

Tramway T10

Antony - Clamart



Antony • Châtenay-Malabry • Le Plessis-Robinson • Clamart

**TRAMWAY T10
LA CROIX-DE-BERNY (ANTONY)
- PLACE DE GARDE (CLAMART)**

**DOSSIER D'ENQUETE PREALABLE
A LA DECLARATION D'UTILITE
PUBLIQUE**

**VALANT EVALUATION
DES INCIDENCES NATURA 2000
ET MISE EN COMPATIBILITE DES
DOCUMENTS D'URBANISME**

**PIECE G : ETUDE D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT
- Chapitre 13**

XIII. CHAPITRE 13 : CHAPITRE SPECIFIQUE AUX INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

SOMMAIRE

XIII. CHAPITRE 13 : CHAPITRE SPECIFIQUE AUX INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT 1

XIII.1. PREAMBULE 4

XIII.2. ANALYSE DES CONSEQUENCES DU PROJET SUR LE DEVELOPPEMENT EVENTUEL DE L'URBANISATION 4

XIII.2.1 Conséquences *a priori*..... 4

XIII.2.2 Conséquences *a posteriori* 5

XIII.2.2.1 CONSEQUENCES SUR LES VALEURS FONCIERES 5

XIII.2.2.2 DEVELOPPEMENT COMMERCIAL 6

XIII.2.2.3 DEVELOPPEMENT RESIDENTIEL ET ECONOMIQUE 6

XIII.3. ANALYSE DES ENJEUX ECOLOGIQUES ET DES RISQUES POTENTIELS LIES AUX AMENAGEMENTS FONCIERS, AGRICOLES ET FORESTIERS 7

XIII.4. ANALYSE DES COUTS COLLECTIFS DES POLLUTIONS ET NUISANCES ET DES AVANTAGES INDUITS PAR LE PROJET 8

XIII.4.1 Cadrage de l'évaluation socio-économique et sociale du projet 8

XIII.4.2 Prévisions de trafic du projet 9

XIII.4.2.1 ELEMENTS DE METHODE..... 9

XIII.4.2.1.A Le modèle de prévision utilisé 9

XIII.4.2.1.B Consistance du projet évalué 9

XIII.4.2.1.C Horizon des études..... 9

XIII.4.2.1.D Hypothèses de croissance urbaine 9

XIII.4.2.1.E Hypothèses de développement de l'offre de transports en commun 9

XIII.4.2.1.F Hypothèses liées du projet 10

XIII.4.2.2 RESULTATS 10

XIII.4.2.2.A Mise en service du T10 entre La Croix de Berny et la Place du Garde (horizon 2020)..... 10

XIII.4.2.2.B Prolongement du T10 au nord (horizon 2030) 11

XIII.4.3 Evaluation socio-économique du projet 12

XIII.4.3.1 PRINCIPES DE CALCUL..... 12

XIII.4.3.2 ELEMENTS DE L'EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE 12

XIII.4.3.2.A Coûts d'investissement..... 13

XIII.4.3.2.B Evolution des coûts d'exploitation 13

XIII.4.3.3 GAINS DE TEMPS..... 13

XIII.4.3.3.A Gains liés au report modal 16

XIII.4.3.4 BILAN SOCIO-ECONOMIQUE 16

XIII.4.3.5 ELEMENTS NON VALORISES DANS L'EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE 17

XIII.4.3.6 LES AVANTAGES POUR LA COLLECTIVITE 17

XIII.4.3.6.A La desserte de zones denses et de nombreux équipements 17

XIII.4.3.6.B Articulation avec les projets connexes 17

XIII.4.3.6.C Réponse aux enjeux de transport 17

XIII.4.3.6.D Amélioration du cadre de vie 18

XIII.5. EVALUATION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES RESULTANT DE L'EXPLOITATION DU PROJET 19

XIII.5.1 Préambule 19

XIII.5.2 Méthodologie 19

XIII.5.3 Hypothèses de travail 19

XIII.5.4 Résultats 20

XIII.5.5 Conclusion 20

XIII.6. BILAN CARBONE 20

XIII.6.1 Objectifs de l'étude 20

XIII.6.2 Méthodologie 21

XIII.6.3 Périmètre de l'évaluation 21

XIII.6.3.1 PHASE TRAVAUX 21

XIII.6.3.2 PHASE EXPLOITATION 21

XIII.6.4	Hypothèses et facteurs d'émission	22
XIII.6.4.1	PHASE TRAVAUX.....	22
XIII.6.4.2	PHASE EXPLOITATION.....	25
XIII.6.5	Résultats de l'étude.....	25
XIII.6.5.1	PHASE TRAVAUX.....	25
XIII.6.5.2	PHASE EXPLOITATION	26
XIII.6.5.3	BILAN GLOBAL POUR LE PROJET.....	26
XIII.6.6	Conclusion et pistes d'amélioration.....	26
XIII.7.	DESCRIPTION DES HYPOTHESES DE TRAFIC ROUTIER.....	28
XIII.7.1	Hypothèses de passage du tramway en carrefour	28
XIII.7.2	Méthodologie de modélisation.....	28
XIII.7.2.1	METHODOLOGIE GENERALE	28
XIII.7.2.2	CALAGE DU MODELE A L'HORIZON 2013	28
XIII.7.2.3	MODELISATION PROJETEE	29
XIII.7.3	Impacts sur le trafic routier	29
XIII.7.4	Impacts sur les carrefours routiers	33
XIII.8.	PRINCIPES DE MESURES DE PROTECTION CONTRE LES NUISANCES SONORES .	34

XIII.1. PRÉAMBULE

Le décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements précise que l'étude d'impact doit comporter une partie spécifique aux infrastructures si celles-ci sont visées aux rubriques 5 à 9 du tableau annexé à l'article R.122-2 du Code de l'Environnement. Le projet de tramway T10 reliant Antony à Clamart est visé au 8° «Transports guidés de personnes, Tramways, métros aériens et souterrains, lignes suspendues ou lignes analogues de type particulier servant exclusivement ou principalement au transport des personnes».

Il est à noter que les informations dans ce présent chapitre peuvent être redondantes avec les informations des chapitres précédents. L'objectif ici étant de viser particulièrement les éléments spécifiques aux infrastructures de transport.

Conformément à la réglementation, cette partie comprend :

- une analyse des conséquences prévisibles du projet sur le développement éventuel de l'urbanisation,
- une analyse des enjeux écologiques et des risques potentiels liés aux aménagements fonciers, agricoles et forestiers portant notamment sur la consommation des espaces agricoles, naturels ou forestiers induits par le projet, en fonction de l'ampleur des travaux prévisibles et de la sensibilité des milieux concernés,
- une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité,
- une évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet, notamment du fait des déplacements qu'elle entraîne ou permet d'éviter,
- une description des hypothèses de trafic, des conditions de circulation et des méthodes de calcul utilisées pour les évaluer et en étudier les conséquences.

Elle comprend également les principes des mesures de protection contre les nuisances sonores qui seront mis en œuvre en application des dispositions des articles R.571-44 à R.571-52.

XIII.2. ANALYSE DES CONSÉQUENCES DU PROJET SUR LE DÉVELOPPEMENT ÉVENTUEL DE L'URBANISATION

XIII.2.1 Conséquences *a priori*

Ce projet de tramway s'inscrit dans le **Schéma Directeur «Ile-de-France 2030»** (SDRIF 2030) qui a pour but de donner un cadre à l'organisation de l'espace francilien sur les thèmes du transport, de l'habitat, du développement économique, etc. En tant que communes franciliennes, les communes d'Antony, de Châtenay-Malabry, du Plessis-Robinson et de Clamart sont concernées par les orientations prises dans ce schéma directeur, et en particulier la densification du territoire imposée autour des stations de tramway, et le développement des secteurs identifiés comme «secteurs à fort potentiel de densification» (Croix-de-Berny, Ecole Centrale Paris, Appert-Justice, ...).

En prévision de la mise en service du tramway et en accord avec le SDRIF 2030, des **projets urbains majeurs** ont déjà été engagés sur ce territoire, et en particulier le long du tracé du tramway : opération à dominante résidentielle sur le site de l'Ecole Centrale Paris (départ prévu sur le Plateau de Saclay pour la rentrée 2017), opération tertiaire sur le secteur Europe, opération mixte bureaux / logements au niveau du carrefour Allende (incluant les terrains de la Faculté de Pharmacie), renouvellement urbain du quartier Jean Zay à Antony (occupé actuellement par une résidence universitaire), etc. De plus, de nombreuses opérations immobilières sont en cours sur l'avenue de la Division Leclerc à Châtenay-Malabry où passera le tramway, et au niveau des centres villes des communes concernées par le projet.



Illustration 1. Projet de la zone Europe à Châtenay-Malabry, source : SEM 92

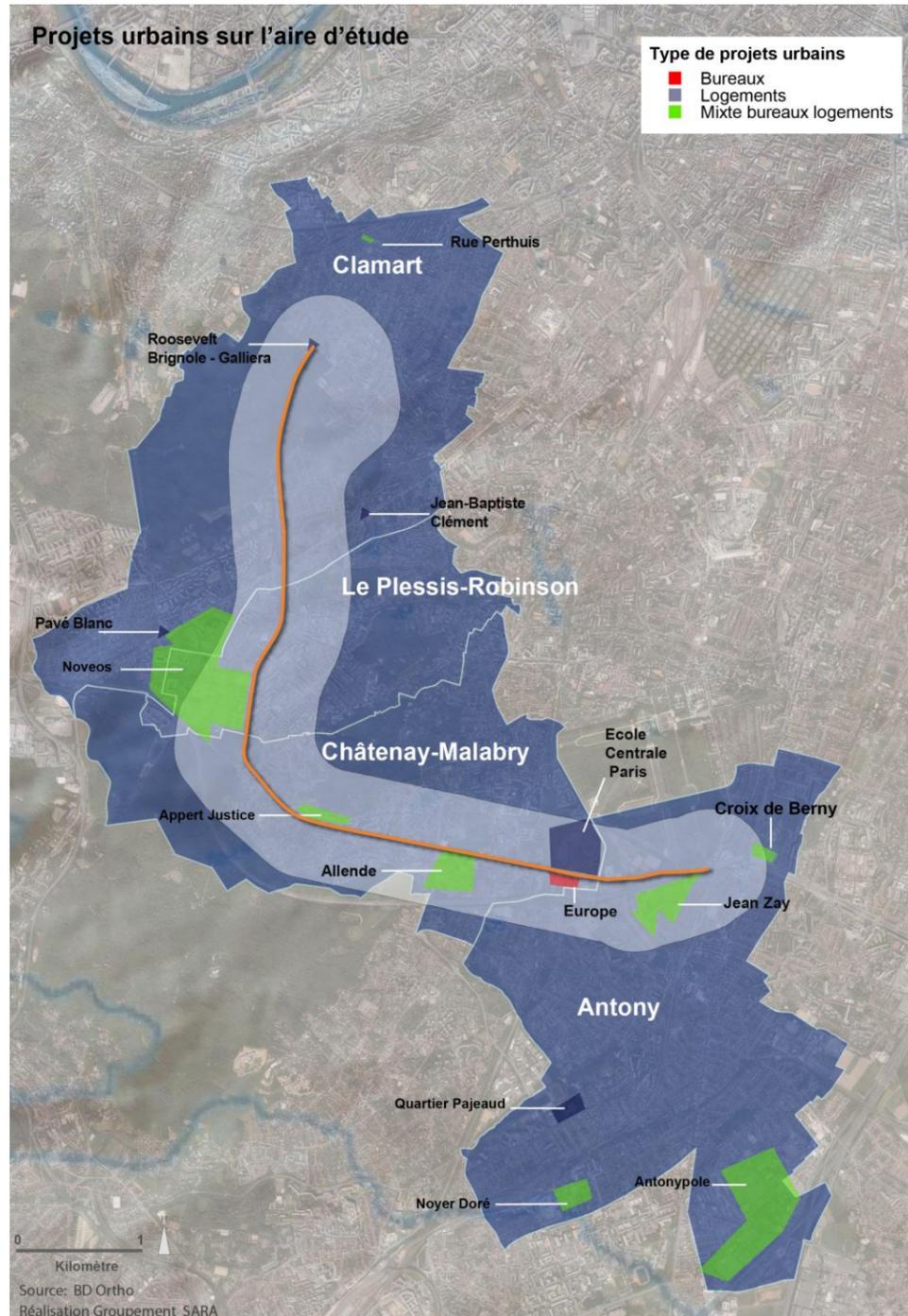


Illustration 2. Projets urbains sur l'aire d'étude élargie aux 4 communes, sources : Villes de Clamart, du Plessis-Robinson, de Châtenay-Malabry et d'Antony

XIII.2.2 Conséquences *a posteriori*

Au-delà des conséquences *a priori* du projet, c'est-à-dire des opérations urbaines déjà engagées en prévision de la mise en service du tramway, le projet de tramway permettra aussi un développement urbain *a posteriori*, une fois qu'il sera mis en service. En effet, l'expérience française montre que la mise en service d'un tramway a souvent des conséquences sur les valeurs foncières, le développement résidentiel et le développement économique et commercial.

XIII.2.2.1 CONSÉQUENCES SUR LES VALEURS FONCIÈRES

La mise en place d'un tramway dans un environnement urbain s'accompagne, dans la majorité des cas, d'une **requalification des espaces publics et de l'intégration des modes de transport doux** (création de pistes cyclables, requalification des cheminements piétons, ...). Cette requalification de l'espace urbain a donc des conséquences sur l'attractivité des espaces situés à proximité du tramway.



Illustration 3. Exemple d'intégration du tramway et de requalification des espaces publics : Place Doumer, Bordeaux, source : SYSTRA



Illustration 4. Exemple d'intégration urbaine, Montpellier, source : SYSTRA

On observe ainsi, dans la plupart des cas, une augmentation des demandes de permis de construire le long de la ligne de tramway, une **augmentation des valeurs foncières des terrains à proximité** ainsi qu'une commercialisation plus rapide des bureaux et des commerces.

A Bordeaux, par exemple, les terrains situés à proximité du tramway ont vu leur valeur augmenter de manière plus significative que sur le reste de la ville (20 % d'augmentation en plus). A Grenoble, l'augmentation des valeurs foncières s'est accompagnée d'une modification de la catégorie de population habitant ces quartiers (passage de la classe ouvrière à la classe moyenne).

XIII.2.2.2 DÉVELOPPEMENT COMMERCIAL

La mise en service d'un tramway a aussi des conséquences sur la nature des activités commerciales à proximité.

Les travaux engendreront un impact négatif de par les nuisances induites (aire de chantier, bruit, poussière, etc.) pouvant nuire à l'image du quartier ainsi que par la perturbation des cheminements et des accès aux activités et équipements. Néanmoins, cet impact pourra être partiellement compensé par un effet indirect positif : les ouvriers des entreprises travaux constitueront une clientèle supplémentaire pour les commerces, restaurations et hôtelleries du secteur.

En phase exploitation, on observe une ouverture plus importante de commerces de proximité, tels que les banques, restaurants, bars, cafés, magasins divers (mode, optique, ...). Quelques exemples : ouverture de banques constatée à Lyon et Montpellier, de restaurants à Nantes, de magasins tournés vers les adolescents / publics jeunes à Strasbourg, ...

Il est à noter que le tramway aura un **impact positif sur le développement commercial** grâce à une meilleure accessibilité des commerces, mais représente une contrainte pour les livraisons de ces commerces. En effet, l'implantation du tramway ne permettra pas toujours le positionnement de places de livraison à proximité des commerces et pourra entraîner, dans certains cas, des contraintes sur l'approvisionnement de ces derniers.



Illustration 5. Exemple d'un stationnement non autorisé sur la voie du tramway pour livraison – Bordeaux, source : SYSTRA

De plus, bien que les commerces bénéficient d'une **meilleure accessibilité, desserte et attractivité**, l'impact sur le chiffre d'affaires est difficilement quantifiable et variera beaucoup d'une ville à l'autre, d'une nature de commerce à l'autre, et d'un emplacement à l'autre. Par exemple, à Bordeaux, 26 % des commerces ont subi une perte par rapport à une situation sans projet, 32 % n'ont pas mentionné de changement et 42 % ont augmenté leur chiffre d'affaires.

XIII.2.2.3 DÉVELOPPEMENT RÉSIDENTIEL ET ÉCONOMIQUE

L'arrivée du tramway aura aussi un impact positif sur le développement résidentiel et économique.

Comme indiqué dans le paragraphe «Conséquences sur les valeurs foncières», la mise en service d'un tramway s'accompagne d'une **augmentation des demandes de permis de construire**. En effet, la **requalification urbaine** et les nouveaux aménagements permettent souvent de redynamiser des zones et de relancer l'attractivité de ces dernières, grâce à une **amélioration de la desserte locale** en transport en commun. Le nombre de projets urbains à proximité du tracé du tramway sera donc plus important. Par exemple, dans la ville de Bordeaux, depuis la mise en service de la première ligne de tramway, le nombre d'habitants a augmenté de +30 000 habitants, faisant suite à une période de baisse de la population.

De plus, le tramway a aussi un **impact positif sur le développement économique**, avec en priorité un impact positif sur les sociétés de services, les sociétés industrielles ayant en revanche généralement

des besoins difficilement compatibles avec une implantation proche d'un tramway urbain. L'impact sur l'emploi est quant à lui ressenti, mais difficile à mesurer sans étude spécifique sur le territoire concerné.



Illustration 6. Tramway de Strasbourg, source : SYSTRA

XIII.3. ANALYSE DES ENJEUX ÉCOLOGIQUES ET DES RISQUES POTENTIELS LIÉS AUX AMÉNAGEMENTS FONCIERS, AGRICOLES ET FORESTIERS

L'article L.23-1 du Code de l'Expropriation (faisant référence aux articles L.123-24 et s. du Code Rural) précise que «Lorsque les expropriations en vue de la réalisation des aménagements ou ouvrages [soumis à étude d'impact] sont susceptibles de compromettre la structure des exploitations dans une zone déterminée, l'obligation est faite au maître de l'ouvrage, dans l'acte déclaratif d'utilité publique, de remédier aux dommages causés en participant financièrement à l'exécution d'opérations d'aménagement foncier [...] et de travaux connexes. La même obligation est faite au maître de l'ouvrage dans l'acte déclaratif d'utilité publique en cas de création de zones industrielles ou à urbaniser ou de constitutions de réserves foncières». Cette procédure a pour but d'améliorer les conditions d'exploitation des propriétés rurales agricoles ou forestières.

Le projet de tramway T10 n'impacte aucune parcelle agricole.

En revanche, il impacte des forêts domaniales (forêt de Meudon (bois de Clamart) et forêt de Verrières). Celles-ci appartiennent au domaine privé de l'Etat et sont gérées et exploitées par l'Office National des Forêts (ONF). Le projet n'entraîne pas «d'effet de coupure» susceptible d'engendrer un impact significatif sur la structure des exploitations forestières. Néanmoins, l'impact sur l'exploitation par l'ONF des parcelles concernées est significatif et fera l'objet de mesures de compensation, notamment en restituant à l'Etat des parcelles d'une qualité équivalente pour ne pas pénaliser l'exploitation du domaine forestier de l'Etat dans son ensemble. L'ensemble des mesures de compensation des impacts résiduels sur les espaces boisés sont détaillés au chapitre 3 de la présente étude d'impact sur l'environnement : « Analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires et permanents, à court, moyen, long terme et mesures pour éviter, réduire et/ou compenser ».

Ainsi, d'après l'article L.123-24 du Code Rural, le projet de tramway T10 n'est pas concerné par la procédure d'Aménagement Foncier Agricole et Forestier (AFAF).

XIII.4. ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS DES POLLUTIONS ET NUISANCES ET DES AVANTAGES INDUITS PAR LE PROJET

XIII.4.1 Cadrage de l'évaluation socio-économique et sociale du projet

L'évaluation socio-économique d'un projet vise à mesurer son utilité pour la collectivité en comparant ses effets positifs attendus et ses coûts. L'évaluation socio-économique du Tramway T10 présentée ci-après a été établie selon la méthode en vigueur pour les projets de transports collectifs franciliens.

L'évaluation socio-économique s'appuie sur une approche monétaire quantifiée fournissant des indicateurs chiffrés (trafic généré, coût d'investissement, coût d'exploitation, gain de temps, gain lié au report modal, ...), couplée à une évaluation qualitative des impacts sur l'environnement (développement urbain, attractivité pour les populations et les emplois, qualité de vie...).

Cette analyse permet de démontrer les avantages du projet pour la collectivité en :

- appréciant la rentabilité des capitaux investis (aspect financier) ;
- vérifiant que le projet apporte la plus grande contribution au développement économique (aspect économique) ;
- estimant les gains pour l'environnement et pour l'évolution du cadre de vie (aspect social).

Pour être pertinente, l'évaluation économique et sociale doit comparer dans le temps une situation de référence et une situation avec projet :

- la situation de référence décrit le territoire en 2020/2021 (horizon de la mise en service du projet) et intègre donc les projets de transport inscrit au Plan de mobilisation pour les transports de la région Ile-de-France ;
- la situation de projet correspond à la situation de référence, à laquelle est ajouté le Tramway T10 et les aménagements induits par sa réalisation, avec notamment la restructuration du réseau bus.

L'évaluation socio-économique est basée sur la méthode dite de « l'analyse coûts - avantages ». L'objectif de cette méthode est d'identifier, de quantifier et de monétariser les avantages que le projet va procurer à la collectivité sur une période de 30 ans, et de les comparer aux coûts engendrés par le projet sur la même période, en investissement et en fonctionnement.

Ainsi, un projet présente un intérêt socio-économique si la somme actualisée des avantages sur la période d'étude est supérieure ou égale à la somme actualisée des coûts sur la même période. Les indicateurs sont le taux de rentabilité immédiate, le taux de rentabilité interne et le bénéfice actualisé du projet.

Les coûts comprennent :

- les coûts d'investissement tant en infrastructure et installations fixes du transporteur qu'en matériel roulant supplémentaire et spécifique ;
- les charges d'exploitation supplémentaires générées par l'exploitation de la nouvelle liaison.

Les avantages se composent :

- des gains de temps réalisés par les voyageurs utilisateurs de la nouvelle infrastructure ;
- des gains de régularité ;
- des économies d'exploitation réalisées sur le reste du réseau de transport en commun ;
- des gains de temps liés à l'amélioration des conditions de circulation pour les usagers restant sur la voirie ;
- des économies de dépenses publiques en relation avec la réduction du nombre de places de stationnement automobile, l'entretien de la voirie et la police de la circulation ;
- de la diminution des effets externes négatifs en relation avec le report de la voiture vers les transports collectifs : diminution de l'insécurité routière, du bruit, de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre.

XIII.4.2 Prévisions de trafic du projet

XIII.4.2.1 ELÉMENTS DE MÉTHODE

XIII.4.2.1.A Le modèle de prévision utilisé

Les prévisions de trafic du prolongement du tramway Antony Clamart (T10) ont été réalisées par le STIF à l'aide du modèle ANTONIN 2 (Analyse des Transports et de l'Organisation des Nouvelles Infrastructures), basé sur les comportements de déplacements observés par l'Enquête Globale transports réalisée en 2001-2002 auprès de 10 500 ménages franciliens.

Le modèle ANTONIN 2 prend en compte l'ensemble des modes de déplacement (voiture en tant que conducteur ou passager, transports collectifs, marche et vélo). Il estime l'évolution des déplacements en fonction du développement urbain ainsi que les reports modaux associés à un changement dans l'offre de transport. La description du réseau de transports collectifs est particulièrement détaillée ce qui permet l'estimation du trafic suite à la mise en place d'une nouvelle offre de transports collectifs.

Pour les besoins de la présente étude, le modèle ANTONIN 2, établi sur l'ensemble de l'Ile-de-France, a été affiné sur l'aire d'étude élargie tant en ce qui concerne le réseau de transport que la description de l'urbanisation actuelle et future.

Afin de pouvoir évaluer, à l'horizon futur, l'impact des différents scénarios en termes de trafic, gains de temps et reports modaux, les prévisions de trafic sont réalisées sur un scénario de référence à l'horizon de la mise en service sans projet puis sur un scénario intégrant le projet T10.

XIII.4.2.1.B Consistance du projet évalué

Le projet T10 qui fait l'objet du présent dossier a pour terminus la Croix de Berny à Antony à l'est et la Place du Garde à Clamart à l'ouest.

Le choix a été fait par les maîtres d'ouvrage de ne pas intégrer le prolongement du T10 au nord vers une gare du Grand Paris dans le programme de l'opération (opération figurant au SDRIF adopté en 2013). Ce choix se justifie notamment car les variantes à l'étude sur le prolongement restent à ce stade encore très contrastées (gare d'Issy ou Clamart, solutions enterrées ou en surfaces) et ne permettent pas d'évaluer tous les impacts.

Néanmoins, il semble intéressant de mettre en perspective les résultats des études de trafic du T10 et le potentiel de trafic à long terme de l'opération intégrant le prolongement au nord.. Pour ce faire, deux variantes contrastées ont été considérées dans le cadre des prévisions de trafic pour illustrer l'attractivité du prolongement : prolongement jusqu'à Issy RER et prolongement jusqu'à la gare de Clamart.

Afin de pouvoir évaluer, à l'horizon futur, l'impact de la mise en service du T10 sur la charge des lignes du réseau de transports collectifs adjacent, et de mesurer les gains de

temps pour les voyageurs et le report modal, les prévisions sont réalisées sur un scénario de référence à l'horizon de la mise en service sans projet puis sur un scénario intégrant le projet T10. Le même exercice est réalisé pour le prolongement, de manière à anticiper les évolutions induites en matière d'infrastructure et d'offre sur la ligne.

XIII.4.2.1.C Horizon des études

Les études de trafic ont été réalisées à l'horizon de la mise en service, en 2020. L'horizon retenu pour la mise en service du prolongement est 2030

XIII.4.2.1.D Hypothèses de croissance urbaine

Les hypothèses de croissance urbaine sont basées sur les projections de l'IAU Ile-de-France à l'échelle communale sur l'ensemble de la région Ile-de-France, voire infra communale sur la zone dense. Les projections ont été actualisées sur l'aire d'étude élargie en 2011

XIII.4.2.1.E Hypothèses de développement de l'offre de transports en commun

Pour chaque horizon d'étude (2020 et 2030), le réseau de transports collectifs francilien est constitué des lignes actuelles ainsi que des projets inscrits au Plan de mobilisation pour les transports en Ile-de-France susceptibles d'être opérationnels à cet horizon. Dans le secteur concerné par le projet de tramway, est pris en compte, à l'horizon 2020, la ligne 15 entre Pont de Sèvres et Noisy-Champs.

A l'horizon 2030, les tronçons du Grand Paris Express prévus à cette date ainsi que les projets inscrits au SDRIF Ile-de-France 2030 sont considérés comme réalisés.

Par ailleurs, les premières réflexions sur la restructuration du réseau de surface dans le secteur d'étude sont intégrées aux deux horizons Concernant la restructuration des lignes de bus sur l'aire d'étude élargie, des hypothèses de travail ont été formulées en accord avec les principes de restructuration énoncés au paragraphe IV.7.1. Selon ces hypothèses de travail, principalement deux lignes sont modifiées à la mise en service du projet :

- Ligne 379 : supprimée
- Ligne 195 : coupée à Châtenay-Malabry – Lycée Polyvalent

A noter que ces hypothèses ne valent que dans le cadre de la modélisation de trafic et ne présagent pas de l'état final de la restructuration du réseau de bus

XIII.4.2.1.F Hypothèses liées du projet

Le T10 s'étend sur un linéaire de 8,2 km entre La Croix de Berny RER (commune d'Antony) et la Place du Garde à Clamart. Il comprend 14 nouvelles stations. La fréquence à l'heure de pointe sera de 6 minutes et le temps de parcours de 25 minutes sur l'ensemble du parcours.

Les temps de correspondances avec les lignes maillées au T10 sont listés ci-après :

LIGNE	TEMPS DE CORRESPONDANCE
RER B (La Croix de Berny)	4 minutes
TVM (La Croix de Berny)	3 minutes 30 s
T6 (Hôpital Béclère)	3 minutes

Tableau 1. Temps de correspondance, position en avant-gare à la Croix de Berny (source : SARA)

Afin d'apporter un éclairage sur le potentiel de trafic d'un prolongement au nord du T10, des hypothèses de tracé, d'offre et de temps de correspondance ont été arrêtées sur la base des études exploratoires menées en 2012. Deux scénarios contrastés, représentant le potentiel minimum et le maximum de trafic, ont été retenus. Ces hypothèses seront réactualisées dans le cadre des études de faisabilité sur le prolongement en cours.

	VARIANTE A DESTINATION D'ISSY RER	VARIANTE A DESTINATION DE LA GARE DE CLAMART
Linéaire	1,8 km	2,1 km
Nombre de stations	3	5
Temps de parcours	4 minutes	6 minutes 30s
Temps de correspondance avec le réseau ferré	2 minutes (RER C)	3 minutes (Ligne N)
Temps de correspondance avec la ligne 15 GPE	6 minutes	2 minutes

Tableau 2. Caractéristiques des variantes de prolongement au nord (source : Etude de faisabilité du prolongement du tramway T10 Antony-Clamart)

La fréquence du T10 prolongé est prise par hypothèse à 3 min 30 s en période de pointe pour tenir compte de l'accroissement de trafic lié au prolongement

XIII.4.2.2 RÉSULTATS

Deux horizons ont été considérés pour la réalisation des prévisions de trafic :

- 2020 : mise en service initiale du tramway T10 entre La Croix de Berny et Place du Garde.
- 2030 : prolongement du tramway T10 au nord.

Les prévisions de trafic sont établies à l'heure de pointe du matin, période dimensionnante pour le projet. Le trafic annuel est obtenu par application de coefficients de passage de l'heure de pointe à la journée puis à l'année. Les coefficients suivants ont été utilisés :

- un coefficient de 7 pour le passage de la pointe à la journée, évalué sur la base des remontées des validations billettiques des lignes de bus 379 et 290 qui empruntent chacune une partie de l'itinéraire du T10 ;

un coefficient de 290 pour le passage du jour à l'année correspondant aux valeurs observées sur l'ensemble du réseau francilien à partir du nombre de validations effectuées avec des forfaits Navigo et Imagine'R à l'année

XIII.4.2.2.A Mise en service du T10 entre La Croix de Berny et la Place du Garde (horizon 2020)

A la mise en service du projet entre la Croix de Berny et la Place du Garde en **2020**, la fréquentation du tramway T10 est estimée à **3 600 voyageurs** à l'heure de pointe du matin. La charge dimensionnante de la ligne est atteinte à l'arrivée à la station Parc des sports et s'établit à **1 400 voyageurs**.

Le matériel envisagé pour l'exploitation de la ligne présente une capacité de transport minimale de 300 personnes par rame, ce qui porte la capacité horaire du T10 à 3 000 voyageurs par heure et par sens. De ce fait, le taux de charge maximum serait de l'ordre de 50%.

Le trafic de la ligne se caractérise également par des flux de correspondance importants avec le T6 au niveau de la station Hôpital Béclère et avec le RER B à La Croix de Berny, pour des volumes respectifs d'environ 1 200 voyageurs à l'heure de pointe du matin. Globalement, ce sont environ 65% des usagers du T10 qui utilisent la ligne comme moyen de rabattement (ou de diffusion) vers ces liaisons radiales :

- Le matin, les correspondances avec le T6 se font principalement depuis le T10 vers le T6 en direction de Paris. Le T6 connaîtra ainsi une augmentation de sa fréquentation de 12% sur sa section la plus chargée (entre la station Général De Gaulle et le terminus Châtillon-Montrouge), dans le sens de la pointe.
- Les flux de correspondance en lien avec le RER B depuis et vers le T10 sont équilibrés. La mise en service du tramway facilite l'accès, pour les usagers du RER B, au campus universitaire de Châtenay-Malabry ou encore à la zone d'activité Novéos sur la commune du Plessis-Robinson. Par ailleurs, il est prévu un report des usagers qui se rabattaient précédemment sur la gare de Robinson en bus. Ils bénéficieront avec le T10 d'un moyen de rabattement efficace vers La

Croix de Berny, où l'offre sur le RER B est deux fois plus importante (8 trains à l'heure en direction de Paris).

La figure suivante rend compte de la charge à l'échelle de la ligne. Les seuils retenus pour la définition des classes de charge correspondent respectivement à des taux de charge de 20%, 40%, et 60%, calculés sur la base de la capacité d'emport à l'heure de pointe (3 000 voyageurs).

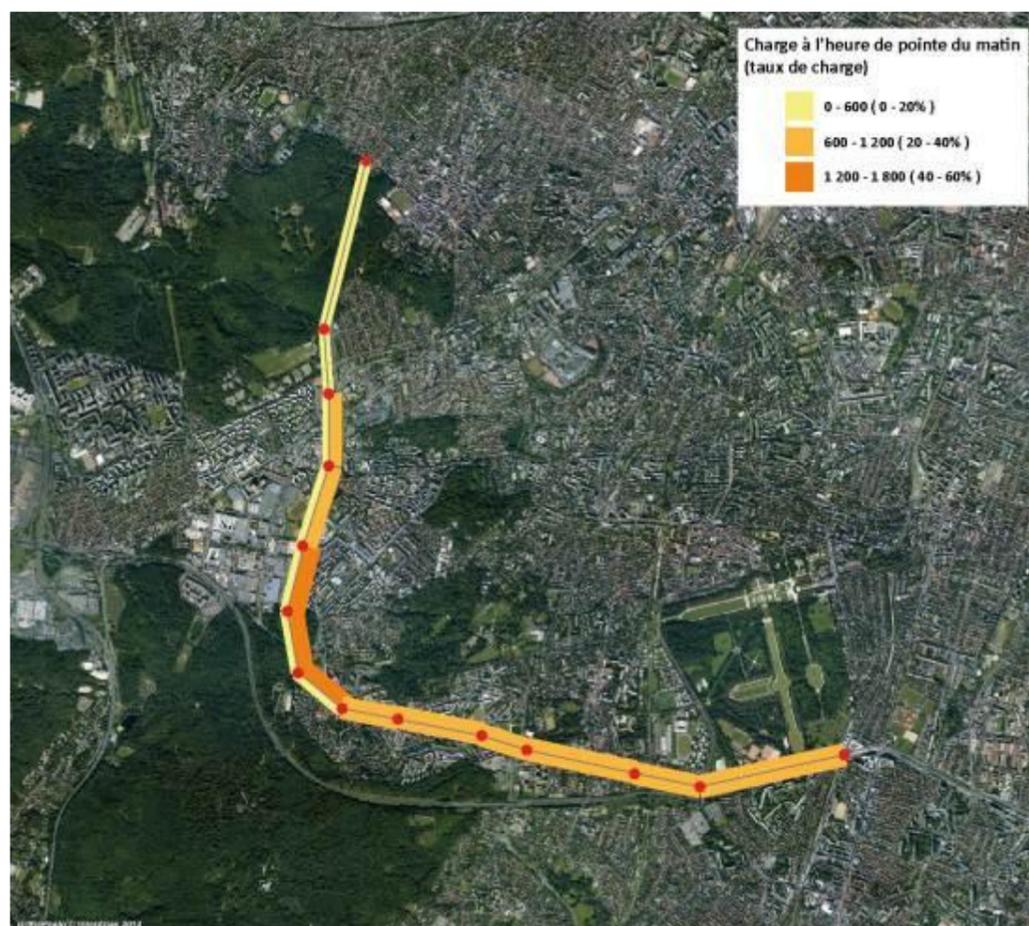


Illustration 1. Serpent de charge à l'heure de pointe du matin - Horizon 2020

	HORIZON 2020
Charge dimensionnante	1 400
Fréquentation à l'heure de pointe du matin	3 600
Fréquentation en jour ouvrable	25 200
Fréquentation annuelle	7,3 millions

Tableau 3. Principaux indicateurs de trafic aux horizons 2020

XIII.4.2.2.B Prolongement du T10 au nord (horizon 2030)

A l'horizon de mise en service du prolongement au nord, la fréquentation sur l'ensemble de la ligne serait comprise entre 8 000 et 10 500 voyageurs à l'heure de pointe.

Quelque soit la solution de raccordement à la ligne 15, le T10 prolongé au nord apparaît ainsi comme une alternative attractive à la voiture, notamment du fait du maillage avec la ligne 15 du Grand Paris Express. Il offre également une solution de rabattement efficace vers le réseau ferré, aussi bien au sud avec le RER B qu'au nord avec le RER C à Issy-les-Moulineaux ou la ligne N à Clamart, selon la variante considérée.

La charge dimensionnante est atteinte à l'arrivée au terminus nord, ce qui vient souligner l'attrait des correspondances offertes aux voyageurs, à Issy-les-Moulineaux comme à Clamart. Elle est estimée entre 3 000 et 4 500 voyageurs à l'heure de pointe du matin, selon la variante de prolongement.

Par ailleurs, le prolongement du T10 au nord aurait un effet de décharge sur le tramway T6, de l'ordre de -30% sur le tronçon dimensionnant (Division Leclerc – Général de Gaulle).

XIII.4.3 Evaluation socio-économique du projet

XIII.4.3.1 PRINCIPES DE CALCUL

L'évaluation socio-économique d'un projet vise à mesurer son utilité pour la collectivité en comparant ses effets attendus et ses coûts. Les évaluations socio-économiques du T10 et de son prolongement au nord présentées ci-après ont été établies selon la méthode en vigueur pour les projets de transports collectifs franciliens.

Le bilan socio-économique du projet tient compte :

- de l'ensemble des coûts d'investissement imputables au projet ;
- de la différence de coûts d'exploitation en relation avec la mise en service du T10;
- des gains de temps pour les usagers des transports collectifs ;
- des gains de temps liés à l'amélioration des conditions de circulation pour les usagers restant sur la voirie ;
- des économies de dépenses publiques en relation avec la réduction du nombre de places de stationnement automobile, l'entretien de la voirie et la police de la circulation ;
- de la diminution des effets externes négatifs en relation avec le report de la voiture vers les transports collectifs : diminution de l'insécurité routière, du bruit, de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre.

Le calcul du bilan socio-économique du T10 est effectué :

- aux conditions économiques de 2012
- en tenant compte d'un début des travaux en 2017 et d'une mise en service en 2021 (première année pleine d'exploitation en 2022)
- sur une période de 30 ans à compter de la première année pleine d'exploitation.

Le bilan est présenté pour le projet T10 mis en service entre la Croix de Berny à Antony et la Place du Garde à Clamart. Le bilan du projet d'ensemble (T10 prolongé au nord) est également réalisé pour les deux variantes présentées ci-avant, en considérant une mise en service en 2030 et une première année pleine d'exploitation en 2031 pour la partie prolongée.

Il est établi sur la base des valeurs conventionnelles suivantes aux conditions économiques de 2012 :

Tableau 4. Valeurs conventionnelles des paramètres utilisés pour l'évaluation socio-économique		
	Valeurs conventionnelles en 2012, aux conditions économiques de 2012	Evolution au-delà de 2012 (en monnaie constante pour les valeurs monétaires)
Valeur du temps	18,9 € / heure	+ 1,5 % par an
Coût d'utilisation de la voiture particulière	0,31 € par véhicule kilomètre	Pas d'évolution
Taux d'occupation de la voiture particulière	1,29 personnes par voiture	Pas d'évolution
Amortissement du coût de création d'une place de stationnement et frais d'exploitation	3 739 € / an à Paris	Pas d'évolution
	1 956 € / an en petite couronne 479 € / an en grande couronne	
Décongestion de la voirie	1 véhicule kilomètre supprimé procure un gain de 0.125 heure aux autres véhicules	Pas d'évolution
Diminution des effets externes environnementaux négatifs liés à la circulation automobile	Bruit : 0,037 € par véhicule kilomètre économisé	+2% par an
	Pollution : 0,029 € par véhicule kilomètre économisé	+2% par an
	Effet de serre : 0,011 € par véhicule kilomètre économisé	+2% par an
Sécurité routière	0,010 € par véhicule kilomètre économisé	+1% par an
Entretien et police de la voirie	0,025 € par véhicule kilomètre économisé	Pas d'évolution

Par ailleurs, le trafic évolue par convention de 1% par an au-delà de 2021, ce qui est cohérent sur la période 2020-2030 avec les projections de population et d'emplois à ces deux horizons. Pour le bilan du T10 prolongé, le trafic du projet complet évolue lui aussi de + 1 % par an au-delà de 2031.

XIII.4.3.2 ELÉMENTS DE L'ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE

Le bilan est établi sur la base des prévisions de trafic du T10 par rapport à la situation de référence sans projet. Les éléments de coûts et de gains détaillés ci-après sont présentés arrondis au million d'euros près pour faciliter la lecture. Les éléments de coûts imputables au prolongement au nord ont été estimés dans le cadre des études exploratoires menées en 2012, parallèlement au Dossier d'Objectifs et Caractéristiques Principales du tramway T10 entre la Croix de Berny et la Place du Garde.

XIII.4.3.2.A Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement imputables au projet de tramway T10 entre la Croix de Berny et la Place du Garde comprennent les coûts d'infrastructure et d'achat du matériel roulant. Les investissements s'élèvent à 392,6 M€. Ce montant recouvre :

- Les coûts liés aux infrastructures : 350,6 M€
- Les coûts liés au matériel roulant : 42 M€

Par ailleurs, la restructuration du réseau de bus permet d'économiser l'achat d'un bus standard tous les ans en moyenne, soit 276 k€ par an.

Les premières estimations de coût du prolongement s'établissent entre 100 et 180 M€ (hors matériel roulant), selon le scénario de prolongement considéré. Le nombre de véhicules supplémentaires nécessaires au fonctionnement de la ligne prolongée avec une fréquence de 3 minutes et 30 secondes est d'environ 12 véhicules supplémentaires, soit 36 M€.

XIII.4.3.2.B Evolution des coûts d'exploitation

La différence de coûts d'exploitation par rapport à la situation de référence intègre les coûts d'exploitation supplémentaires liés à la mise en service du T10 ainsi que les coûts économisés grâce à la réorganisation de l'offre bus sur le secteur.

L'exploitation du prolongement du T10 représente 650 000 tramways x km à l'année. La restructuration de bus (i.e. la suppression de la ligne 379 et le report du terminus de la ligne 195) induit une économie d'environ 844 900 bus x km annuels.

La différence de coûts d'exploitation qui en résulte s'élève à 2,3 M€ par an.

Poste	Montant annuel en M€ 2012
Coût d'exploitation du T10	+ 6,5
Economies d'exploitation du réseau de bus	- 4,2
Total	+ 2,3

Tableau 5. Détail des coûts d'exploitation en millions d'euros 2012, année 2022

Le surcoût annuel d'exploitation due à l'opération de prolongement s'établit à environ 10 M€ par an.

XIII.4.3.3 GAINS DE TEMPS

Les gains de temps sont calculés par modélisation pour les usagers qui utilisent déjà les transports collectifs en situation de référence. Par convention :

- les temps de parcours sont calculé en pondérant par 2 les temps d'attente et de correspondance ressentis de manière plus pénible par les voyageurs que les temps passés dans les véhicules qui ne sont pas pondérés
- le gain de temps unitaire des nouveaux usagers des transports collectifs équivaut à la moitié du gain de temps des anciens usagers des transports collectifs.

A la mise en service du T10 entre La Croix de Berny et la Place du Garde, le gain de temps moyen par usager est estimé à environ 2 minutes. Cette valeur recouvre d'une part des gains de temps liés à l'utilisation du projet et d'autre part les correspondances nouvellement créées par la restructuration des bus du secteur.

Il est à noter que le gain de temps unitaire moyen estimé ici est à considérer comme un potentiel bas. En effet, l'offre bus en situation de référence et en situation de projet est calculée sur la base des temps de parcours théoriques. Or, pour les lignes de bus empruntant le tracé du futur tramway, les temps de parcours sont bien souvent pénalisés par des conditions de circulation difficiles.

Les cartes ci-après illustrent sur quelles origines – destinations se répartissent les gains de temps

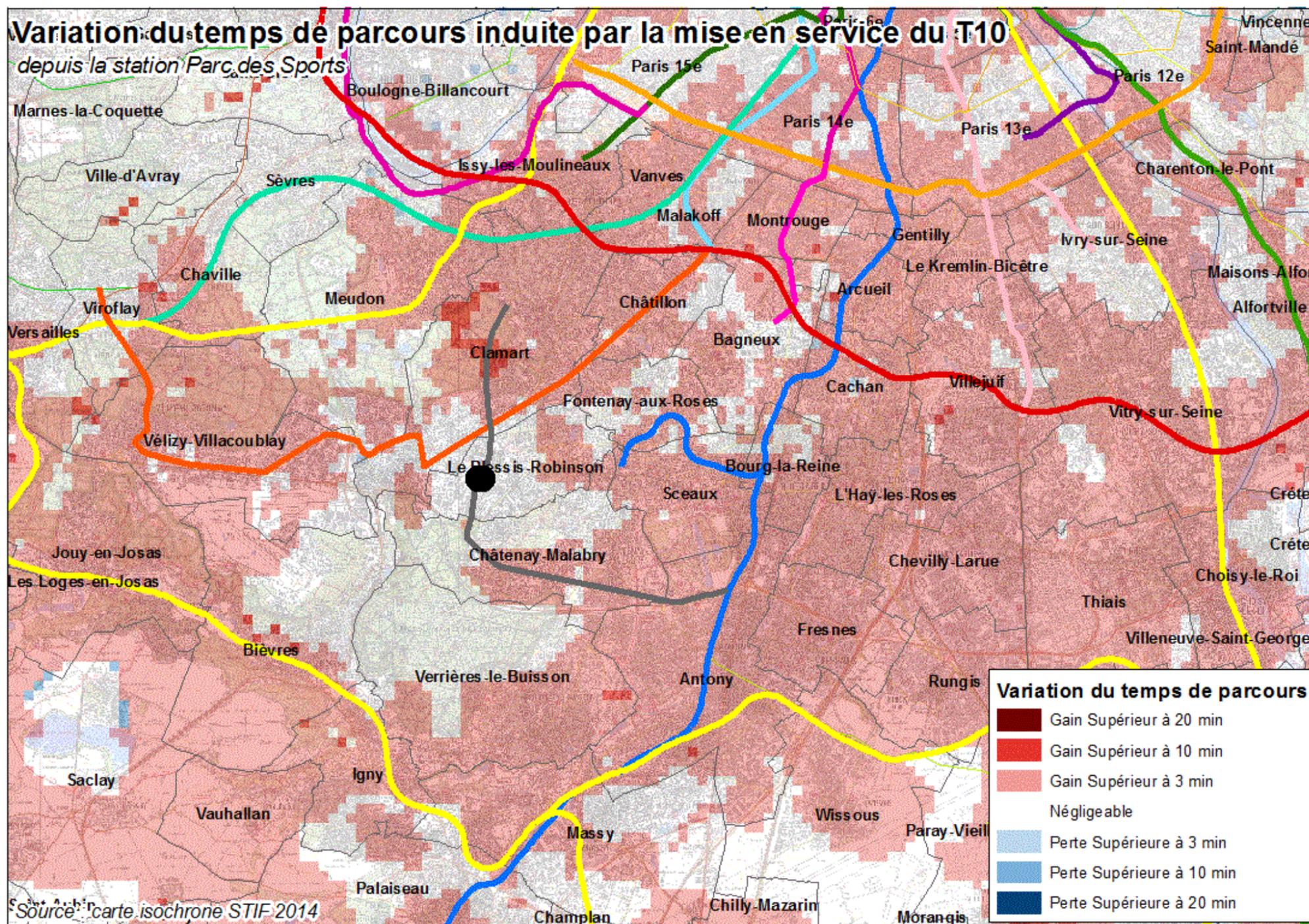
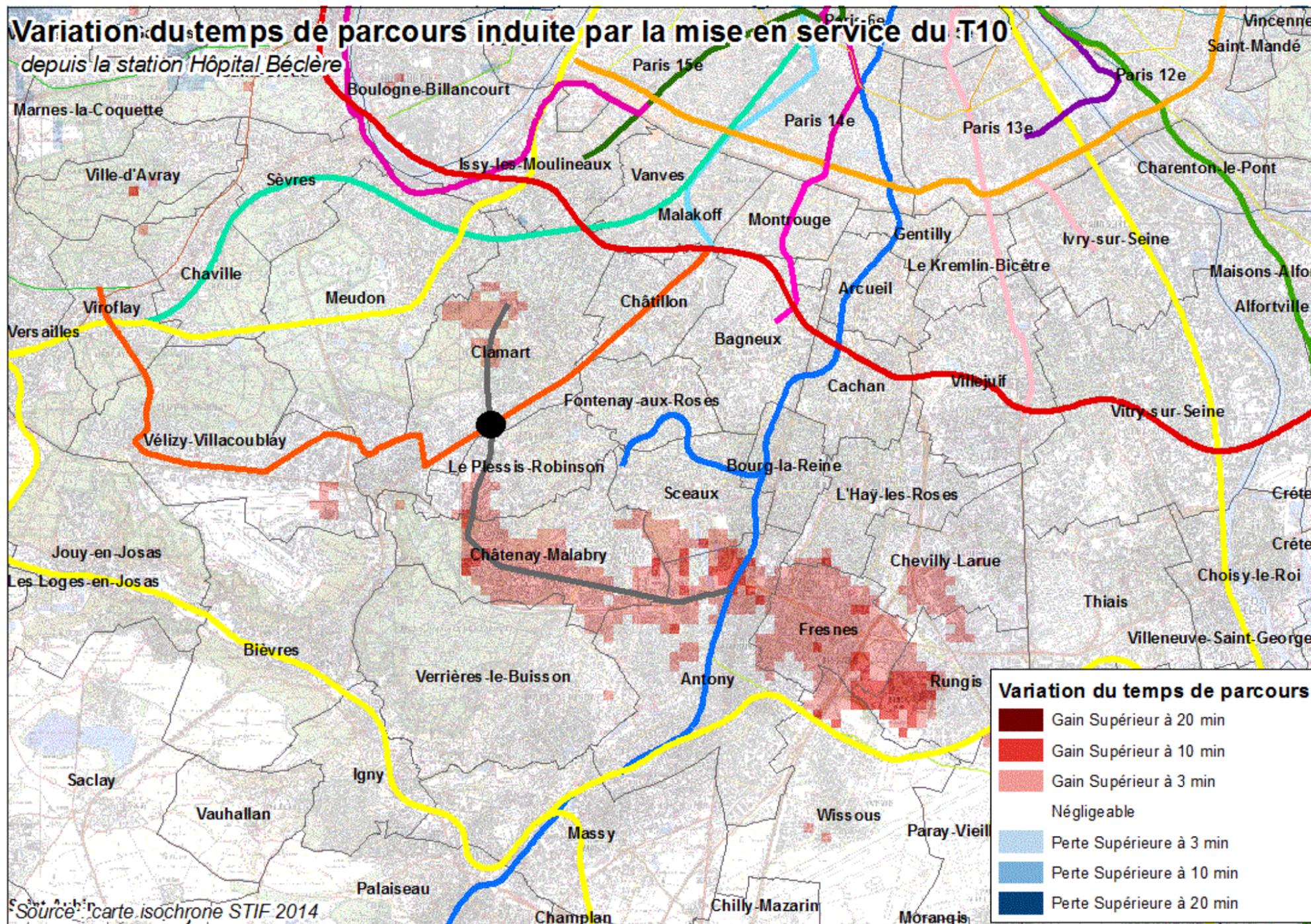


Illustration 2. Carte des variations de temps de parcours depuis la station Parc des Sports entre la situation de référence et la situation de projet à l'horizon 2020

Illustration 3. Carte des variations de temps de parcours depuis la station Hôpital Bécclère entre la situation de référence et la situation de projet à l'horizon 2020



A l'horizon de mise en service du projet, la fréquentation annuelle attendue sur le T10 s'élève à 7,30 millions de voyageurs. Parmi ces voyageurs, 6,27 millions sont des anciens utilisateurs des transports en commun et bénéficient donc d'un gain de temps de parcours d'environ 2 minutes. Le million d'utilisateurs induits ou reportés de la voiture particulière bénéficient d'un gain de temps de parcours de 1 minute.

Lors de la première année pleine d'exploitation en 2022, le gain de temps monétarisé annuel s'élève ainsi à 5,5 M€ (en euros 2012).

	Montant en M€ 2012
Gain de temps des anciens utilisateurs des transports en commun	+ 5,1
Gain de temps des reportés de la voiture particulière vers les transports en commun	+ 0,4
Total	+ 5,5

Tableau 6. Détail des gains de temps monétarisés en millions d'euros 2012, année 2022

XIII.4.3.3.A Gains liés au report modal

La part des usagers du T10 qui utilisent la voiture particulière en l'absence du projet est estimée par modélisation à 9% du trafic de la ligne de tramway. Le parcours moyen en voiture de ces usagers en situation de référence est de 8,5 km et le nombre de véhicules x kilomètres économisés est estimé à 4,4 millions pour l'année de mise en service.

Le report modal depuis la voiture particulière vers les transports collectifs lié au projet conduit à plusieurs types de gains :

- En premier lieu, les automobilistes qui choisissent d'utiliser les transports collectifs bénéficieront d'une économie dans leurs dépenses de transport : en effet, ces anciens automobilistes paieront uniquement un titre de transport pour utiliser le tramway, et n'auront plus de dépenses de carburant, assurance automobile, frais d'entretien, de stationnement etc.
- Par ailleurs, les utilisateurs de la voiture particulière qui continueront à utiliser la voirie bénéficieront de gains de temps liés à la mise en service du tramway : la réduction du trafic automobile engendrée par le report modal permettra de réduire la congestion de la voirie.
- La diminution du trafic routier engendrée par le report modal permet également de réduire les coûts d'exploitation de la voirie (entretien, renouvellement, police de la circulation, etc.). Le report modal entraîne aussi une diminution du besoin en places de stationnement, ce qui permet de réaliser des économies de coût de construction de ces places.
- Enfin, le report modal induit une réduction des nuisances générées par la circulation automobile (pollution, bruit, émission de gaz à effet de serre) et contribue ainsi à la préservation de

l'environnement. De même, en contribuant à réduire le trafic routier, le projet permet de réduire les risques d'accidents de la route et améliore ainsi la sécurité. Ces gains environnementaux et sociaux apportés par le projet ont eux-aussi été valorisés.

Au total, les gains liés au report modal depuis la voiture particulière vers les transports collectifs sont valorisés à hauteur de 8,8 millions d'euros pour la première année d'exploitation. Le tableau suivant présente la décomposition de ces gains.

Poste	Montant en M€ 2012
Gain de décongestion de la voirie	+ 6,3
Economie d'utilisation de la voiture	+ 1,4
Economie de stationnement	+ 0,5
Economie d'entretien et de police de la voirie	+ 0,1
Diminution des externalités environnementales négatives	+ 0,4
Gains de sécurité routière	+ 0,1
Total	+ 8,8

Tableau 7. Détail des gains liés au report modal depuis la voiture particulière en millions d'euros 2012, année 2022

Dans la perspective d'un prolongement au nord, la part des voyageurs reportés de la voiture particulière sur les transports en commun passe de 9% pour le T10 seul à 5% pour l'ensemble.

XIII.4.3.4 BILAN SOCIO-ÉCONOMIQUE

Pour le projet de tramway T 10 entre la Croix de Berny et la Place du Garde, le taux de rentabilité immédiate s'élève à 2,3% et le taux de rentabilité interne à 2%. Le bilan socio-économique actualisé s'élève à -334 M€. Ce TRI faible s'explique en partie par l'anticipation des investissements nécessaires au prolongement dont la réalisation, et donc les bénéfices pour la collectivité, sont reportés à un horizon ultérieur. Il peut néanmoins être relativisé au regard des gains non monétarisables et donc non comptabilisés dans le calcul socio-économique (cf. paragraphe ci-après).

A l'aune des hypothèses préalablement décrites, le taux de rentabilité interne du tramway T10 prolongé au nord atteindrait 5,5 à 7%.

Le projet dans son ensemble est un peu en dessous du taux d'actualisation fixé à 8 %, il est donc en limite du seuil de rentabilité socio-économique pour la collectivité.

XIII.4.3.5 ÉLÉMENTS NON VALORISÉS DANS L'ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE

Au-delà des gains monétarisables exposés ci-avant, le projet de tramway T10 est porteur d'une opportunité de renouvellement urbain le long de son tracé. Le projet inclut des opérations connexes d'aménagement qui vont générer une amélioration qualitative du cadre de vie des riverains.

Le tramway constituera à long terme pour les villes traversées une opportunité de pérenniser leur développement et d'accroître leur attractivité.

Les aménagements urbains qui accompagnent le projet de tramway vont contribuer à résorber les coupures urbaines matérialisées par les axes départementaux traversés, notamment le long de la RD 986 à Châtenay-Malabry et à Antony. La configuration actuelle de cette voirie ne favorise pas le développement des modes actifs tant pour l'usage du vélo que pour les piétons. .

Le projet de tramway T10 prévoit également le réaménagement des carrefours du 11 Novembre et de la Croix de Berny qui sont aujourd'hui des zones perçues comme des entraves aux déplacements en modes actifs.

L'arrivée du tramway rendra à ces espaces une dimension plus urbaine et un aspect plus qualitatif, d'une part en réduisant le trafic routier et d'autre part en favorisant les circulations cyclables (création de pistes sur l'ensemble du linéaire). Plus largement, les aménités urbaines contenues dans le projet renforceront l'attractivité du territoire vis-à-vis des entreprises et des habitants.

XIII.4.3.6 LES AVANTAGES POUR LA COLLECTIVITÉ

Le Tramway T10 s'inscrit dans un ensemble de projets visant à améliorer la desserte en transports en commun de la petite couronne du sud parisien et à soutenir le développement de l'urbanisation. Son tracé, en empruntant les deux routes départementales RD2 et RD986, permettra de desservir de nombreux bassins de population et d'emplois, des équipements, et d'offrir des connexions avec d'autres transports en commun du secteur, dont des transports structurants.

Au-delà des avantages directement valorisables dans le bilan socio-économique, il convient de rappeler l'ensemble des effets positifs attendus de cette nouvelle infrastructure sur son territoire.

XIII.4.3.6.A La desserte de zones denses et de nombreux équipements

Le tramway T10 est conçu pour desservir des zones d'habitation denses et désenclaver certains quartiers comme la Butte Rouge (Châtenay-Malabry) avec une offre de transport efficace pour rejoindre les axes structurants et les zones d'emplois comme Novéos (Le Plessis-Robinson), Centrale Parc (Châtenay-Malabry) et la zone de Vélizy par des correspondances bus et tramway (T6). Les stations sont positionnées de manière à **desservir un maximum de population**, et **optimiser le rabattement des bus** en provenance des communes concernées par le projet et des communes voisines.

La ligne de tramway a aussi vocation à desservir des **zones d'emplois importantes**. Plusieurs **zones d'activités** sont situées à proximité du tracé du tramway : le quartier d'affaires de la Croix-de-Berny (Antony) avec plus de 120 000 m² de bureaux, le parc d'affaire Novéos (entreprises à dominante de nouvelles technologies et grands groupes internationaux), le Parc Technologique de Clamart, et le Centre de Technologie Schlumberger (plus grand centre Schlumberger de ce type en Europe).

Les **perspectives de développement urbain** sont importantes sur ce territoire (nombreux projets de ZAC, création de nouveaux quartiers, de nouveaux équipements, mutation d'espaces existants, développement des zones d'activités existantes ...). Ces projets auront pour conséquence une densification des quartiers concernés, en population et en emplois, en particulier le long de la RD2 et de la RD986, entraînant de plus forts besoins de déplacements.

A l'horizon 2020, environ 44.000 habitants et 29.900 emplois seront localisés à moins de 500 mètres d'une station de tramway.

Le tramway T10 desservira également de nombreux équipements localisés dans la zone de chalandise de ses stations : des **équipements sportifs** (stades, piscines, gymnases, parcs et forêts facilitant la pratique sportive), des **équipements culturels et de loisirs** (cinéma Le Rex et pôle culturel à Châtenay-Malabry...), des **établissements scolaires** (en particulier le CREPS d'Ile-de-France), des **équipements de santé** (en particulier à Clamart, avec la desserte du Groupe Hospitalier Paul Giraud et de l'Hôpital Antoine Béclère) et enfin, plusieurs types d'**équipements commerciaux** (en particulier sur l'avenue de la Division Leclerc à Châtenay-Malabry et sur l'avenue Paul Langevin au Plessis-Robinson).

XIII.4.3.6.B Articulation avec les projets connexes

L'arrivée du tramway accompagnera les projets urbains et jouera certainement le rôle de catalyseur pour le développement du secteur, en renforçant l'attractivité du corridor desservi et plus largement auprès de l'ensemble des communes concernées par le projet. Ainsi, de nouveaux projets de développement urbain pourraient voir le jour sous l'impulsion du projet de tramway.

XIII.4.3.6.C Réponse aux enjeux de transport

Le projet de tramway permettra de répondre aux principaux enjeux de déplacements de l'aire d'étude élargie en :

- assurant une liaison capacitaire et attractive entre les communes d'Antony, de Châtenay-Malabry, du Plessis-Robinson et de Clamart. Cette liaison permettra d'améliorer la desserte des principales zones d'habitation et d'emplois, des équipements, et de rendre plus attractif les transports en commun grâce aux connexions proposées avec les modes ferrés, tramways et bus ;

- soutenant le développement urbain du secteur en offrant un nouveau moyen de transport capacitaire, à même de répondre aux nouveaux besoins de déplacement. ;
- proposant un rabattement optimal avec le RER B et le TVM au terminus de La Croix de Berny et avec le T6 à la station Hôpital Béclère. Le réseau de bus sera restructuré pour proposer une offre attractive de rabattement vers les autres gares et stations de l'aire d'étude et de ses alentours ;
- proposant une alternative aux modes routiers permettant ainsi de pacifier les axes empruntés et de mieux distribuer la place réservée aux modes actifs.

Le détail des impacts du projet sur le système de transport figure au paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

XIII.4.3.6.D Amélioration du cadre de vie

L'arrivée d'une infrastructure de ce type sur des grands axes comme la RD2 et la RD986 est l'occasion de **repenser le partage de l'espace public et le traitement des aménagements paysagers.**

L'ensemble des aménagements proposés le long du tracé du tramway T10 contribueront à réduire le caractère routier du paysage urbain et à pacifier des axes aujourd'hui très empruntés. Le projet sera ainsi l'occasion de recréer le lien entre les rives nord et sud de Châtenay-Malabry, aujourd'hui séparées par la RD986, et les rives est et ouest du Plessis-Robinson, situées de part et d'autre de la RD2.

L'aspect minéral actuel de ces axes sera compensé par la mise en place d'une plateforme végétalisée sur certains tronçons et de plantations d'arbres.

XIII.5. EVALUATION DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES RÉSULTANT DE L'EXPLOITATION DU PROJET

XIII.5.1 Préambule

L'objectif de cette étude est d'évaluer les gains potentiels en termes de consommations d'énergies engendrés par la mise en place du nouveau service de tramway, notamment grâce aux reports modaux, durant sa phase exploitation, conformément à la méthodologie pour l'évaluation de l'impact énergie des projets de TCSP de l'Observatoire Energie Environnement des Transports (OEET). Il s'agit d'une réflexion uniquement axée sur la traction et le transfert modal, les consommations d'énergie liées au fonctionnement et à la maintenance des infrastructures ne sont pas prises en compte.

XIII.5.2 Méthodologie

Les consommations énergétiques liées au projet ont été évaluées à partir des données de trafic proposées par la division études générales du Syndicat des Transports d'Ile-de-France (STIF).

L'étude prend en compte les consommations engendrées par les circulations du tramway, et celles évitées grâce aux reports de la route vers le fer et par la suppression et la modification respectivement des lignes de bus n°379 et n°195.

La durée de l'étude est de 30 ans à partir de la mise en service. Cette durée de 30 ans d'exploitation est utilisée en général sur les projets urbains et correspond à la durée de vie moyenne des rames de tramway.

L'étude a été menée selon deux angles, en énergie primaire (EP) et en énergie finale (EF). L'énergie primaire est l'énergie contenue dans les ressources naturelles, avant une éventuelle transformation. Le fioul, le gaz ou le bois sont des exemples d'énergie primaire. L'énergie finale est l'énergie utilisée par le consommateur, c'est-à-dire après transformation des ressources en énergie et après le transport.

L'électricité est l'énergie la plus utilisée en France (environ 42% des consommations totales). Mais c'est aussi l'énergie qui nécessite le plus de transformation. Actuellement, en France, un facteur de 2,58 est utilisé (rendement global de la production d'électricité de 38,5%). Cela signifie qu'un 1kWhEF=2,58kWhEP.

Pour les carburants issus d'énergie fossile tels que l'essence et le diesel, bien que les procédés de raffinage consomment de l'énergie et nécessitent du transport jusqu'à l'utilisateur final, le coefficient de conversion est par convention de 1, c'est-à-dire que énergie finale = énergie primaire.

Le but de tout rapporter en énergie primaire est de pouvoir mieux comparer les différentes sources d'énergies entre elles et leur impact réel sur l'environnement.

Tous les résultats sont exprimés en TEP (tonnes équivalent pétrole), unité commune fréquemment utilisée pour les calculs énergétiques. Ils sont assortis d'un fort degré d'incertitude inhérent à la méthodologie et aux différents coefficients utilisés.

XIII.5.3 Hypothèses de travail

Le tableau ci-après présente les données d'entrée utilisées en 2020 (supposées constantes pendant toute la durée d'exploitation) et en cumulé au bout de 30 ans après la mise en service :

DONNEES D'ENTREE (EN MILLIERS DE VEH.KM)	2020	APRES 30 ANS
Circulations tramway supplémentaires	650	19 500
Reports modaux route => fer	4 400	132 000
Modification des lignes de bus	845	25 350

Tableau 1. Données d'entrée sur l'évolution du trafic

Concernant les ratios et coefficients utilisés pour le calcul, deux scénarii sont proposés. Le premier en considérant l'efficacité énergétique des véhicules actuels en 2014, le second prenant en compte l'évolution des technologies et notamment la diminution des consommations des véhicules d'ici à 2020. Ce scénario est basé sur un exercice de prospective réalisé par l'ADEME dans son rapport « Vision 2030-2050 » dans lequel elle propose un scénario d'évolution du contexte énergétique en France à plus ou moins long terme.

Le tableau suivant précise les coefficients utilisés pour les calculs :

COEFFICIENT	VALEUR 2014	VALEUR 2020	UNITE	SOURCE
Voiture particulière	80	53	gep/véh.km	Rapport sur l'efficacité énergétique des modes de transport (Deloitte) + Rapport « Vision 2030-2050 » de l'ADEME
Bus	500	332	gep/véh.km	
Tramway	9	7	kWh/véh.km	Retour d'expérience sur des projets similaires
Conversion kWh en gep*	86		gep/kWh	Agence Internationale de l'Energie
Rapport kWh _{ef} /kWh _{ep} ** pour l'électricité française	2,58	2,36	kWh _{ef} /kWh _{ep}	ADEME – Observatoire de l'énergie – Légifrance + Rapport « Vision 2030-2050 » de l'ADEME

Tableau 2. Ratios et coefficients utilisés pour l'étude énergétique

* gep=gramme équivalent pétrole ** kWh d'énergie finale et kWh d'énergie primaire

Remarque : La diminution du rapport « kWh_{ef}/kWh_{ep} » reflète une amélioration de l'efficacité des modes de production de l'électricité, notamment due à une baisse de la part du nucléaire (faible rendement) dans le mix énergétique au profit des énergies renouvelables (rendement théorique de 100%, puisque inépuisables).

XIII.5.4 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats pour le premier scénario pour l'année de mise en service et au bout de 30 ans d'exploitation :

BILAN DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES SCENARIO 2014	ANNEE DE MISE EN SERVICE		APRES 30 ANS D'EXPLOITATION	
	Energie finale (tep)	Energie primaire (tep)	Energie finale (tep)	Energie primaire (tep)
Circulations tramway supplémentaires	+503	+1 298	+15 093	+38 940
Reports modaux route ->fer		- 352		-10 560
Modification des lignes de bus		- 423		- 12 675
Gain (TEP)	271	- 523	8 142	- 15 706

Tableau 3. Résultats de l'étude énergétique pour le scénario 2014

Remarque : Les résultats sont identiques en énergie finale et en énergie primaire pour les véhicules thermiques. En effet, les rendements de production des carburants étant très élevés (95% en moyenne), par convention le rapport entre énergie finale et énergie primaire est considéré égal à 1.

Le tableau ci-dessous présente les résultats pour le second scénario pour l'année de mise en service et au bout de 30 ans d'exploitation :

BILAN DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES SCENARIO 2020	ANNEE DE MISE EN SERVICE		APRES 30 ANS D'EXPLOITATION	
	Energie finale (tep)	Energie primaire (tep)	Energie finale (tep)	Energie primaire (tep)
Circulations tramway supplémentaires	+391	+923	+11 739	+27 704
Reports modaux route ->fer		- 234		- 7 020
Modification des lignes de bus		- 281		- 8 426
Gain (TEP)	124	- 409	3 707	- 12 258

Tableau 4. Résultats de l'étude énergétique pour le scénario 2020

Quel que soit le scénario retenu, on observe une forte disparité des résultats entre énergie finale et énergie primaire. Le projet engendre un gain lorsque l'on raisonne en énergie finale et une surconsommation d'énergie par rapport à une situation de référence si l'on raisonne en énergie primaire. Or c'est bien l'énergie primaire, qui tient compte des rendements des modes de production, qui renseigne le mieux sur l'impact réel de nos consommations sur les ressources énergétiques disponibles.

XIII.5.5 Conclusion

Quel que soit le scénario étudié, le gain en énergie primaire engendré par le projet est négatif, c'est à dire qu'il induit une surconsommation d'énergie par rapport à une situation de référence sans projet.

Le scénario 2020 étant le plus réaliste et compte tenu des incertitudes fortes inhérentes à la méthodologie employée, nous retiendrons qu'au bout de 30 ans d'exploitation, la surconsommation engendrée est d'environ 12 000 tonnes équivalents pétroles ($\pm 3 000$ tep).

Les principaux facteurs influençant le résultat sont le volume du report modal, la consommation unitaire des rames de tramways et le rendement du processus de fabrication de l'électricité (aujourd'hui faible car majoritairement d'origine nucléaire).

Les leviers d'action, à l'échelle du projet T10, pour améliorer ce bilan peuvent être les suivants :

- La mise en place de systèmes de récupération d'énergie au freinage (jusqu'à 15% d'économie) ;
- Le choix d'un matériel roulant le moins consommateur possible ;
- La formation des conducteurs de tramway à l'éco-conduite (jusqu'à 30% de gain annuel sur l'énergie de traction) ;
- Pratiquer une politique d'incitation à l'utilisation du tramway (coût attractif du billet) pour augmenter le report de la route vers le nouveau service mis en place ;
- L'achat d'électricité verte, c'est-à-dire produite (en totalité ou en partie) à partir d'énergies renouvelables. Plusieurs fournisseurs d'énergie proposent des offres 100% ou partiellement vertes. En effet, en augmentant la part des énergies renouvelables dans le mix électrique, le rendement de production est nettement amélioré, puisque les énergies renouvelables sont, par définition, inépuisables (une électricité produite à 100% à partir d'énergie renouvelable a donc un rendement théorique de 1). Le facteur actuel de 2.58 permettant de passer de l'énergie finale à l'énergie primaire pour l'électricité serait nettement amélioré.

Remarque : Ces pistes et les gains potentiels associés sont donnés à titre indicatif. Des études spécifiques dans les phases ultérieures seraient nécessaires pour juger de la pertinence ou non de mettre en place de telles mesures.

XIII.6. BILAN CARBONE

XIII.6.1 Objectifs de l'étude

L'objet de la présente étude est d'évaluer l'impact en termes de gaz à effet de serre (GES) du projet de création de la ligne de tramway T10.

L'évaluation prend en compte les émissions de GES générées par les travaux et les émissions évitées du fait de l'évolution des trafics, notamment les reports modaux de la voiture et du bus vers le nouveau service de transport en commun.

L'objectif est d'estimer la pertinence du projet du point de vue de la lutte contre le changement climatique et de calculer le temps de retour sur investissement carbone. En d'autres termes, il s'agit d'évaluer l'année à partir de laquelle le projet aura permis d'éviter plus d'émissions qu'il n'en n'aura générées.

XIII.6.2 Méthodologie

L'évaluation est réalisée à partir de la méthodologie Bilan Carbone® de l'ADEME et de la Base Carbone de l'association bilan carbone. Les facteurs d'émission de l'Arrêté du 10 avril 2012 pris pour l'application des articles 5, 6 et 8 du décret n°2011-1336 du 24 octobre 2011 relatif à l'information sur la quantité de dioxyde de carbone émise à l'occasion d'une prestation de transport et ceux issus de la méthodologie pour l'évaluation de l'impact énergie/CO₂ des projets de TCSP de l'OEET (Observatoire Energie Environnement des Transports), ont également été utilisés. Enfin, le retour d'expérience du groupement de maîtrise d'œuvre SARA sur des études similaires a été mis à profit pour l'évaluation, notamment pour la phase travaux.

L'essentiel des données d'entrée nécessaires à l'évaluation est issu des études préliminaires réalisées par le groupement de maîtrise d'œuvre SARA et des études socio-économiques mises à disposition par le STIF (Syndicat des Transports d'Ile-de-France).

L'intégralité des résultats est présentée en tonnes équivalent CO₂ (t_{eq}CO₂), conformément à la méthodologie de l'ADEME.

Remarque : Au vu du caractère très amont de l'étude, les émissions ont été estimées en ordre de grandeur et les résultats proposés sont assortis d'un fort degré d'incertitude.

XIII.6.3 Périmètre de l'évaluation

Le périmètre de l'étude comprend l'ensemble des travaux de création d'infrastructure et d'aménagement de l'existant, ainsi que l'évolution des déplacements (trafic ferroviaire et report modal route/fer) sur 50 années d'exploitation.

XIII.6.3.1 PHASE TRAVAUX

Les opérations suivantes ont été prises en compte pour la phase travaux :

- Les opérations de démolition préalable des bâtiments situés au droit du tracé ;
- Les opérations de déviations de réseau, d'assainissement et de terrassement ;
- La pose de la plateforme et des voies, y compris au niveau du Site de Maintenance et de Remisage (SMR) ;
- La création des stations (quais et équipements) ;
- Les installations électriques (sous-stations et alimentation en énergie du tramway) ;
- Les travaux de consolidation et de création des ouvrages d'art ;
- La création du SMR ;
- Les opérations d'accompagnement (création ou réfection de voirie, parkings, trottoirs, pistes cyclables, etc.) ;
- La construction du matériel roulant neuf acheté au titre du projet.

Pour chacune de ces opérations, sont pris en compte dans l'évaluation, les éléments suivants :

- Les émissions dues à la fabrication des matériaux nécessaires aux travaux ;
- Les émissions liées à leur acheminement ou leur évacuation (déblais par exemple) ;
- Les émissions dues aux consommations de carburant pour leur mise en œuvre (trains travaux, engins de chantier, etc.) ;
- Les émissions générées par les bases travaux et les déplacements des salariés (appelées « Organisation générale du chantier »).

XIII.6.3.2 PHASE EXPLOITATION

En phase exploitation l'évaluation prend en compte, sur une période de 30 ans à partir de la mise en service, les éléments suivants :

- Les émissions générées par la consommation d'électricité des rames de tramway ;
- Les émissions dues au fonctionnement des stations et de la signalisation ;
- Les émissions dues à la maintenance des rames et de l'infrastructure ;
- Les émissions générées par les déplacements domicile-travail du personnel ;
- Les émissions évitées grâce aux reports modaux de la voiture particulière (VP) et du bus vers le tramway.

XIII.6.4 Hypothèses et facteurs d'émission

XIII.6.4.1 PHASE TRAVAUX

Le tableau ci-après présente les hypothèses posées pour la phase travaux :

POSTES		DONNEES/HYPOTHESES
Démolitions préalables		Démolition de bâtiments acquis de type logements ou commercial.
Travaux préparatoires	Déviations de réseaux	<ul style="list-style-type: none"> Déblais ; Remblais.
	Terrassements	<ul style="list-style-type: none"> Déblais; Remblais.
	Assainissement	<ul style="list-style-type: none"> Déblais ; Remblais ; Piquages ; Canalisations ; Collecteurs.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> 1 litre de gazole par m³ de terre déplacé.
Plateforme et voie	En ligne	<ul style="list-style-type: none"> Pose de voie avec revêtement minéral ou végétal ;
	SMR	<ul style="list-style-type: none"> Pose de voie avec revêtement minéral.
Ouvrages d'art	Séquence 1	<ul style="list-style-type: none"> Mur de soutènement rue de Meudon le long du terminus Muret côté ouest de la RD2 à l'approche de la place du Garde

POSTES		DONNEES/HYPOTHESES
Ouvrages d'art	Séquence 2	<p>Mur de soutènement 1 en amont du pont échangeur de la RD906 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Déchets inertes démolition ancien mur ; Nouveau mur ; Dalle : béton armé. <p>Mur de soutènement 2 en amont du pont échangeur de la RD906 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mur en gabion à 2.5t/ m³ ; <p>Pont échangeur de la RD906 (soutènement 4) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Déchets inertes démolition ancien mur; Nouveau mur en paroi clouée : béton armé à 2.5t/ m³ ; <p>Murs de soutènement en aval du pont échangeur de la RD906 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Soutènement 5, mur à 2.5t/ m³ ; Soutènement 6, mur à 2.5t/ m³ ; Soutènement 7, mur à 2.5t/ m³ ; Soutènement 8, mur 2.5t/ m³ ;
	Séquence 3	<p>Ouvrages créés aux abords de la voirie sur la séquence :</p> <ul style="list-style-type: none"> Muret : béton armé à 2.5t/ m³ ; Mur de soutènement cité des Jardins côté sud : béton armé à 2.5t/ m³ et acier (garde-corps) ; Mur de soutènement R. Salengro : béton armé à 2.5t/ m³ et acier (garde-corps) ; Mur de soutènement côté nord : béton armé à 2.5t/ m³ ; <p>Passage du tramway sur l'ouvrage LGV 11 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Hypothèse (à confirmer) d'un ouvrage neuf de type PRO ; Démolition de l'ancien ouvrage : 10% des émissions du nouvel ouvrage.

POSTES		DONNEES/HYPOTHESES
	Séquence 4	Ouvrages du Parc de Sceaux : <ul style="list-style-type: none"> Muret du parking : béton armé à 2.5t/ m³ ; Accès rue Lebrun : béton armé à 2.5t/ m³ ; Opérations induites sur les ouvrages existants de la séquence 4: impact édicules A86 : béton armé à 2.5t/ m ³ .
Stations	Quais	<ul style="list-style-type: none"> Quais latéraux sur 13 stations; Quai central sur le terminus Clamart.
	Equipements	<ul style="list-style-type: none"> Ratio : 2.5% du poste plateforme et voie.
Energie	Sous-stations	Sept sous-stations 750V et bâtiments en maçonnerie correspondant.
	IFTE	<ul style="list-style-type: none"> ligne aérienne de contact (LAC) ; poteaux caténares (1t d'acier /poteau) ; plots béton (2.5m³ de béton/plot).
SMR		<ul style="list-style-type: none"> Atelier : structure acier ; Remisage : structure légère.
Matériel roulant		14 rames (horizon 2020) de type tramway 40m de long, 2,65m de large et 48 T par rame.
Opérations d'accompagnement		<ul style="list-style-type: none"> Voirie Trottoirs Pistes cyclables Parkings Bordures et caniveaux en béton (hors GLO) ; Bordures et bordurettes en béton (GLO)
Organisation générale du chantier	Déplacements domicile travail	<ul style="list-style-type: none"> 36 hommes.mois/M€ de coût brut de construction des infrastructures.
	Energie des bases de vie	<ul style="list-style-type: none"> des bases vie : administrative et travaux pour les entreprises titulaires des marchés de travaux, réparties sur le linéaire du projet.

Tableau 5. Données d'entrée et hypothèses pour la phase travaux

Remarques :

- Concernant l'acheminement des matériaux et l'évacuation des déchets, les hypothèses suivantes ont été prises pour les terrassements les ouvrages d'art et les IFTE :

ACHEMINEMENT/EVACUATION	DISTANCE ET MODE RETENUS
Acheminement du béton et des remblais	30 km en camion
Acheminement des canalisations d'assainissement, de l'acier et des gabions	50 km en camion
Acheminement des poteaux caténares et de la LAC	100 km en camion
Evacuation des déchets	30 km en camion

Tableau 6. Données d'entrée et hypothèses pour la phase travaux

- Pour les autres postes, l'acheminement/évacuation des matériaux et leur mise en œuvre (hormis pour les terrassements pour lesquels nous disposons de retours d'expérience) sont estimés grâce à des coefficients d'une valeur variant de 10 à 20% du montant des émissions générées par la fabrication des matériaux. En effet pour ce type d'infrastructure, en fonction des cas, la partie fabrication des matériaux représentent entre 80 et 90% des émissions totales du poste (fabrication + acheminement + mise en œuvre).

Le tableau ci-après présente les facteurs d'émissions associés aux travaux précédents :

POSTE	FE	VALEUR	UNITE	SOURCE
Acheminement/évacuation/mise en œuvre	Diesel	3,07	kgéqCO ₂ /l	Base carbone camion d'un PTAC compris entre 11 et 19 t
	Transport en camion	0,25	kgéqCO ₂ /T	Base carbone
Démolitions	Bâtiment démolition (structure béton)	82,50	kgéqCO ₂ /m ²	ADEME et CSTB
Travaux préparatoires	Pierres de carrière	11,00	kgéqCO ₂ /T	Base carbone
	Piquage PVC DN 300	0,01	Tonnes /ml	Base Inies
		14,95	kgéqCO ₂ /ml	Base Inies
	Canalisation PVC DN 600	0,02	Tonnes /ml	Base Inies
		29,90	kgéqCO ₂ /ml	Base Inies
Collecteur béton DN 2000	1,70	Tonnes /ml	Site constructeur (Celestin matériaux)	
Plateforme et voie	Plateforme structure classique revêtement minéral	1470,00	kgéqCO ₂ /ml	REX SYSTRA
	Plateforme structure classique revêtement végétalisé (hypothèse prise pour le calcul du bilan carbone à confirmer dans les études ultérieures)	1280,00	kgéqCO ₂ /ml	REX SYSTRA
	Pose de voie double	1224,00	kgéqCO ₂ /ml	REX SYSTRA
	Pose collée ou sur jaquette	1180,00	kgéqCO ₂ /ml	REX SYSTRA
Ouvrages d'art	Béton	176,00	kgéqCO ₂ /m ³	Base carbone
	Béton armé	916,60	kgéqCO ₂ /m ³	Base carbone
	Acier	3190,00	kgéqCO ₂ /T	Base carbone
	Gabions	30,00	kgéqCO ₂ /T	REX SYSTRA
	PRA	422,00	téqCO ₂	REX SYSTRA
Stations	Section type quai latéral	782,58	kgéqCO ₂ /ml	estimation
	Section type quai central	1042,02	kgéqCO ₂ /ml	estimation
	Signalisation, équipement urbains des stations, billettique	2,50	% du poste plateforme et voie	REX SYSTRA
SMR/Energie	Bâtiment (structure béton)	825,00	kgéqCO ₂ /m ²	Base carbone
	Bâtiment (structure acier)	275,00	kgéqCO ₂ /m ²	Base carbone
Energie	Cuivre	2933,00	kgéqCO ₂ /T	Base carbone
	LAC	4,11	kgéqCO ₂ /ml	REX SYSTRA
Opérations d'accompagnement	Parking	73,30	kgéqCO ₂ /m ²	Base carbone
	Voirie	117,00	kgéqCO ₂ /m ²	Base carbone
	Trottoir	58,50	kgéqCO ₂ /m ²	REX SYSTRA
	Caniveau	100,00	kg/ml	Site constructeur (sotubema)
	bordures	80,00	kg/ml	Site constructeur (sotubema)
Matériel roulant	Matériel roulant	6966,67	kgéqCO ₂ /T	REX SYSTRA
Organisation générale du chantier	Organisation chantier	150,00	kgéqCO ₂ /H.mois	REX SYSTRA
		36,00	H.mois/Meuros	REX SYSTRA
	Electricité bâtiment	283,00	kWh/m ² /an	Base carbone
		0,09	kgéqCO ₂ /kWh	Base carbone

Tableau 7 : Facteurs d'émission pour la phase travaux

XIII.6.4.2 PHASE EXPLOITATION

L'étude a été menée sur 30 années d'exploitation à partir de la mise en service supposée en 2020. Le tableau ci-après présente l'évolution du trafic considérée en 2020 et en cumulé au bout de 30 ans d'exploitation. Ces données proviennent de la division études générales du Syndicat des Transports d'Ile-de-France (STIF).

EVOLUTION DU TRAFIC (EN MILLIERS DE VEH.KM)	2020	CUMUL APRES 30 ANS
Circulations du tramway	+ 650*	+ 19 500
Reports de la voiture particulière vers le tramway	- 4 400	- 132 000
Suppression lignes de bus 379 et report du terminus ligne 195	- 845	- 25 350

Tableau 8 : Données d'entrée pour la phase exploitation

* Les 650 000 véh.km sont le nb total de km parcourus par l'ensemble des rames de tramway par an, ce chiffre est issu de l'étude d'exploitation tramway.

Remarque : Les évolutions de trafic présentées ci-dessus sont considérées constantes durant les 30 années d'exploitation.

Concernant les facteurs d'émission, deux scénarios sont proposés. L'un en considérant des émissions de véhicules actuels en 2014, le second en prenant en compte l'évolution des technologies et du mix énergétique à horizon 2020. Ce dernier est basé sur un exercice de prospective réalisé par l'ADEME dans le rapport « Vision 2030-2050 » qui propose notamment une émission moyenne du parc automobile français de 100 gréqCO₂/voy.km et un mix électrique divisé par 3 d'ici à 2030.

FACTEURS D'EMISSION (EN GEQCO ₂ /VEH.KM)	« SCENARIO 2014 »	SOURCE	« SCENARIO 2030 »	SOURCE
Tramway	309	Base Carbone	232	rapport « Vision 2030-2050 » de l'ADEME
Voiture Particulière	213		142	
Bus	1 730		1 150	

Tableau 9 : Facteurs d'émission pour la phase exploitation

Les opérations de maintenance et de fonctionnement sont estimées à partir de notre retour d'expérience sur des projets similaires notamment le tramway de Brest. **Le facteur proposé est de 400 téqCO₂/an.**

Ce facteur comprend la maintenance des rames et de l'infrastructure, l'énergie de fonctionnement des stations, de la signalisation et du SMR et les déplacements des agents.

XIII.6.5 Résultats de l'étude

XIII.6.5.1 PHASE TRAVAUX

Le tableau ci-après présente les résultats pour la phase de construction des infrastructures :

POSTES	TEQCO ₂	%
Démolitions	132	0,2%
Déviations réseaux/terrassement/assainissement	13 503	17,9%
Plateforme et voie	28 462	37,7%
Ouvrages d'arts	1 396	1,8%
Stations	1 872	2,5%
Energie	2 319	3,1%
Création du SMR	2 819	3,7%
Matériel roulant	4 682	6,2%
Opérations d'accompagnement	19 009	25,2%
Organisation du chantier	1 338	1,8%
Total	75 532	100,0%

Tableau 10 : Résultats pour la phase travaux

Le graphique ci-après présente la répartition des émissions par poste :

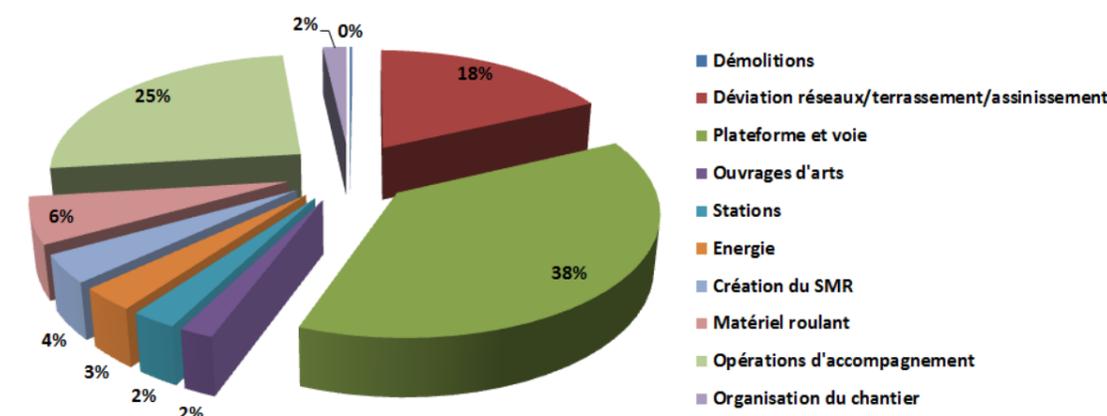


Illustration 7. Répartition des émissions de la phase travaux par poste

Plus de 80% des émissions totales générées sont dues à 3 principaux postes. La pose de la voie en tant que telle (plateforme, voie et revêtement) représente le premier poste avec un peu plus du tiers des émissions. Un quart des émissions sont générées par les opérations de voiries connexes (création de voirie, de pistes cyclables de trottoirs, etc.). Une part non négligeable (18%) est également due aux terrassements importants avec au total plus de 300 000 m³ de déblais évacués et environ 220 000 m³ de remblais mis en œuvre.

XIII.6.5.2 PHASE EXPLOITATION

Le tableau ci-après présente les résultats pour la phase exploitation :

RESULTAT TRAFIC (TEQCO2)	« SCENARIO 2014 »		« SCENARIO 2020 »	
	2020	APRES 30 ANS	2020	APRES 30 ANS
Tramways supplémentaires	+ 201	+ 6 026	+ 151	+ 4 519
Report de la voiture particulière vers le tramway	- 937	- 28 116	- 623	- 18 691
Bus supprimés/modifiés	- 1 462	- 43 856	- 972	- 29 155
Maintenance et fonctionnement	+ 400	+ 12 000	+ 400	+ 12 000
Bilan	- 1 798	- 53 946	- 1 044	- 31 327

Tableau 11 : Résultats pour la phase exploitation

Les résultats varient grandement (facteur de 1.75) en fonction des hypothèses prises pour la phase exploitation. En considérant des véhicules actuels (très émissifs) sur toute la durée de l'étude, le gain en termes de GES est nettement plus important qu'avec des véhicules de 2020, qui d'après les perspectives de l'ADEME seront moins émissifs.

Même en prenant des véhicules de 2020, un biais subsiste car les émissions sont considérées comme constantes sur toute la durée de l'exploitation. En effet, par manque de données fiables sur le sujet, les évolutions technologiques postérieures à cette date ne sont pas prises en compte dans notre étude.

Pour la réflexion sur les enjeux carbone liés aux émissions de GES dans le cadre du projet T10, le scénario 2020 est à considérer, car plus réaliste.

Ainsi, en considérant le scénario 2020, on retiendra, au vu des incertitudes existantes, que le projet en phase exploitation permettra un gain d'environ 30 000 téqCO₂ à l'issue de 30 années d'exploitation.

A titre de comparaison, les gains engendrés correspondent environ aux émissions de :

- 4 000 français pendant une année ;
- 25 000 allers-retours Paris/New-York en avion ;

- 150 Millions de kilomètres en voiture (avec une voiture moyenne actuelle), soit 3 700 tours de la Terre.

Remarque : il s'agit des résultats pour la phase exploitation seule. Ceux-ci ne prennent pas en compte les émissions de la phase travaux.

XIII.6.5.3 BILAN GLOBAL POUR LE PROJET

Le tableau ci-après présente le bilan global des émissions du projet comprenant la phase travaux et la phase exploitation :

BILAN GLOBAL (TEQCO2) APRES 30 ANS		« SCENARIO 2014 »	« SCENARIO 2020 »
Phase exploitation	Total émissions générées	+ 18 026	+16 519
	Total émissions évitées	- 71 972	- 47 846
Phase travaux	Total émissions générées	+ 75 532	+ 75 532
Bilan global		+ 21 586	+ 44 205

Tableau 12 : Bilan des résultats phases travaux et exploitation

Au bout de 30 années d'exploitation, quel que soit le scénario, **les émissions évitées en phase exploitation ne permettent pas de compenser celles générées par les travaux.** Pour le scénario 2020, le projet dans sa globalité est excédentaire de plus de 40 000 téqCO₂.

Au niveau global, le projet présente donc un gain négatif en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

XIII.6.6 Conclusion et pistes d'amélioration

Au niveau global, compte-tenu des données et hypothèses présentées précédemment, le projet ne présente pas de bénéfices du point de vue de la lutte contre le changement climatique. En effet sur l'ensemble de son cycle de vie, il émettra plus de gaz à effet de serre qu'il n'en évitera.

En revanche, localement et pendant sa phase exploitation, il permettra d'améliorer la qualité de l'air ambiant et la qualité de vie des riverains. En effet, il permettra en phase exploitation, de décongestionner en partie les axes routiers et par là même d'occasionner une baisse des émissions de polluants atmosphériques locaux

Plusieurs pistes d'amélioration existent pour améliorer le bilan carbone d'un projet de tramway. Il s'agit notamment de :

Phase travaux :

- La réduction des distances d'acheminement et d'évacuation des matériaux, notamment pour les terrassements (volumes de déblais/remblais très importants pour le projet T10). Plus de la moitié des émissions liées aux terrassements sont en général dues au fret, le potentiel d'amélioration est donc très significatif.
- Pour les opérations de voirie (voirie, parkings, pistes cyclables, etc.), l'utilisation de graves non traitées recyclées, un abaissement de la température de mise en œuvre des enrobés et l'incorporation d'agrégats recyclés dans les couches d'enrobés permettent de diminuer sensiblement les émissions du poste (jusqu'à 10%).
- L'optimisation de la structure et le revêtement des voies du tramway. En fonction du type de structure (perméable/imperméable) de la nature du revêtement (végétal/béton/pavé/enrobé/bois, etc.) et du niveau acoustique souhaité (-10dB, -20dB, etc.), les émissions au mètre linéaire de l'infrastructure peuvent varier du simple au double. Par exemple pour une atténuation acoustique de -20dB, poser une structure perméable avec revêtement végétalisé au lieu d'une structure imperméable avec un revêtement en pavé, permet un gain de l'ordre de 40%.

Phase exploitation :

- La récupération d'énergie au freinage au niveau des sous-stations permet une économie substantielle des consommations liées à la traction et donc des émissions de gaz à effet de serre (jusqu'à 15%, selon le profil en long de la ligne).
- L'implantation d'énergies renouvelables, notamment de panneaux solaires photovoltaïques au niveau du SMR par exemple (le potentiel d'amélioration dépendra des surfaces installées).
- La formation des conducteurs de tramway à l'éco-conduite (jusqu'à 30% de gain annuel sur l'énergie de traction).
- Pratiquer une politique d'incitation à l'utilisation du tramway (coût attractif du billet) pour augmenter le report de la route vers le nouveau service mis en place.
- L'achat d'électricité verte, c'est-à-dire produite (en totalité ou en partie) à partir d'énergies renouvelables. Plusieurs fournisseurs d'énergie proposent des offres 100% ou partiellement vertes.

Remarque : Ces pistes et les gains potentiels associés sont donnés à titre indicatif. Des études spécifiques dans les phases ultérieures seraient nécessaires pour juger de la pertinence ou non de mettre en place de telles mesures.

XIII.7. DESCRIPTION DES HYPOTHÈSES DE TRAFIC ROUTIER

XIII.7.1 Hypothèses de passage du tramway en carrefour

- Longueur du matériel roulant : 45 m
- Intervalle de passage entre 2 tramways par sens en heure de pointe du matin et du soir pour le dimensionnement des carrefours : 3min 30sec (hypothèse maximale dimensionnante correspondant aux fréquences envisagées à la mise en service du prolongement au nord)
- Vitesse du tramway en carrefour : 30 à 40 km/h en fonction de l'environnement du carrefour
- Priorité maximale du tramway aux carrefours

XIII.7.2 Méthodologie de modélisation

XIII.7.2.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

La méthodologie générale a consisté à évaluer l'impact du projet sur la circulation routière et ses conséquences sur les carrefours à l'horizon 2020 (horizon de mise en service du tramway) et 2030, en réalisant des modélisations et des projections de trafic routier à ces horizons.

La démarche, appliquée sur l'heure de pointe du matin et celle du soir (HPM et HPS), s'est déroulée selon les étapes suivantes :

- Calage du modèle à l'horizon 2013 : à partir d'un extrait du modèle régional développé par la DRIEA (avec le logiciel VISUM), un modèle local affiné (réseau et matrice) a été constitué spécifiquement pour le projet T10.
- Comptages routiers : des comptages de trafic ont été réalisés sur le terrain et un travail de comparaison entre les résultats du modèle précédent et la réalité des comptages a été réalisé pour coller au plus près de la réalité.
- Projection du modèle en 2020 et 2030 pour une situation de référence : un réseau de référence pour 2020 a été constitué dans le modèle sur la base des projets connexes retenus à cet horizon.
- Tests de scénarios en 2020 et 2030 : divers scénarios du projet T10 ont été insérés et testés dans les modèles 2020 et 2030.

Le modèle DRIEA utilisé pour caler le modèle initial couvre l'ensemble de l'Île de France. Pour pouvoir analyser en particulier une partie du réseau en lien avec le projet T10, la modélisation d'un secteur de moindre importance a été affinée pour permettre une meilleure lisibilité des éléments de réseau à cette échelle et de leurs relations.

Les flux de trafic obtenus sont ainsi dans un premier temps issus de cette modélisation des niveaux de trafics routiers, puis dans un second temps, recalés au niveau des mouvements tournant pour analyser les carrefours.

XIII.7.2.2 CALAGE DU MODÈLE À L'HORIZON 2013

L'étude de trafic lié à la mise en œuvre du tramway Antony-Clamart a nécessité d'affiner le zonage et le réseau. Ceci a été fait en prenant en compte dans le détail toute la voirie qui peut assurer un rôle significatif pour les transits, les échanges et les trafics internes de courte distance. Le réseau DRIEA 2009 a été repris dans sa totalité : des affinages ont été effectués ainsi que des ajustements portés dans le cadre du calage (éclatement de zones, branchements de ces zones sur le réseau, vitesses de référence et capacités de la voirie locale...). La fiabilité du modèle a ainsi été renforcée localement.

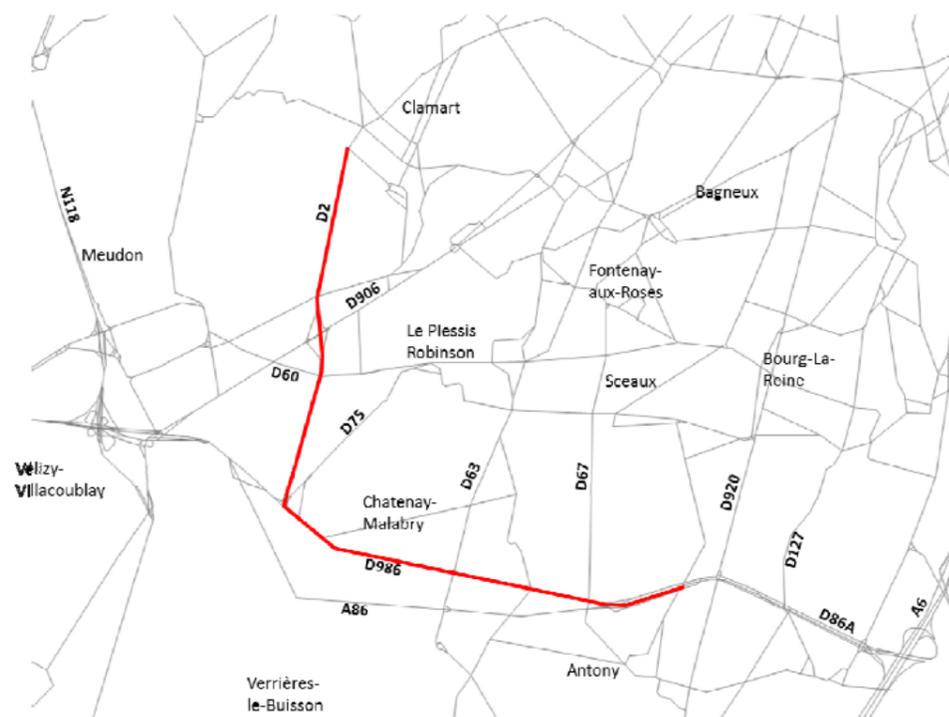


Illustration 8. Réseau routier – modèle DRIEA, source : note résultats modélisation trafic

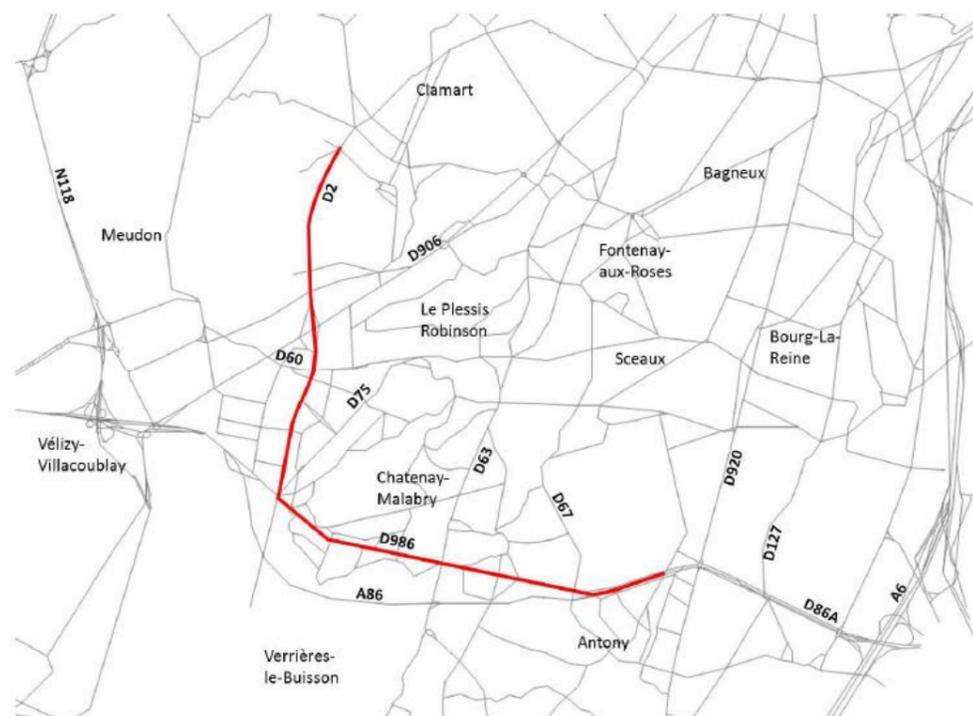


Illustration 9. Réseau routier, modèle affiné, source : note résultats modélisation trafic

XIII.7.2.3 MODÉLISATION PROJETÉE

Les études de trafic ont modélisé la situation sans le projet de tramway T10 aux horizons 2020 (horizon de mise en service du tramway T10) et 2030 (appelées scénarios de référence), puis ces mêmes situations avec projet T10, afin de déterminer les effets uniquement dus au projet.

Les scénarios de référence prennent notamment en compte les aménagements et projets d'infrastructures suivants : échangeur de la Boursidière sur l'A86, échangeur entre l'A86 et la RD 63 à Chatenay-Malabry, tramway T6, tunnel Sud de l'A86 à Antony (en 2030 uniquement) ainsi que les projets urbains connus.

Outre le projet de tramway T10, le scénario projet prend en compte les mêmes projets que le scénario de référence.

XIII.7.3 Impacts sur le trafic routier

Par rapport à la situation actuelle, la situation de référence 2020 (sans projet) connaît une hausse de trafic sur l'ensemble du secteur d'étude qui s'explique par les nombreux projets urbains de l'aire d'étude et par les évolutions naturelles de la population et des emplois dans le périmètre d'étude.

Le tramway T10 va permettre un report modal de la voiture vers le tramway évalué à 330 voyageurs à l'heure de pointe du matin, à la mise en service. Le projet ne permet pas de réduire significativement, à lui seul, la part de la voiture dans les déplacements. Néanmoins, il s'inscrit dans un réseau de transports en commun qui dans son ensemble offre une alternative attractive à la voiture.

L'arrivée du tramway entraîne :

- un nombre plus important de carrefours gérés par feux et de traversées piétonnes protégées à traverser,
- une réduction du temps dédié aux voitures dans les cycles de feux puisque qu'une phase propre est donnée au tramway (avec arrêt total de la circulation des voitures pendant le passage du tramway pour éviter les conflits VL/Tram),
- une réduction des largeurs de voie avec l'insertion de la plateforme tramway,
- une réduction de la vitesse moyenne de roulement des voitures sur l'axe RD2.

A l'horizon de la **mise en service**, par rapport à la situation de référence (sans projet), le projet de Tramway T10 génère les principaux effets suivants aux heures de pointe :

- Une baisse de trafic sur la RD2 dans les deux sens de circulation liée au caractère plus urbain, apaisé, et moins routier de cet axe. Ce changement de fonctionnalité de la RD2 a pour conséquence de réinterroger les trajets routiers parcourus sur l'axe. La succession de carrefours à feux induit une augmentation des temps de parcours ; de ce fait, d'autres itinéraires deviennent

plus intéressants. induisant une baisse locale du trafic sur l'axe et un report de trafic diffus. Les trajets réalisés sur la RD2 seront plus courts ;

- Une légère baisse de trafic sur la RD986 à l'heure de pointe du matin, liée à la mise en œuvre de la priorité tramway réduisant le temps dédié aux voitures. Les véhicules se reportent en partie sur l'A86 et se diffusent sur d'autres voies parallèles ;
- Un trafic quasi identique sur la RD986 à l'heure de pointe du soir.

Globalement, le projet engendre une baisse de trafic sur la RD 2 et la RD 986 par rapport à la situation de référence (sans projet à l'horizon 2020).

Les reports de trafic sont assez diffus : en effet, on constate qu'aucun axe ne reprend plus de 130 UVP sur les 400 UVP se reportant au global. Cependant on note que les axes suivants connaissent une augmentation de trafic à l'heure de pointe du matin : av. Jean Baptiste Clément et rue de Bièvres à Clamart, rue du Carreau au Plessis Robinson. A l'heure de pointe du soir, seuls l'av. Jean Baptiste Clément et la rue de la Cavée à Clamart sont concernés par cette augmentation due au report de trafic.

La RD986 connaît également des baisses de trafic (matin et soir) mais cependant dans une moindre mesure : les véhicules se reportent sur l'A86, la rue Jaurès et le chemin de la Justice à Châtenay-Malabry, ou se diffusent sur d'autres voies parallèles.

Ces éléments sont illustrés sur les cartes page suivante pour l'heure de pointe du matin à l'horizon de sa mise en service.

A l'horizon 2030, par rapport à la situation de référence (sans projet, à l'horizon 2030), les effets prévisionnels du projet T10 sont les mêmes qu'en 2020 aux heures de pointe.

Comme en 2020, les reports de trafic liés au changement de fonctionnalité de l'axe RD2 sont assez diffus, les axes connaissant une augmentation de trafic sont les mêmes qu'en 2020.

Les 2 premières illustrations ci-après présentent le trafic à la mise en service du tramway T10 à l'heure de pointe du matin, puis du soir, en UVP (Unité de Véhicules Particuliers) ainsi les variations par rapport au scénario de référence (valeurs en vert) sur la RD 2 et la RD 986.

Les 2 dernières illustrations indiquent les reports de trafic générés par le projet, à la mise en service du tramway T10, respectivement à l'heure de pointe du matin et à l'heure de pointe du soir (variations de trafic entre le scénario de référence 2020 avec projet et sans projet sur l'aire d'étude du projet). Seules les variations supérieures à 50uvp sont représentées.

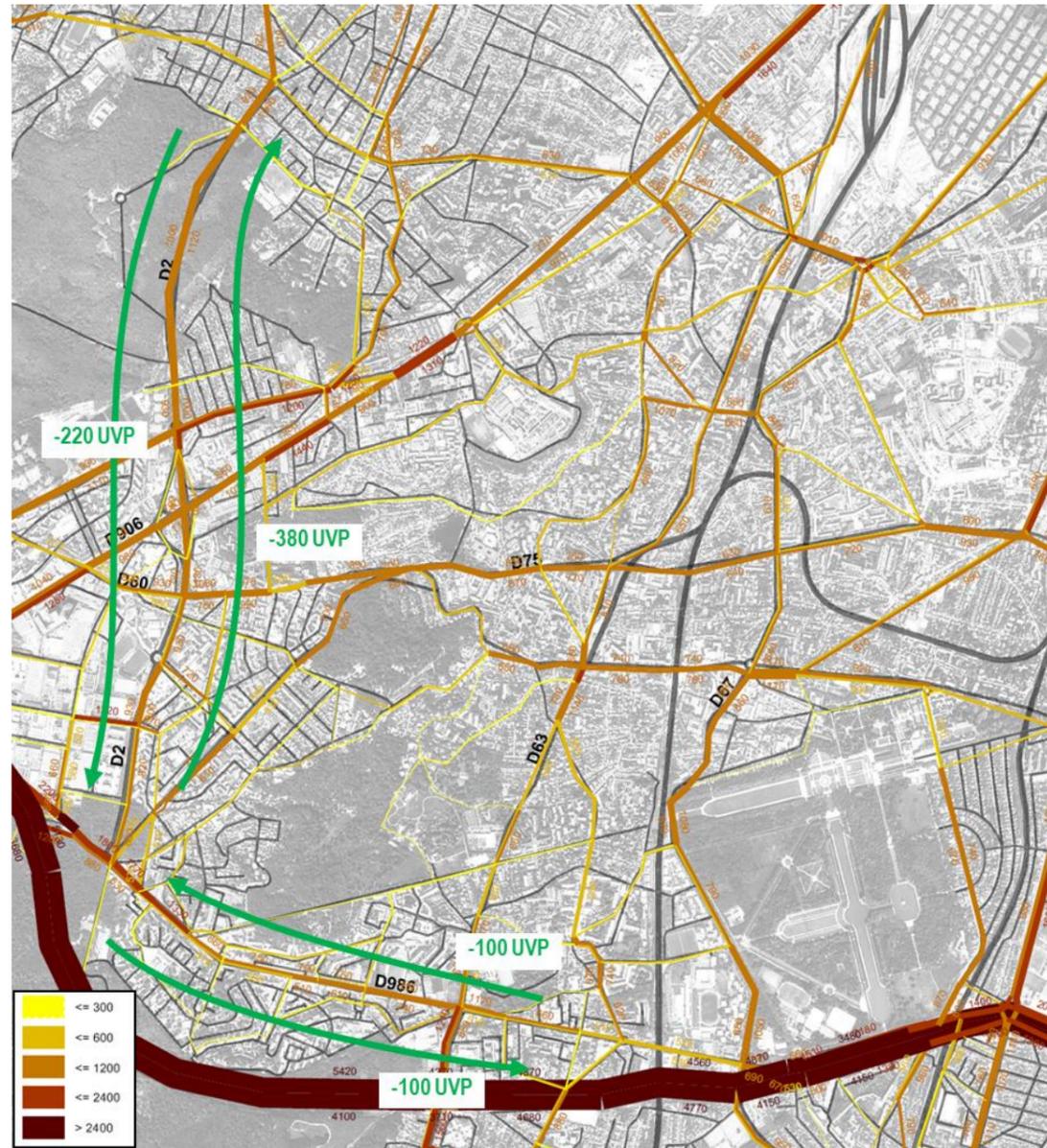


Illustration 10. Trafic routier à l'horizon de la mise en service (avec projet T10) et principales évolutions de trafic sur RD 2 et RD 986 par rapport au scénario de référence sans projet – heure de pointe du matin

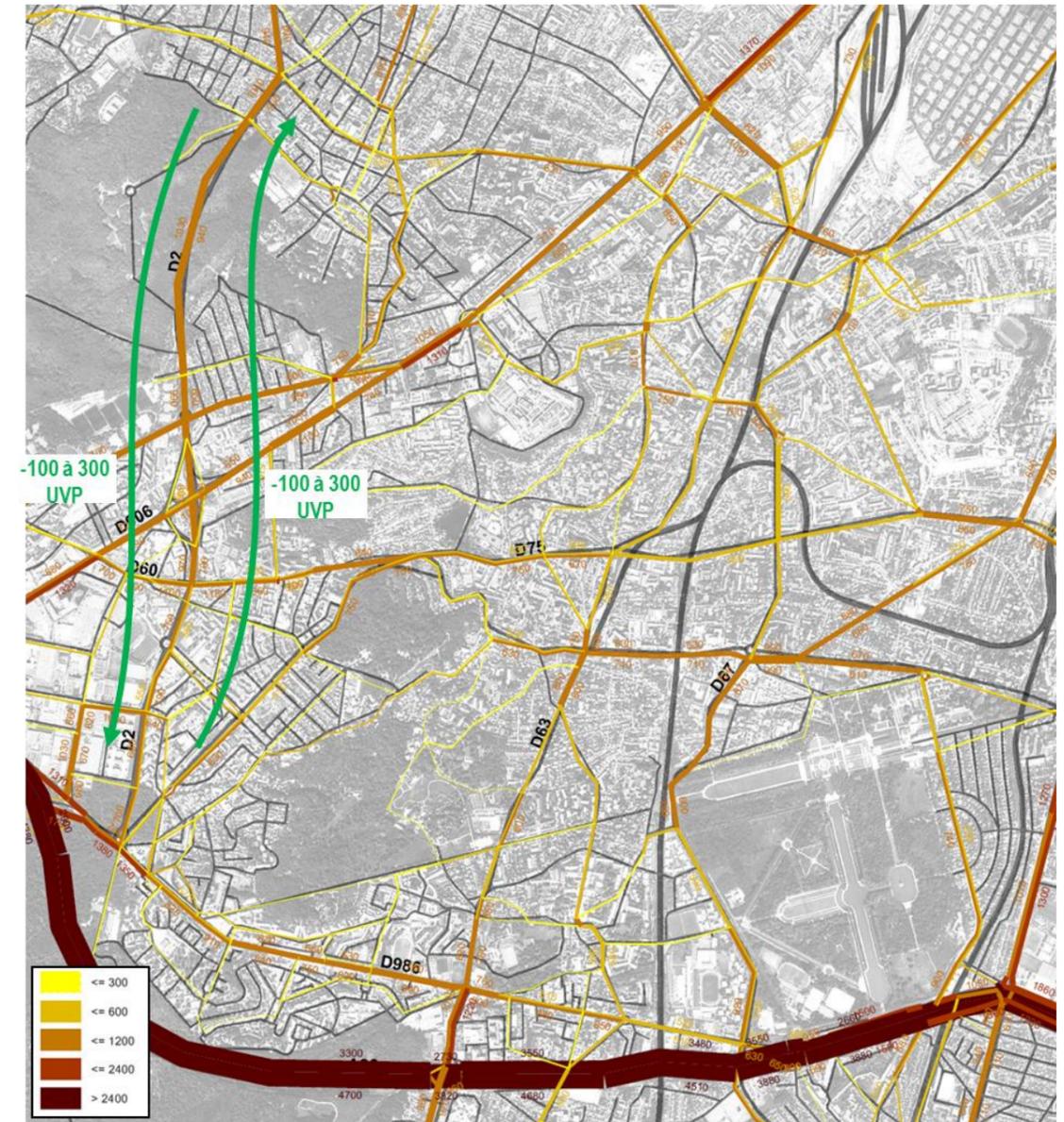


Illustration 11. Trafic routier à l'horizon de la mise en service (avec projet T10) et principales évolutions de trafic sur RD 2 et RD 986 par rapport au scénario de référence sans projet – heure de pointe du soir

uvp/h, unités de véhicules particuliers par heure, où : 1 véhicule léger (VL) = 1 uvp ; 1 poids-lourd (PL) = 2 uvp ; 1 bus = 2 uvp ; 1 deux-roues motorisés = 0,3 uvp ; 1 vélo = 0,3 uvp.

Les flèches représentent les variations par rapport au scénario de référence.

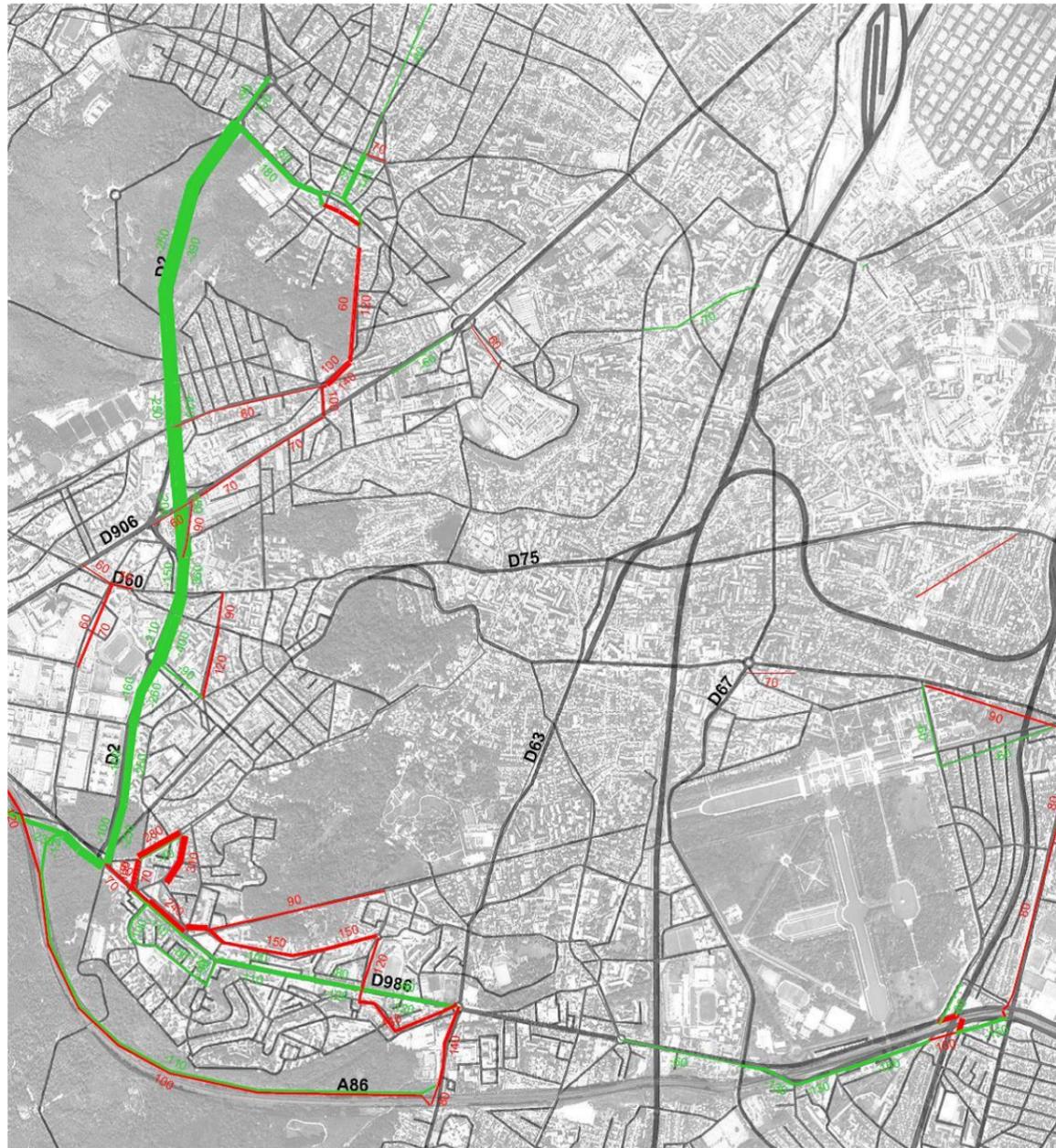


Illustration 12. Reports de trafic sur les différents axes routiers dus au projet de tramway – Heure de pointe du matin – horizon : mise en service du tramway

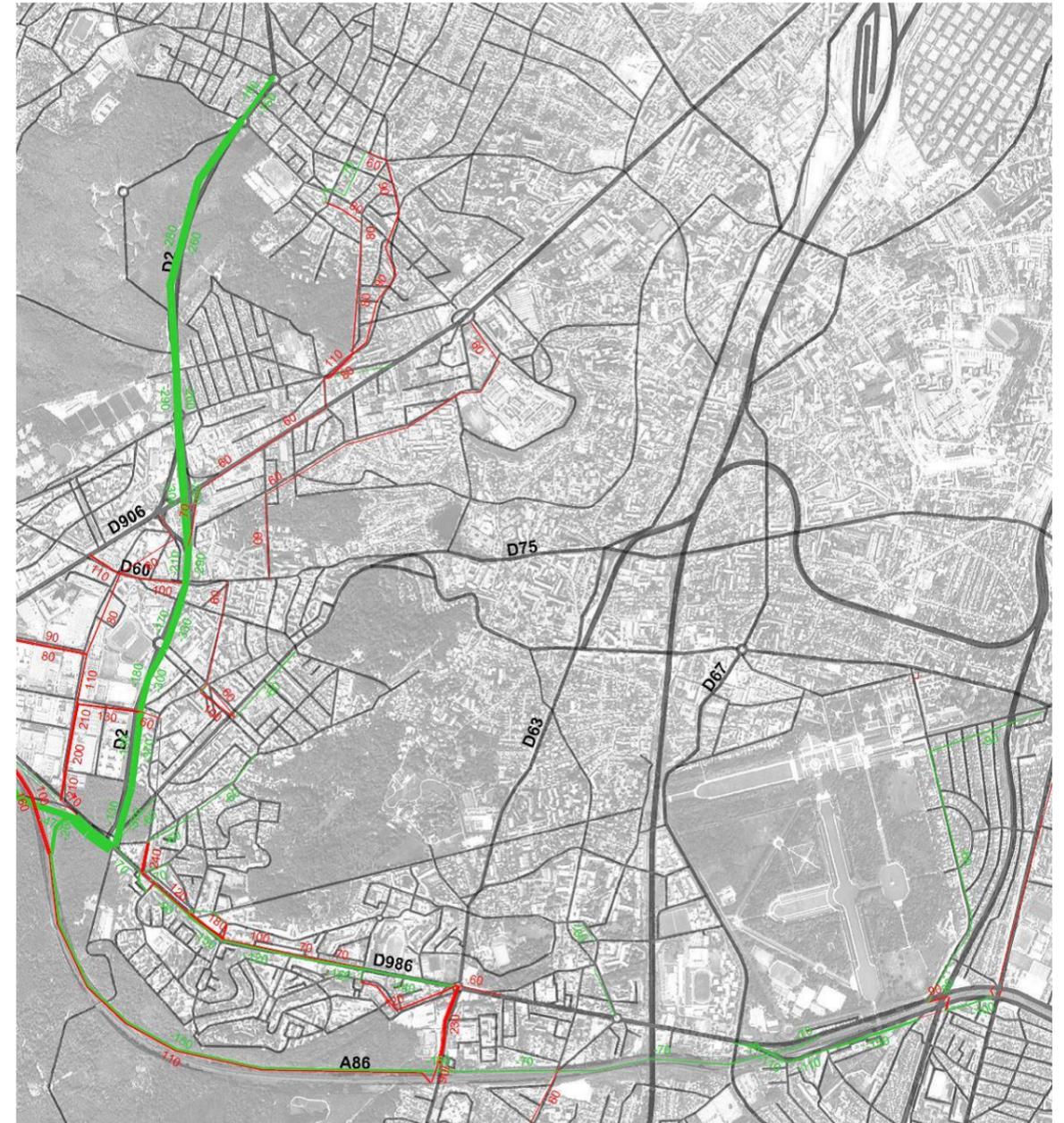


Illustration 13. Reports de trafic sur les différents axes routiers dus au projet de tramway – Heure de pointe du soir – horizon : mise en service du tramway

XIII.7.4 Impacts sur les carrefours routiers

29 carrefours à feux et 3 sans feux supportent des conflits véhicules x tramway x piétons. Les études de fonctionnement réalisées répondent aux objectifs suivants :

- offrir la meilleure performance à la ligne de tramway,
- optimiser l'écoulement du trafic véhicules afin d'éviter les blocages potentiels,
- assurer la sécurité des usagers tous modes : piétons et notamment les PMR, deux-roues, voitures particulières (VP), transports en commun.

Des modélisations du fonctionnement des carrefours en phase projet ont été réalisées aux horizons 2020 et 2030. Les analyses du fonctionnement des carrefours montrent que l'écoulement des véhicules y est maîtrisé dans le cadre des aménagements proposés. Les carrefours étudiés possèdent en effet tous des réserves de capacité positives aux horizons de modélisation, ce qui assure un fonctionnement globalement satisfaisant aux heures de pointe :

- 5 carrefours présentent de très bonnes réserves de capacité,
- 5 carrefours présentent de bonnes réserves de capacité : seule une de leur branche présente une réserve de capacité inférieure à 10% à l'heure de pointe du matin ou à l'heure de pointe du soir,
- tous les autres carrefours présentent un fonctionnement acceptable mais plusieurs branches ont des réserves de capacité comprises entre 0% et 10%. Parmi ces carrefours, 8 sont en limite de saturation et peuvent rencontrer des difficultés ponctuelles sur plusieurs branches :
 - Carrefour 1 (Place du Garde) : avenue Claude Trébignaud / rue du Président Roosevelt / rue Brignole Galliera / rue de Meudon
 - Carrefour 7 : avenue Paul Langevin / avenue Edouard Herriot
 - Carrefour 9 : avenue Paul Langevin / avenue de la Libération
 - Carrefour 12 (11 Novembre) : av. de la Division Leclerc / avenue Léon Blum / avenue Paul Langevin / route du Plessis-Piquet
 - Carrefour 14 (Place des Droits de l'Homme) : avenue de la Division Leclerc / avenue Jean Jaurès / rue Sintès
 - Carrefour 21 (Salvador Allende) : avenue de la Division Leclerc / rue Jean-Baptiste Clément / av. Roger Salengro (D63)
 - Carrefour 28 (Carrefour de l'Europe) : avenue du Général de Gaulle / avenue de la Division Leclerc / avenue Sully Prudhomme / rue de Châtenay

- Carrefour C37-38 (La Croix de Berny et Velpeau) Carrefour La Croix de Berny : avenue du Général de Gaulle / avenue Léon Blum / avenue Lebrun / rue Velpeau

Des études plus fines des plans de circulation au niveau des carrefours du 11 novembre et de La Croix de Berny ont permis de vérifier que leur fonctionnement restait acceptable en phase projet.

XIII.8. PRINCIPES DE MESURES DE PROTECTION CONTRE LES NUISANCES SONORES

Les modélisations acoustiques ont permis de calculer les niveaux sonores prévisionnels avec l'exploitation du tramway T10.

La contribution sonore du tramway T10 seul ne dépasse pas les seuils réglementaires : il n'y a donc pas de protections phoniques à mettre en œuvre par rapport à cette source de bruit.

Un enrobé acoustique sera mis en œuvre en section courante.

La comparaison de la situation « avec projet » en considérant toutes les sources de bruit (route + tramway) avec la situation « sans projet » montre que le projet est une transformation significative (i.e. une augmentation de plus de 2 dB(A)) pour seulement quelques bâtiments (on en dénombre 17 sur l'ensemble du projet).

Pour ces bâtiments et selon leur usage, les seuils réglementaires et l'isolement acoustique des façades ont été déterminés pour les 8 bâtiments qui doivent faire l'objet de protections. Les 9 autres bâtiments impactés par le projet ne sont pas protégés car soit voués à la démolition, soit liés à des usages autres qu'habitations, soit déjà protégés – cas des bâtiments construits postérieurement à l'arrêté de classement sonore des voies portant notamment sur la RD986).

Ainsi, le nombre d'ouvrants (fenêtre et porte) à remplacer a été dénombré. Le coût des protections (fourniture du matériel et pose) a été intégré dans le coût du projet.

Les résultats de l'étude acoustique sont présentés de façon plus détaillée dans le chapitre 3 « *Analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires et permanents, à courts, moyen et long terme et mesures pour éviter, réduire ou compenser* » de la présente étude d'impact sur l'environnement.