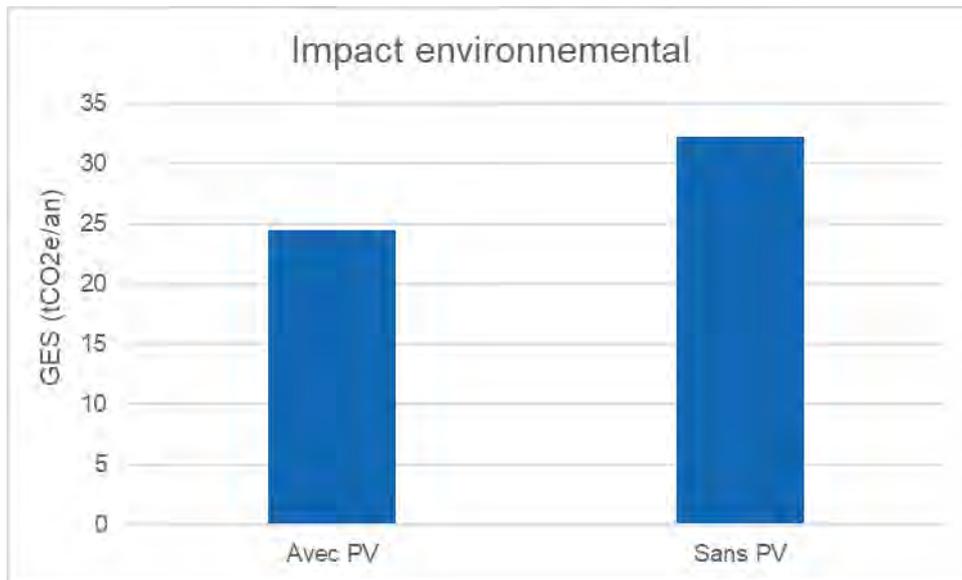


Figure 21 : Impact environnemental de l'intégration du PV au projet

8. Conclusion

L'étude de faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables a été réalisée suivant les étapes ci-dessous.

Dans un premier temps, la **caractérisation des besoins en énergie** a permis d'estimer les apports en énergie nécessaires au fonctionnement du projet. Ainsi, sur l'ensemble du site, les **besoins de chaleur** en énergie utile s'élèvent **à près de 21 MWh/an**. Les **besoins de froid** de l'ensemble du projet s'élèvent **à près de 10 MWh/an**.

Dans un deuxième temps, l'**analyse du potentiel en énergies renouvelables** a permis d'identifier les filières à énergies renouvelables et de récupérer les plus pertinentes au regard du contexte du projet. Le recours à l'**aérothermie**, et la **géothermie** ont été identifiés :

- Scénario de Référence (ou Scénario Conventionnel) : **pompes à chaleurs aérothermiques** à l'échelle du bâtiment pour couvrir **100% du besoin de chaud et de froid** et ballons d'eau chaude thermodynamiques pour couvrir les besoins d'ECS.
- Scénario ENR 1 : **Géothermie pour fournir 100% du besoin de chauffage et de froid des bâtiments de bureaux avec pompes à chaleurs aérothermique** pour couvrir **100% des besoins de chaud et de froid** de la halle de marché et des commerces et ballons d'eau chaude thermodynamiques pour couvrir les besoins d'ECS.
- Photovoltaïque : ce scénario a été défini pour répondre à une partie des besoins en électricité du parking aérien silo. Ce scénario est présenté indépendamment du choix du scénario pour les besoins en chaud et froid du programme.

Enfin, une **analyse économique** a permis de comparer les différents scénarios, en prenant à la fois en compte l'investissement et son financement, mais également les coûts de fonctionnement, tout en intégrant l'évolution des prix de l'énergie. Celle-ci a permis d'évaluer :

- Les surcoûts à l'investissement nécessaires pour mobiliser des sources énergétiques renouvelables sur le programme ;
- Les gains sur la part variable de la facture énergétique générés par une mobilisation de source renouvelable ;

Le scénario conventionnel est considéré le plus performant d'un point de vue multicritère sur une période de 20 ans, en tenant compte de l'aspect économique, en raison notamment d'un besoin énergétique faible du bâtiment de bureaux, seul bâtiment du projet permettant d'envisager la géothermie ne permettant pas de rentabiliser le coût de l'installation de la géothermie par rapport à l'aérothermie par le gain sur les consommations énergétiques sauf inflation très importante du coût du MWh électrique. Le scénario ENR1 intégrant la géothermie demeure toutefois plus intéressant du point de vue environnemental avec moins de consommations énergétiques et par conséquent moins d'émissions de gaz à effet de serre pour le projet.