

VOLET D

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les incidences du projet



Dossier d'enquête publique unique et simultanée relative à :

-  la déclaration d'utilité publique
-  l'autorisation environnementale unique
-  l'enquête parcellaire

Préambule

Dans les termes du contrat de concession de l'autoroute A85, avenant n°11 de janvier 2004, l'état avait demandé à VINCI Autoroutes réseau COFIROUTE, la création et la mise en service un nouveau diffuseur complet à la hauteur de la barrière pleine voie à l'Est de Restigné.

En 2021, VINCI Autoroutes a ajusté le projet pour répondre aux besoins et attentes du territoire. Ainsi le diffuseur complet prévu initialement à Restigné, s'est mué en un demi-diffuseur orienté vers la métropole tourangelle et positionné sur la commune de Coteaux-sur-Loire.

Dans un premier temps, le projet de demi-diffuseur a été présenté à la concertation publique en 2022, sous le nom de « demi-diffuseur de Restigné ». Suite au retour du public, des collectivités et à la situation géographique du futur aménagement, le demi-diffuseur présenté à l'enquête publique en 2024, devient donc « demi-diffuseur de Coteaux-sur-Loire ».

Sommaire

1. Cadre méthodologique général	3
1.1. <i>Évaluation des enjeux et des sensibilités environnementaux</i>	3
1.1.1. Reconnaissances sur le terrain	3
1.1.2. Recueil de données bibliographiques et de bases de données	3
1.1.3. Consultations spécifiques	3
1.1.4. Consultation d'organismes et d'experts divers	3
1.1.5. Difficultés rencontrées.....	3
1.2. <i>Évaluation des impacts environnementaux</i>	3
1.2.1. Principe de la séquence éviter, réduire et compenser	3
1.2.2. Méthode d'évaluation des impacts	4
1.2.3. Effet du projet sur l'environnement général	4
1.2.4. Effet du projet sur la santé	5
1.2.5. Difficultés rencontrées.....	5
2. Cadres méthodologiques des études spécifiques	5
2.1. <i>Études spécifiques liées à l'eau</i>	5
2.2. <i>Étude faune flore</i>	5
2.2.1. Méthodologie pour l'établissement du diagnostic.....	5
2.2.2. Méthodologie appliquée pour la définition des impacts.....	10
2.3. <i>Étude de trafic et de circulation</i>	11
2.3.1. Analyse de la situation existante	11
2.3.2. Construction et calage du modèle de trafic.....	12
2.3.3. Simulation des scénarios futurs.....	24
2.3.4. Analyse complémentaire du scénario 1A préférentiel	25
2.4. <i>Étude acoustique</i>	28
2.4.1. Introduction	28
2.4.2. Généralités sur le bruit	29
2.4.3. Contexte réglementaire.....	31
2.4.4. Contexte réglementaire applicable	32
2.4.5. Méthodologie de l'étude d'impact	33
2.5. <i>Étude air et santé</i>	36
2.5.1. Contexte, objectifs et aire d'étude	36
2.5.2. Cadre réglementaire	37
2.5.3. Données d'entrée	38
2.5.4. Calcul des émissions	43
2.5.5. Modélisation de la dispersion atmosphérique	45
2.5.6. Évolution de l'exposition de la population à la pollution	45
2.5.7. Évaluation des risques sanitaires.....	45
2.5.8. Évaluation de l'exposition de la population.....	47
2.5.9. Monétarisation des coûts collectifs.....	49
2.6. <i>Étude paysage</i>	52
2.6.1. Méthodologie de l'analyse	52
2.6.2. Notions et concepts clés	52
2.7. <i>Bilan GES</i>	54
2.7.1. Méthodologie d'évaluation	54
2.7.2. Note de Calcul du gisement d'économies GES	58
3. Auteurs de l'étude d'impact du projet.....	61
4. Conclusion	61

1. CADRE METHODOLOGIQUE GENERAL

Le présent projet est le résultat d'une succession d'études techniques et de phases de concertation permettant d'affiner progressivement la consistance et les caractéristiques générales de l'opération.

À chacune des phases et avec une précision croissante, les études d'environnement comportent :

- L'établissement d'un état initial : il est effectué par un recueil de données disponibles auprès des différents détenteurs d'informations, complété par des analyses documentaires et des investigations de terrain ;
- L'identification et l'évaluation des impacts du projet sur l'état initial concerné : l'évaluation est effectuée thème par thème, elle est quantitative chaque fois que possible ou qualitative, compte tenu de l'état des connaissances ;
- La définition des mesures d'insertion à envisager : elles sont définies par référence à des textes réglementaires (notamment lorsqu'ils existent des seuils à ne pas dépasser), en fonction de l'état de l'art ou des résultats de la concertation.

1.1. Évaluation des enjeux et des sensibilités environnementaux

Afin de déterminer les enjeux, les contraintes et les sensibilités du site, l'analyse de l'état initial de la présente étude d'impact a été réalisée à partir :

- De recueil de données bibliographiques et de bases de données ;
- De consultations d'organismes et d'experts divers ;
- De reconnaissances sur le terrain.

La hiérarchisation des enjeux du territoire a été réalisée selon l'échelle de valeur suivante :

- faible à nul ;
- moyen ;
- assez fort (demi-niveau qui sera principalement utilisé pour la thématique écologique) ;
- fort ;
- très fort.

1.1.1. Reconnaissances sur le terrain

Une visite de terrain a été réalisée en décembre 2021 (hors études spécifiques : milieu naturel, acoustique, air et santé, paysage). Les prospections ont porté sur toutes les zones potentiellement intéressantes situées à proximité du projet.

1.1.2. Recueil de données bibliographiques et de bases de données

Différentes bases de données ont été consultées sur Internet dont :

- Géoportail, le portail national de la connaissance du territoire mis en œuvre par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN),
- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) ;
- Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ;
- Atlas des Patrimoines du Ministère de la Culture ;
- Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (Observatoire de l'Air) ;
- Géorisques du Ministère de la Transition écologique ;
- Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) ;
- InfoTerre du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)...

Les données bibliographiques suivantes ont été plus particulièrement examinées :

- Documents d'urbanisme ;
- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) ;
- Notices et cartes du Bureau de Recherches Géologiques et Minières ;

- Cartes de l'Institut Géographique National (IGN) et IGN-Bd Topo...

1.1.3. Consultations spécifiques

Les données suivantes ont été plus particulièrement examinées (non exhaustif) :

- Documents d'urbanisme de Coteaux-sur-Loire (PLU d'Ingrandes-de-Touraine, mis à jour le 1er octobre 2020),
- SCoT du Pays Loire Nature,
- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Loire Bretagne (SDAGE),
- SAGE de l'Authion,
- Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE),
- Notices et cartes du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM),
- Carte de l'Institut Géographique National (IGN) et IGN-Bd Topo.
- Bibliographies et contacts relatifs aux inventaires des habitats, de la flore, de la faune,
- Bibliographies et contacts relatifs aux aspects hydrauliques de l'opération.

1.1.4. Consultation d'organismes et d'experts divers

Les données collectées au préalable sont complétées par la consultation d'organismes et d'experts divers, dont notamment :

- Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ;
- Agence de l'Eau ;
- Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air ;
- Conseil Départemental d'Indre-et-Loire ;
- Ville de Coteaux-sur-Loire

1.1.5. Difficultés rencontrées

L'analyse de l'état initial a été réalisée au sein d'une aire d'étude variable (aire d'étude immédiate, rapprochée et éloignée).

Les principales difficultés rencontrées lors de la collecte de données sont liées à leur disponibilité (absence de réponse, données anciennes, ...). Grâce à la diversité et à la redondance des sources consultées, cette difficulté n'a pas eu d'impact négatif sur la qualité des données recueillies.

Les contacts pris en amont de la réalisation du dossier avec différents interlocuteurs ont permis d'optimiser la collecte des données et de la focaliser sur les enjeux stratégiques du projet.

Il n'y a donc pas eu de difficultés majeures rencontrées lors de l'établissement de l'état initial.

1.2. Évaluation des impacts environnementaux

1.2.1. Principe de la séquence éviter, réduire et compenser

Les questions environnementales font partie des données de conception du projet au même titre que les autres éléments techniques, financiers, etc. Cette conception s'attache à éviter les impacts sur l'environnement, y compris au niveau des choix fondamentaux liés au projet (nature des interventions et implantation).

Cette phase est essentielle et préalable à toutes les autres actions consistant à minimiser les impacts environnementaux du projet, c'est-à-dire à éviter au maximum ces impacts, en réduire les conséquences et en dernier lieu, si besoin, à compenser les impacts résiduels après évitement et réduction. C'est en ce sens et compte-tenu de cet ordre que l'on parle de séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC).

La séquence « éviter, réduire, compenser » des impacts sur l'environnement concerne l'ensemble des thématiques de l'environnement, et notamment les milieux naturels. Elle s'applique de manière proportionnée aux enjeux et au projet.

Dans la conception et la mise en œuvre du projet, des mesures adaptées sont définies pour éviter, réduire et, lorsque c'est nécessaire, compenser leurs impacts négatifs significatifs sur l'environnement. Cette démarche doit conduire à prendre en compte l'environnement le plus en amont possible lors de la conception des projets.

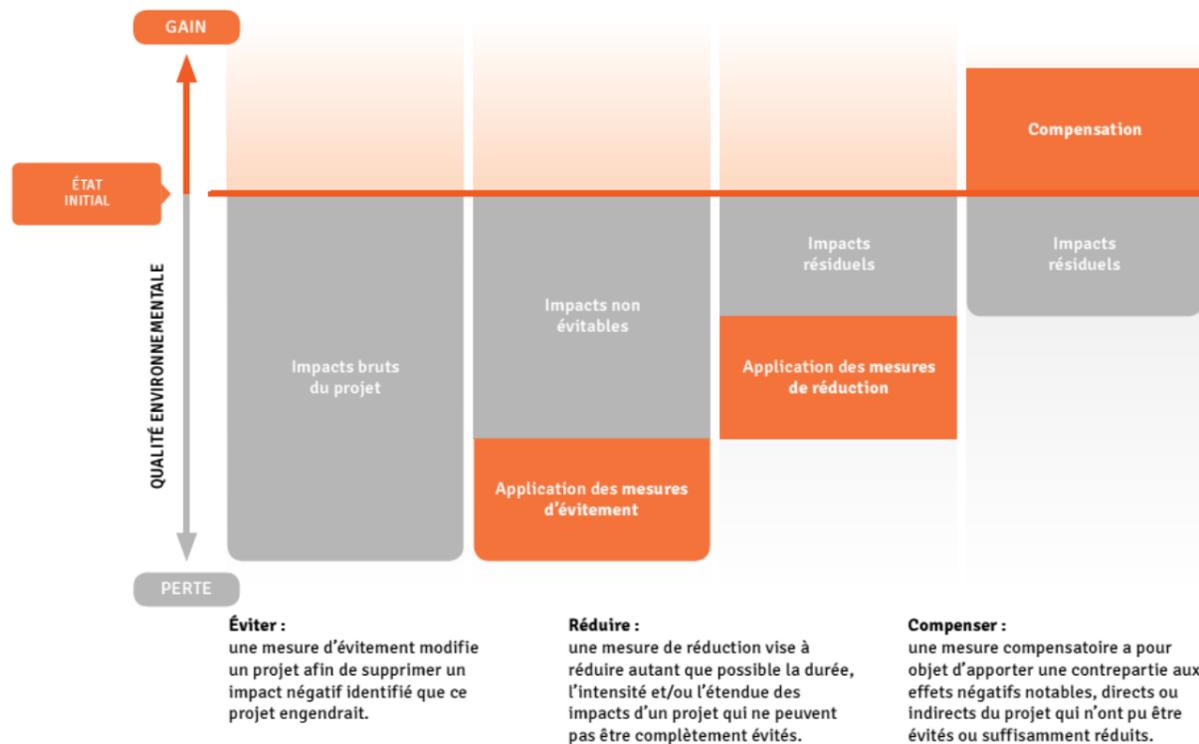
La séquence « éviter, réduire, compenser » a pour finalité de promouvoir un mode de développement intégrant les objectifs de la transition écologique, en favorisant une gestion raisonnée de l'utilisation du foncier naturel et d'atteindre les objectifs en termes de préservation et d'amélioration des écosystèmes et de leurs services.

La doctrine « éviter, réduire, compenser » s'inscrit dans une démarche de développement durable, qui intègre ces trois dimensions (environnementale, sociale et économique), et vise en premier lieu à assurer une meilleure prise en compte de l'environnement dans les projets et les décisions.

La démarche consiste à déterminer en premier lieu précisément la nature, l'intensité, l'étendue et la durée de tous les effets que le projet risque d'engendrer sur l'environnement ou la santé humaine. Cette prévision des effets est la plus précise possible. Le déploiement de la séquence de mesures ERC implique une approche successive et itérative des impacts, pour l'ensemble des thématiques, selon le schéma ci-après :

- Analyse des impacts bruts du projet : il s'agit des impacts potentiels du projet avant mesures d'évitement et de réduction ;
- Définition des mesures d'évitement (me) et de réduction (mr) dans un premier temps ;
- Analyse des impacts résiduels, s'ils persistent : les impacts qui n'auront pu être ni évités, ni suffisamment réduits, seront quantifiés dans la mesure du possible ;
- Définition des mesures de compensation (MC), lorsqu'elles sont requises.

Figure 1 : Séquence Éviter, Réduire et Compenser



Source : Guide d'aide au suivi des mesures ERC des impacts d'un projet (Cahier biodiversité, avril 2019)

1.2.2. Méthode d'évaluation des impacts

Le niveau d'impact dépend à la fois du niveau d'enjeu de l'état initial et de l'intensité de l'effet attendu.

Quatre niveaux d'impacts sont définis : Nul, Faible, Modéré et Fort.

Les niveaux d'impact sont directement proportionnels à l'intensité de l'effet et au niveau de l'enjeu de l'état initial selon le principe suivant. L'intensité prend notamment en compte la nature, l'étendue et la durée de l'effet.

		Enjeux			
		Fort	Modéré	Faible	Nul
Intensité	Fort	Fort	Fort	Modéré	Faible
	Modéré	Fort	Modéré	Faible	Faible
	Faible	Modéré	Faible	Faible	Nul
	Nul	Faible	Faible	Nul	Nul

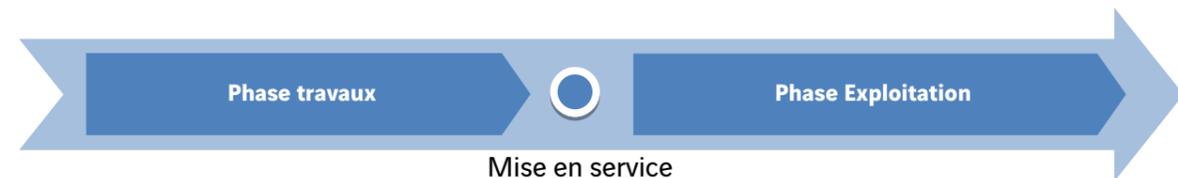
On entend par « impact » les définitions suivantes :

- Impact direct : effet directement attribuable aux travaux et aux aménagements projetés ;
- Impact indirect : effet généralement différé dans le temps, l'espace, ou qui résulte d'interventions ou d'aménagements destinés à prolonger ou corriger les conséquences directement imputables à la réalisation des travaux ;
- Impact temporaire : effet limité dans le temps, soit parce qu'il disparaît immédiatement après cessation de la cause, soit parce que son intensité s'atténue progressivement jusqu'à disparaître ;
- Impact permanent : effet associé à la notion d'irréversibilité et/ou de durabilité à l'échelle du projet ;
- Impact brut : effet potentiel du projet avant mesures d'évitement (ME) et de réduction (MR).

Enfin, les incidences du projet peuvent être positives ou négatives, à court, moyen ou long terme :

- Court terme : effet limité dans le temps et s'estompant après cessation de la cause ou durant les travaux ;
- Moyen terme : effet limité dans le temps et s'estompant en quelques années ;
- Long terme : effet prolongé dans le temps pendant la durée d'exploitation.

Les impacts du projet couvrent aussi bien la phase travaux que la phase d'exploitation (c'est-à-dire après la mise en service).



1.2.3. Effet du projet sur l'environnement général

L'évaluation des impacts du projet sur l'environnement porte sur tous les thèmes abordés dans le cadre de l'état initial.

La démarche consiste à évaluer les impacts du projet sur la base de l'état initial établi préalablement, sur tous les thèmes développés, que ce soit vis-à-vis de la phase de travaux que de la phase d'exploitation.

L'identification de ces impacts permet de définir ensuite les mesures permettant de supprimer, atténuer ou compenser les effets négatifs du projet.

1.2.4. Effet du projet sur la santé

Ce volet a été abordé en application du « Guide méthodologique sur le volet Air et Santé des études d'impact routières » publié en février 2019. Cette note méthodologique concerne les études d'impact des projets routiers neufs et les projets d'aménagement d'infrastructures routières existantes, et apporte aussi des éléments concernant la réalisation des études d'opportunité élaborées plus en amont.

La démarche d'évaluation des risques consiste à déterminer si les modifications apportées par le projet sur l'environnement sont susceptibles d'induire des incidences sur la santé humaine.

Elles reposent sur trois phases distinctes :

- L'identification des dangers, qui consiste à identifier les effets qu'un agent est capable de provoquer sur la santé humaine,
- L'évaluation de la relation dose-réponse, qui a pour but de définir une relation quantitative entre la dose ou la concentration administrée ou absorbée et l'incidence d'un effet délétère,
- L'évaluation de l'exposition, qui est la détermination ou l'estimation des populations exposées.

Ces trois étapes permettent la caractérisation du risque. Les mesures mises en œuvre pour limiter les effets du projet sur l'environnement sont examinées au regard de la santé humaine et complétées si nécessaire pour éviter, réduire ou compenser les effets négatifs du projet sur la santé.

1.2.5. Difficultés rencontrées

Dans son ensemble, l'évaluation des impacts selon les différents thèmes environnementaux est essentiellement fondée sur l'appréciation des sensibilités en fonction de la connaissance de situations existantes comparables, et par analogie avec des impacts observés dans des cas comparables (retours d'expérience).

Il n'y a pas eu de difficulté particulière concernant l'appréciation des impacts.

2. CADRES METHODOLOGIQUES DES ETUDES SPECIFIQUES

Compte tenu des enjeux et des impacts potentiels du projet, certaines incidences ont fait l'objet d'études spécifiques détaillées ci-après.

2.1. Études spécifiques liées à l'eau

Les parties dédiées à l'eau sont détaillées au sein du DLE.

2.2. Étude faune flore

2.2.1. Méthodologie pour l'établissement du diagnostic

2.2.1.1. Dates de prospection

Les prospections relatives à la flore et aux habitats ont débuté à l'été 2020 pour se terminer durant l'été 2021. L'étude s'est donc déroulée sur une année complète. A noter que les conditions climatiques des étés 2020 et 2021 ont été très différentes : temps très chaud et sec voire caniculaire en 2020, et humide en 2021.

Six missions complémentaires ont été réalisées entre avril et octobre 2022 afin d'apporter un complément d'informations sur l'avifaune, les chiroptères, les orthoptères ainsi que la flore et les zones humides.

Dates de Passage	Groupe(s) ciblé(s)	Autre(s) Groupe(s)
22 juillet 2020	Flore	
7 août 2020	Reptiles (pose de plaques)	Oiseaux - Insectes - Mammifères
18 février 2021	Oiseaux - Gîtes chiroptères	Mammifères
19 mars 2021	Amphibiens - Oiseaux	Insectes - Mammifères
19-20 avril 2021	Amphibiens - Oiseaux	Reptiles - Mammifères
11 mai 2021	Oiseaux - Insectes	Reptiles - Mammifères
31 mai 2021	Oiseaux - Insectes	Reptiles - Mammifères
1er juin 2021	Flore	
16 juin 2021	Insectes - Oiseaux	Reptiles - Mammifères
15 juillet 2021	Insectes - Oiseaux	Reptiles - Mammifères
11 août 2021	Chiroptères	Insectes - Oiseaux - Mammifères
14 avril 2022	Flore	
24 mai 2022	Flore et habitats	
21 juin 2022	Chiroptères	Insectes - Oiseaux - Mammifères
22 juin 2022	Oiseaux - Insectes	Reptiles - Mammifères
4 juillet 2022	Insectes	Oiseaux - Reptiles - Mammifères

Dates de Passage	Groupe(s) ciblé(s)	Autre(s) Groupe(s)
5 octobre 2022	Zones humides - Flore	

2.2.1.2. Méthodologie d'étude et de hiérarchisation des enjeux flore et habitats

2.2.1.2.1. Méthode d'étude

L'étude de la flore et des milieux naturels est effectuée au travers de parcours échantillons sur l'ensemble du site d'étude biologique. Des relevés phytoécologiques sont réalisés dans chaque habitat qui est qualifié phytosociologiquement (jusqu'à l'alliance). Un code Corine Biotopes, EUNIS et un code Natura 2000 lui est de plus attribué.

Les habitats patrimoniaux (habitats déterminants de ZNIEFF et habitats Natura 2000) ainsi que les zones humides sont mis en évidence de même que les habitats sensibles et importants au regard de leur fonctionnalité écologique.

La recherche porte également sur les espèces patrimoniales, rares ou protégées de la flore se développant dans les milieux de l'aire d'étude (prairies, zones humides ...). Le cas échéant, IEA évalue l'état des populations des espèces protégées : nombre d'individus et vitalité ; les stations sont cartographiées et localisées au GPS.

Les espèces exotiques envahissantes se développant sur les emprises de l'aire d'étude sont recherchées.

Les recherches de zones humides sur la base de la végétation sont également effectuées.

2.2.1.2.2. Hiérarchisation des enjeux flore

La définition des enjeux portant sur les espèces végétales indigènes de l'aire d'étude repose sur deux critères fondamentaux que sont :

- 1) Le statut de protection de l'espèce, défini par :
 - La protection régionale,
 - La protection nationale (annexes I et II),
- 2) La patrimonialité de l'espèce, définie selon :
 - Le degré de rareté en région,
 - La liste des espèces déterminantes de znieff,
 - La liste rouge régionale.

Ces deux critères sont ensuite pondérés par l'état de conservation de l'espèce localement et dans l'aire d'étude. Celui-ci est défini notamment selon :

- L'effectif de la population de l'espèce présente sur le site,
- La capacité de l'espèce à se maintenir dans l'aire d'étude si les conditions actuelles sont maintenues,
- La répartition de l'espèce dans la zone considérée (communes limitrophes, département),

Ces critères permettent de hiérarchiser les enjeux floristiques selon la méthode présentée dans le tableau suivant.

Enjeu	Référentiel	Condition	État de conservation
Non significatif	Rareté	CCC à AR	
	Liste rouge	LC	
Faible	Liste rouge	NT	
	Déterminante de ZNIEFF		
	Rareté	R	
Modéré	Liste rouge	VU	
	Protection régionale	sans statut autre sur la liste rouge	
	Rareté	RR à RRR	
Fort	Liste rouge	EN	
	Protection nationale	sans statut autre sur la liste rouge	
Majeur	Liste rouge	CR	
	Protection nationale	plus liste rouge : VU, EN, CR	
	Protection régionale	plus liste rouge : VU, EN, CR	

Rareté : CCC : extrêmement commun ; AR : assez rare ; R : rare, RR : très rare ; RRR : extrêmement rare

Liste rouge : LC : préoccupation mineure ; NT : quasi menacée ; NU : Vulnérable ; EN : en danger ; CR : en danger critique

2.2.1.2.3. Hiérarchisation des enjeux habitats

La définition des enjeux relatifs aux habitats naturels repose sur leur patrimonialité, définie aux niveaux régional et européen, elle prend en compte les référentiels suivants :

- La liste des habitats déterminants de ZNIEFF,
- La liste rouge régionale des habitats naturels,
- La liste des habitats d'intérêt communautaire (inscrits à la directive "Habitats").

La patrimonialité est ensuite pondérée selon l'état de conservation de l'habitat considéré suivant les critères suivants :

- La surface occupée par l'habitat considéré dans le site d'étude,
- Le stade dynamique de la formation végétale considérée et sa capacité à se maintenir si les conditions actuelles sont maintenues,
- La fréquence de l'habitat dans la région (si l'information est disponible),
- La typicité de l'habitat,
- La richesse floristique de l'habitat.

Ces critères permettent l'application de la méthode définie dans le tableau ci-dessous.

Enjeu	Référentiel	Condition	État de conservation
Non significatif	Aucun		
Faible	Habitat déterminant de ZNIEFF	Sans espèce déterminante de ZNIEFF	Pondération ↑ ↓
	Habitat Natura 2000	Très dégradé	
	Liste rouge régionale	NT	
Modéré	Habitat déterminant de ZNIEFF	Et moins de 5 espèces (flore et/ou faune) déterminantes de ZNIEFF	
	Habitat Natura 2000	Bon état de conservation	
Fort	Habitat déterminant de ZNIEFF	Et plus de 5 espèces déterminantes (flore et/ou faune) de ZNIEFF	
	Liste rouge régionale	VU	
	Habitat Natura 2000	Bon état de conservation et sur la liste rouge régionale (VU)	
Majeur	Liste rouge régionale	EN, CR	

Liste rouge : NT : quasi menacée ; NU : Vulnérable ; EN : en danger ; CR : en danger critique

2.2.1.3. Méthodologie d'étude des zones humides

2.2.1.3.1. Cadre réglementaire

La méthode mise en œuvre pour la définition des zones humides s'appuie sur les textes réglementaires suivants (au titre des articles L.214-1 et suivants du Code de l'Environnement) :

- L'arrêté du 24 juin 2008 (et annexes) précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement,
- La circulaire du 18 janvier 2010 relative à la délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement.

Selon les textes en vigueur, la délimitation des zones humides se réalise sur la base :

- Des habitats et des espèces végétales présentes (critère botanique),
- des caractéristiques hydromorphologiques des sols (critère pédologique).

La loi du 24 juillet 2019 portant création de l'OFB a mis fin à la jurisprudence du Conseil d'État de 2017 (exigeant la présence cumulée des deux critères), ainsi la définition des zones humides a été modifiée par cette loi de manière à faire apparaître clairement que les critères sont alternatifs : un « ou » a été inséré entre les deux critères (article L. 211-1, I, 1 du code de l'environnement). Les deux critères sont alternatifs : lorsque le critère « sols hydromorphes » ne peut être utilisé, le critère « plantes hygrophiles » peut être utilisé et vice-versa.

2.2.1.3.2. Méthode de délimitation des zones humides

La délimitation des zones humides est réalisée sur la base de deux critères : le critère botanique ou le critère pédologique.

❖ Le critère botanique

Ce critère peut être validé soit à partir des espèces végétales, soit à partir des habitats naturels. Il est donc nécessaire d'identifier au préalable :

- Les habitats naturels (selon la typologie CORINE Biotopes ou la classification phytosociologique) ;
- Les espèces végétales dominantes de chaque groupement de végétation homogène.

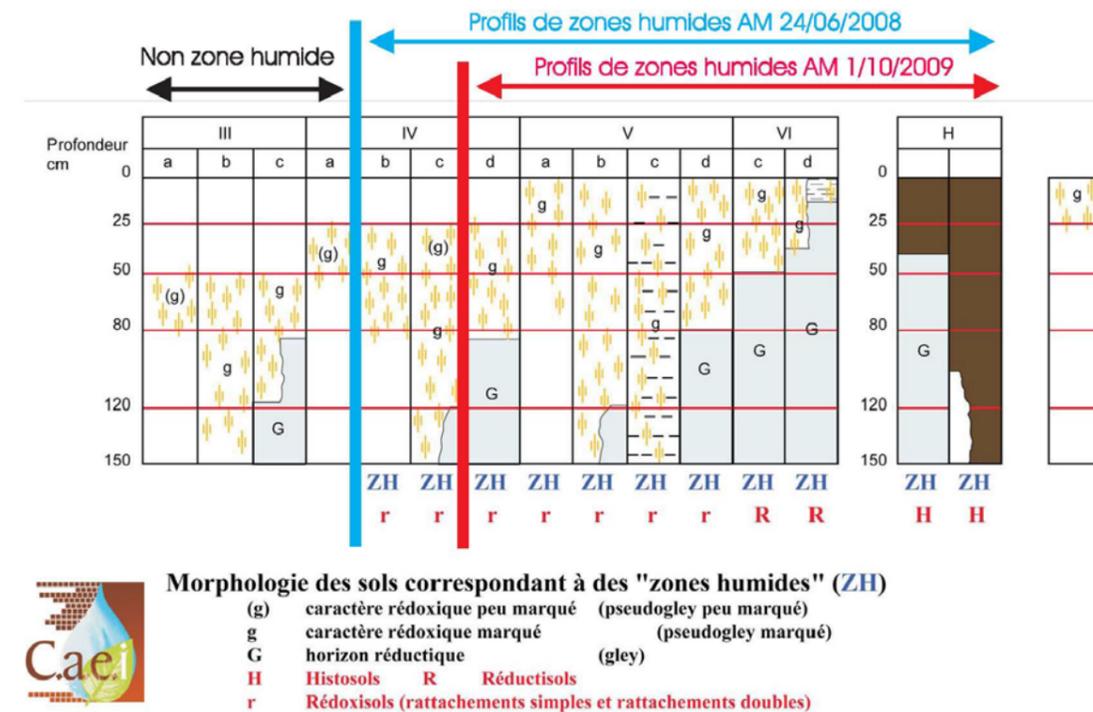
Pour les habitats naturels, il suffit de comparer l'habitat identifié avec la liste indicatrice des milieux humides fournie à l'annexe II (table B) de l'arrêté du 24 juin 2004 modifié. S'il est présent dans cette liste, il peut être considéré comme strictement caractéristique de zones humides, ou comme en partie caractéristique de zones humides. Dans ce dernier cas, cela signifie qu'il n'est pas toujours entièrement caractéristique de zones humides, ou que les sous-habitats ne sont pas tous typiques de zones humides. Une analyse du cortège végétal est donc requise.

Pour les cortèges végétaux, il faut vérifier la présence d'espèces dominantes (sur plus de 50% de la surface étudiée) indicatrices de zones humides en référence à la liste d'espèces fournie à l'annexe II (table A) de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié.

❖ Le critère pédologique

Il s'agit d'observer la présence d'un sol typique des milieux humides (ex : tourbe) ou d'éventuelles tâches de rouille synonymes d'oxydation du fer et donc de la présence d'eau au moins une partie de l'année. Pour ce faire, des sondages pédologiques sont opérés à l'aide d'une tarière. Ces observations peuvent être réalisées jusqu'à une profondeur de 0,80 m, éventuellement 1,20 m si la texture du sol permet cet approfondissement. La caractérisation de l'hydromorphie des sols et donc de la caractérisation d'une zone humide (apparition d'horizons histiques et de traits rédoxiques ou réductiques) s'appuie sur le classement d'hydromorphie du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981).

Le tableau ci-après permet de différencier les différents sols.



d'après Classes d'hydromorphie du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981)

Figure 2 : Diagramme GEPPA relatif aux zones humides

La délimitation des éventuelles zones humides sur le terrain se fait ensuite à partir d'éléments naturels qui sont généralement :

- la végétation hydrophile quand la limite entre les formations végétales est franche,
- les ruptures de pente,
- les aménagements humains (routes, talus, haies ou autres éléments paysagers).

Des sondages pédologiques ont été réalisés en septembre et octobre 2022 en complément des relevés floristiques pour délimiter les zones humides selon le critère pédologique.

2.2.1.4. Méthode d'étude de la faune par groupe

2.2.1.4.1. Les Amphibiens

Pour ce groupe, les investigations sont principalement menées au cours des mois d'avril et de mai, périodes encore favorables à l'observation des amphibiens, alors en pleine activité de reproduction. Dans un premier temps des prospections sont réalisées en journée afin d'identifier et de localiser les sites de reproduction et d'y observer et comptabiliser les pontes éventuelles.

Des prospections crépusculaires (écoutes de chants) sont réalisées pour les grenouilles et crapauds sur les points d'eau préalablement localisés. Ces sorties permettent également d'inventorier à vue les tritons dans l'eau à l'aide d'une lampe torche puissante.

Par ailleurs, une méthode d'investigation non perturbante pour le milieu a été utilisée dans une mare à Langeais Nord en complément des autres méthodologies d'inventaire. Il s'agit de l'emploi d'un amphicapt, un seau percé d'entonnoirs et comprenant en son sein une source lumineuse qui permet d'attirer les amphibiens pour les déterminer et ensuite les relâcher.



Figure 3 : Amphicapt et signalisation d'étude sur l'herpétofaune

Enfin, les investigations de terrain relatives aux autres groupes permettent de contacter des individus isolés (Grenouille agile par exemple) dans les milieux humides herbacés. Ces prospections peuvent permettre de localiser des individus en phase terrestre (déplacements saisonniers et lieux de vie terrestres).

Ces techniques permettent de dresser la liste des espèces et d'obtenir une estimation des densités de populations.

2.2.1.4.2. Les Reptiles

La recherche des reptiles se fait par temps sec de préférence, en prospectant les milieux les plus favorables (lisières, pieds de haie, talus, pierriers, fossés), de préférence en début de matinée, durant la période de thermorégulation précédant la reprise d'une pleine activité. On parle en fait d'héliothermie, consistant en une exposition directe au soleil permettant aux animaux d'atteindre une température corporelle optimale. La majorité des serpents et lézards de France initient leur journée par une période de régulation de durée variable.

D'autres espèces (Orvet fragile et certaines Couleuvres) privilégient une exposition indirecte au contact de bons conducteurs thermiques, tout en restant cachées de la vue d'éventuels prédateurs. Elles sont recherchées en soulevant les abris naturels (dalles pierreuses, bois morts) ou artificiels (bâches, planches, pneus, tôles). Ainsi, il a été disposé des plaques de tôles en différents points des 2 zones d'études, sur l'ensemble des habitats favorables afin d'offrir des points de thermorégulation pouvant être aisément contrôlés. A total, 8 plaques ont été disposées (4 par zone d'étude). Leur localisation est présentée dans la carte des observations faunistiques.



Figure 4 : Plaque de métallique déposée, signalée et localisée

Outre l'observation directe et la pose de plaques, les mues laissées par les animaux sont recherchées.

Les résultats de ces prospections permettent d'apprécier la richesse herpétologique du site et d'estimer la taille des populations potentiellement présentes afin d'évaluer son intérêt naturaliste.

Généralement les prospections sont réalisées au printemps et en début d'été.

2.2.1.4.3. Les Oiseaux

L'inventaire des oiseaux est ciblé sur les espèces d'oiseaux nicheurs de l'aire d'étude biologique ainsi que des rapaces nocturnes pouvant s'installer dans ou fréquenter ces emprises. Ces deux groupes, dont la majorité des espèces sont protégées sont particulièrement sensibles aux infrastructures, notamment les rapaces (risque de collisions).

Pour le recensement de ces oiseaux, on emploie une méthode par parcours-échantillons (recherche à vue et écoutes) et points d'arrêt (de type IPA) qui permet d'adapter l'effort de prospection à la diversité des habitats. Les IPA sont adaptées de la méthodologie développée par Blondel, Ferry et Frochot en 1970. Elle consiste en la réalisation de points d'écoute en poste fixe, d'une durée unitaire de quinze minutes pendant lesquelles l'observateur note toutes les espèces entendues ou vues dans un rayon de 150 m.

Les résultats de ces observations fournissent une liste des espèces présentes et un indice de leur fréquence permettant par comparaison de caractériser l'intérêt des milieux.

2.2.1.4.4. Les mammifères (hors chiroptères)

L'étude des mammifères est effectuée par une recherche systématique d'indices de présence : fèces, reliefs de repas, empreintes, terriers, frottis, coulées et tout autre type de marquage physique ou olfactif. Dans un même temps, quelques observations directes des espèces les moins discrètes pourront être notées.

2.2.1.4.5. Les Chiroptères

Deux méthodes sont utilisées pour déterminer l'empreinte chiroptérologique des zones d'étude. Dans un premier temps ont eu lieu des investigations en journée pour la recherche et le repérage des habitats potentiels (bâtiments, ruines, cavités, arbres creux), d'indices de présence et d'activité (tas de guano, reliefs de repas) et des territoires de chasse potentiels. L'étude de terrain en journée a pour objectif une recherche et une identification des gîtes pouvant abriter des individus ou des colonies de chauves-souris. La reconnaissance de terrain permet également de définir finement la stratégie d'échantillonnage à mettre en œuvre durant les prospections nocturnes.

Dans un second temps, deux prospections nocturnes sont réalisées dans des conditions favorables à l'activité des Chiroptères. Plusieurs points d'écoute de 30 minutes accompagnés éventuellement d'un ou plusieurs points d'écoute de 3 heures sont réalisés au cours de la soirée.

Les écoutes et enregistrements sont effectués à l'aide des détecteurs d'ultrasons Pettersson Elektronik D240, D1000 et D500X ou Tranquility Transect fonctionnant en mode expansion de temps³, couplés à un enregistreur numérique (Edirol R-09 ou Edirol R-05). Les espèces sont alors soit spécifiées directement, soit identifiées après analyse via le logiciel Batsound©. Tous les contacts enregistrés font l'objet d'une analyse individuelle directe au bureau par un chiroptérologue via ce dernier logiciel pour spécifier les espèces

2.2.1.4.6. Les Insectes

❖ Les Coléoptères saproxyliques

Les recherches concernent les espèces d'intérêt européen (Lucane cerf-volant, Grand Capricorne, Rosalie des alpes, Pique-Prune) et sont prioritairement menées dans les secteurs comportant des alignements et de vieux arbres, en début d'été (conditions chaudes déterminant l'envol des imagos).

Le contexte forestier des abords de l'aire d'étude de Langeais Nord est assez favorable au développement de ces espèces. Elles sont recherchées dans les lisières forestières où les vieux arbres sont généralement le plus fréquents, ainsi que dans l'ensemble des boisements de l'emprise. L'analyse des potentialités d'accueil des milieux pour ces insectes (boisement contenant du gros bois et du bois mort) est menée en préalable à la recherche active.

Parallèlement à l'étude des potentialités du milieu et à la recherche des imagos (observations directes, dans des conditions chaudes, au mois de juin-juillet), des observations indirectes sont également réalisées : recherche de restes de coléoptères consommés par des prédateurs (têtes, élytres notamment) et recherche de trous d'émergence ou d'envol de l'insecte adulte sur les troncs des arbres sénescents.

❖ Les Odonates

Les Odonates, liés au milieu aquatique, peuvent être dépendants du site pour leur reproduction, la présence des zones en eau étant ici un facteur favorable.

Les espèces recherchées sont celles qui utilisent le site comme biotope terrestre et aquatique. Les prospections sont ciblées sur les périodes d'émergence des adultes, soit de préférence de mai à juillet à vue pour les espèces les plus facilement identifiables ou après capture au filet à papillons, pour les autres espèces. Des recherches d'exuvies (restes de l'enveloppe des chrysalides

subsistant dans la végétation à l'éclosion des odonates) seront également menées. Les exuvies seront collectées et déterminées en laboratoire.

❖ Rhopalocères (Papillons de jour) et Zygènes

Les papillons diurnes sont à rechercher préférentiellement dans les prairies et friches et en lisière des boisements.

La technique d'étude consiste à réaliser des parcours dans les milieux favorables et déterminer les espèces à vue ou à l'aide de jumelles. Pour certains genres plus difficilement déterminables, des captures au filet à papillons seront pratiquées. Les espèces capturées sont identifiées sur place et immédiatement relâchées. Par ailleurs, les chenilles observées au cours des prospections sont déterminées afin de compléter l'inventaire.

❖ Macro-Hétérocères (Papillons de nuit)

Le protocole est ciblé sur les espèces protégées au niveau national et européen, à savoir 3 taxons :

- La Laineuse du prunellier (*Eriogaster catax*) : protection nationale et citée en annexe II et IV de la Directive Habitats. La méthode la plus efficace pour recenser cette espèce est la recherche à vue des nids communautaires de chenilles lors de leur développement sur les fourrées de Prunellier (*Prunus spinosa*), en avril, avant le plein développement des feuilles de l'arbuste.
- L'Écaille chinée (*Euplagia quadripunctaria*) : annexe II de la Directive Habitats (espèce prioritaire). L'Écaille chinée est présente en bonne population en régions Centre, Pays de la Loire et Basse-Normandie. Cette espèce est diurne. Elle est observable lors de l'été sur les plantes qu'elle butine, notamment l'Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*). Une recherche des stations de cette plante précédera la recherche à vue des individus lors de prospections estivales.
- Le Sphinx de l'épilobe (*Proserpinus proserpina*) : protection nationale et citée en annexe IV de la Directive Habitats. Pour cette espèce, nous mettons en œuvre les méthodes de recensement des plantes-hôtes (Épilobes) sur l'aire d'étude. Si ce recensement préalable met au jour des stations importantes de ces plantes, la pertinence de mettre en place une recherche active des chenilles de l'espèce sera étudiée.

❖ Orthoptères

L'inventaire des orthoptères est réalisé sur la base de l'écoute des stridulations (à l'oreille, voire au détecteur d'ultrasons) couplée à une prospection à vue ou une capture. Pour ce faire, un filet entomologique est utilisé. Après identification, les individus capturés sont aussitôt relâchés à l'endroit même où ils auront été attrapés.

Les prospections couvrent l'ensemble des habitats identifiés sur l'emprise ; une attention particulière est portée aux secteurs les plus frais (mésophiles) ou humides (hygrophiles) mais aussi aux zones bien exposées (thermophiles) qui d'ordinaire abritent des espèces patrimoniales.

2.2.1.5. Méthodologie de hiérarchisation des enjeux faune

La définition des enjeux portant sur les espèces animales de l'aire d'étude repose sur deux critères fondamentaux que sont :

- Le statut de protection de l'espèce défini par :
 - la protection européenne (annexes II et IV de Directive Habitats et annexe I de la Directive Oiseaux),
 - la protection nationale (arrêtés dressant la liste des espèces protégées en France métropolitaine par groupes taxonomiques)

- La patrimonialité de l'espèce, définie selon :
 - o La Liste Rouge Européenne, Nationale et Régionale (évaluation en 6 paliers d'ordre croissant : "préoccupation mineur", "quasi-menacé", "vulnérable", "en danger", "en danger critique", "éteinte"),
 - o La liste des espèces déterminantes de ZNIEFF pour la région Île-de-France.

La détermination des enjeux repose sur la hiérarchisation de ces critères comme suit :

- Inscrite en annexe de la Directive Oiseaux ou de la Directive Habitats
- Espèce protégée à l'échelle nationale, à l'exception de certains groupes comme les oiseaux et les reptiles qui comptent de nombreuses espèces protégées très communes, et dont la protection n'implique pas obligatoirement des enjeux.
- Inscrite et menacée (à minima "quasi-menacée") sur la liste rouge régionale du groupe concerné,
- Inscrite et menacée sur la liste rouge Nationale du groupe concerné,
- Inscrite sur la liste des espèces déterminantes de ZNIEFF.

Ces critères sont également pondérés par les effectifs, l'activité, la sensibilité et l'adaptation de l'espèce localement et dans l'aire d'étude. Ceux-ci sont définis notamment selon :

- le type d'activité que l'espèce réalise dans l'aire d'étude (reproduction et/ou alimentation, migration active, halte migratoire ou hivernale ou simple passage),
- la distance de la zone de reproduction, de halte migratoire, d'hivernage par rapport au projet,
- le niveau de sensibilité intrinsèque de l'espèce au regard des activités humaines, du dérangement ou de l'altération de son habitat,
- le niveau d'adaptation de l'espèce (capacité de l'espèce à se maintenir ou de profiter) des futurs aménagements.

À l'inverse des habitats naturels et de la flore, une grille cadre de hiérarchisation n'est pas mise en place. Le comportement de l'espèce et de fait son niveau d'enjeu peut varier en fonction des observations directes des experts sur site. Ainsi, si les critères de définition sont présentés, le niveau d'enjeu et son éventuelle pondération à la hausse ou à la baisse fait appel au dire d'expert.

Les enjeux sont évalués pour chaque espèce patrimoniale sur une échelle comportant cinq paliers, avec dans l'ordre croissant : "non significatif", "faible", "modéré", "fort" et "majeur".

2.2.2. Méthodologie appliquée pour la définition des impacts

L'évaluation qualitative de l'impact du projet a été réalisée selon la méthode décrite ci-après.

2.2.2.1. Détermination de la nature des impacts

Dans un premier temps, la nature de l'impact du projet sur les habitats naturels et les espèces a été déterminée. Cette détermination s'est fondée sur une étude bibliographique qui a permis de dégager les principaux impacts de l'aménagement :

- destruction d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces (effet d'emprise direct sur les habitats) et ou destruction directe d'individus ;
- rupture des corridors de déplacements ;
- dérangement/perturbations ;
- risque de collision ;
- pollution du milieu de vie.

Pour ces différents types d'impacts, l'intensité des effets du projet sur les habitats naturels et les espèces floristiques et faunistiques a été évaluée suivant 3 critères :

- **Surface impactée** : Cette notion définit la dimension spatiale directement impactée par le projet (destruction ou altération d'habitat ou d'espèce). Afin de relativiser les surfaces touchées dans leur environnement proche, trois niveaux

d'intensité d'impact ont été établis fonction de la proportion de la surface d'habitats naturels ou habitats d'espèces touchés par rapport aux surfaces disponibles à proximité de l'emprise du projet et en continuité.

- **Durée de l'impact** : Cette notion fait référence à la dimension temporelle de l'impact et permet d'évaluer la période pendant laquelle les effets du projet seront ressentis sur l'habitat ou l'espèce considérée. Cette notion intègre également le temps de récupération de l'habitat ou de l'espèce affectée.

Permanent : l'impact se fait ressentir de façon permanente pendant toute la durée de vie du projet et/ou est irréversible ;

Temporaire : l'impact se fait ressentir de façon continue ou discontinue pendant la phase de chantier et cesse dès la fin de ce dernier.

- **Portée de l'impact** : Cette notion exprime la portée des effets engendrés par le projet et fait référence à l'aire géographique sur laquelle sera ressenti l'impact. Deux niveaux d'étendues ont été distingués :
 - o Portée régionale : l'étendue est régionale si le projet est ressenti sur un vaste territoire ou à une distance importante du projet ;
 - o Portée locale : l'étendue est locale si le projet affecte une espèce localisée à l'intérieur ou à proximité directe des emprises.

Le croisement de ces 3 critères permet la définition de trois classes d'intensité des effets du projet :

- **Intensité forte** : La perturbation altère ou détruit de façon significative et permanente plus de la moitié de l'habitat et/ou remet en cause l'état de conservation local ou régional de l'habitat, de l'espèce remarquable qui en est dépendante ou de la population ;
- **Intensité modérée** : la perturbation altère de façon significative et permanente ou temporaire une fraction importante, mais non majoritaire, de l'habitat naturel ou de l'habitat d'espèce, sans remettre en cause l'état de conservation local de l'habitat, de l'espèce remarquable qui en est dépendante ou de la population ;
- **Intensité faible** : la perturbation est temporaire, locale et altère de façon significative une faible fraction de l'habitat naturel ou de l'habitat d'espèce.

2.2.2.2. Définition du niveau d'impact

L'obtention du niveau d'impact brut ou résiduel (après prise en compte des mesures) résulte du croisement entre l'enjeu de conservation régional ou national de l'habitat naturel ou de l'espèce (appelée niveau d'enjeu écologique) et l'intensité des impacts :

		Niveau d'enjeu écologique			
		Fort	Modéré	Faible	Nul
Intensité de l'impact	Fort	Fort	Modéré	Faible	Nul
	Modéré	Fort	Modéré	Faible	Nul
	Faible	Modéré	Faible	Faible	Nul

Le tableau présenté ci avant constitue une base pour l'évaluation du niveau d'impact et ne saurait en aucun cas être appliqué de manière systématique. En effet, le niveau d'impact peut faire l'objet d'une modulation à la hausse ou à la baisse suivant une expertise reposant sur :

- les particularités écologiques des habitats ou éthologiques des espèces (capacité au déplacement et valence écologique par exemple) les rendant plus ou moins sensibles à chaque type d'impact ;
- la zone impactée dans l'aire de répartition naturelle des habitats naturels ou des espèces (plus ou moins affectée, en bord ou au centre de l'aire, etc.) influant sur l'état de conservation de l'habitat naturel ou des populations.

2.2.2.3. Définition de l'impact global du projet

L'impact global du projet est évalué en prenant en considération l'impact le plus discriminant pour l'habitat naturel ou l'espèce. Ainsi, si pour un taxon donné, le projet engendre un impact faible en termes de pollution du milieu de vie, de collision, de dérangement et de rupture des corridors mais un impact fort pour la destruction d'habitat, alors l'impact du projet sera considéré fort.

Critère de hiérarchisation des impacts sur les habitats naturels et les espèces

Hiérarchisation des impacts	Absence d'impact	Impact faible	Impact modéré	Impact fort
Critère surfacique	-	La perturbation est temporaire, locale et n'altère de façon significative qu'une faible fraction de l'habitat disponible localement	La perturbation altère de façon significative et permanente ou temporaire une fraction importante, mais non majoritaire, de l'habitat sans remettre en cause l'état de conservation local de l'habitat, de l'espèce qui en est dépendante ou de la population	La perturbation est temporaire, locale et altère de façon significative plus de la moitié de l'habitat

2.3. Étude de trafic et de circulation

L'étude de trafic a été réalisée par ARCADIS.

2.3.1. Analyse de la situation existante

L'analyse de la situation existante permet de constituer un diagnostic et en même temps de préparer une base d'information pour la construction et le calage du modèle statique. Elle s'appuie sur de nombreuses données disponibles ou collectées dans le cadre de la présente mission.

2.3.1.1. Données disponibles

2.3.1.1.1. Comptages automatiques

Les données de comptage sont issues de deux sources : boucles de comptage et système de péage sur le réseau COFIROUTE et comptages automatiques ponctuels réalisés par ALYCE sur quelques sections départementales :

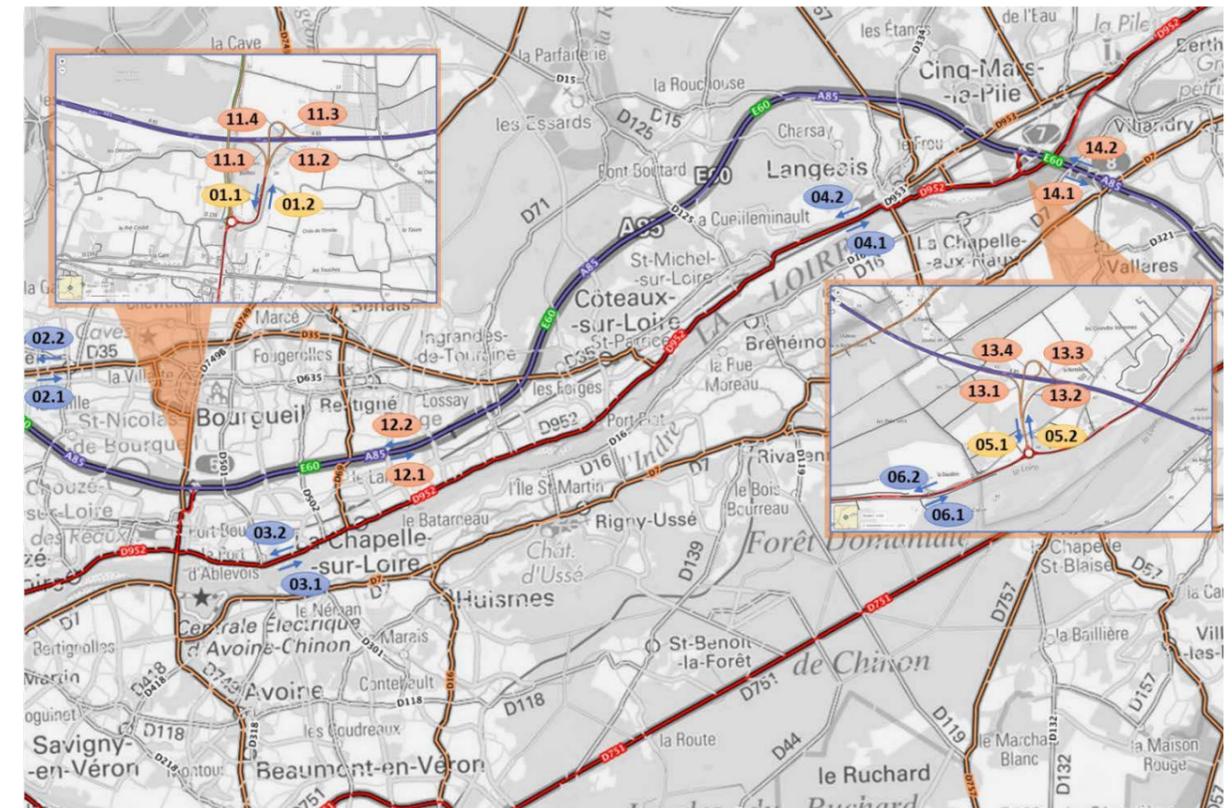


Figure 5 : Localisation des comptages automatiques disponibles

- **Boucles permanentes et système de péage sur le réseau COFIROUTE** sur l'échangeur N°5 Bourgueil, l'échangeur N°7 Langeais Est, sur les sections courantes A85 Bourgueil-Langeais et Langeais – Villandry. Les comptages sur l'A85 fournis par COFIROUTE portent sur la période du Jeudi 05 septembre 2019 au Jeudi 12 septembre 2019.
- Comptages **automatiques ponctuels réalisés par ALYCE** sur 4 postes : D35 à l'Ouest de Bourgueil, D952 à La Chapelle sur Loire, D952 à l'Ouest de Langeais et D952 sur la Chapelle sur Loire. Les comptages sur le réseau secondaire réalisés par ALYCE portent initialement sur la période du 05 au 11 septembre 2019 sur les 4 postes départementaux (numéros 2, 3, 4 et 6). Un problème de coupure de tube a eu lieu sur 3 postes. ALYCE a reposé les compteurs pour la période 30 septembre – 06 octobre 2019.
- **D'autres données de comptage disponibles** : le département d'Indre-et-Loire publie des données de trafic TMJA sur le réseau départemental, certaines valeurs sont utilisées pour but de vérification uniquement.

2.3.1.1.2. Enquêtes Origine-Destination par interview réalisées

Les enquêtes origine-destination OD par interview ont été réalisées le 05 septembre 2019 entre 7h00 -19h00 sur 6 postes indiqués sur le plan ci-après. Les questionnaires administrés aux VL et aux PL sont joints en annexe.

Vu la proximité des postes d'enquête sur le périmètre d'étude, une question de « filtre » a été introduite dans les questionnaires utilisés afin de détecter si le véhicule a déjà été interviewé sur un poste en amont.

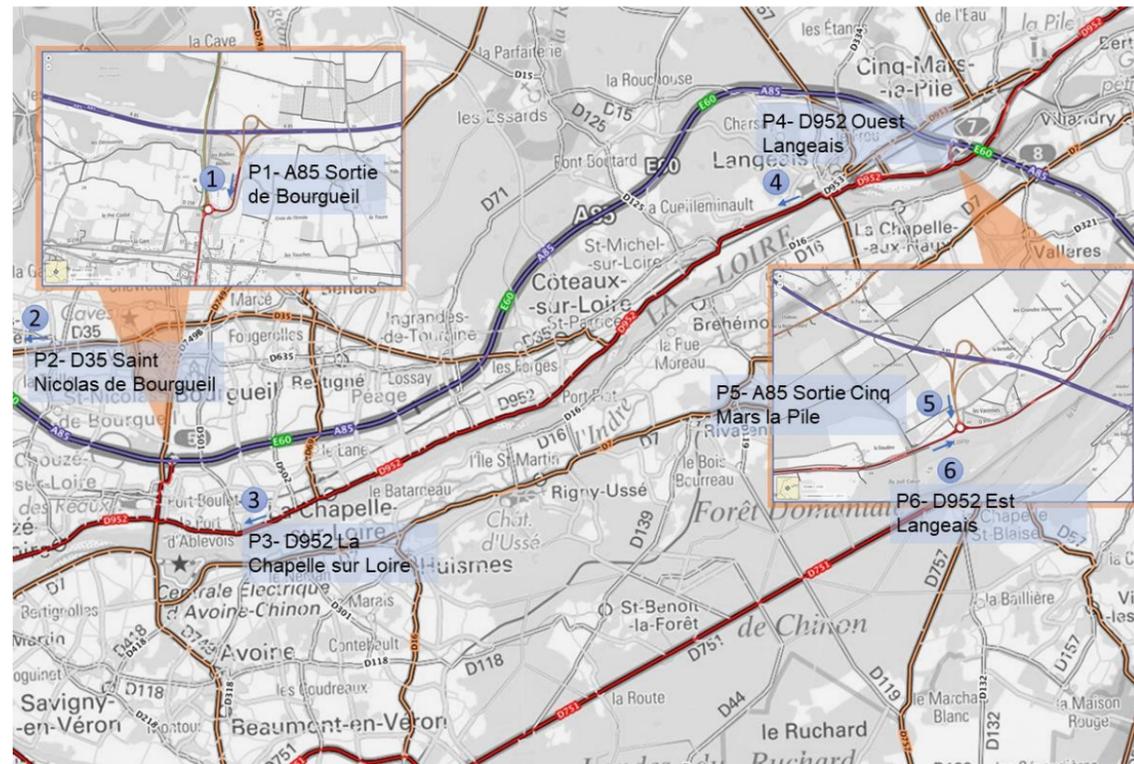


Figure 6 : Localisation des postes d'enquête Origine-Destination par interview

Les taux de sondage obtenus sont supérieurs à 20% sur l'ensemble des postes, pour VL et pour PL. Sur les postes 1, 3, 6, le taux de sondage obtenu est supérieur à 30%. Les détails de taux de sondage par poste sont présentés sur le plan ci-après :

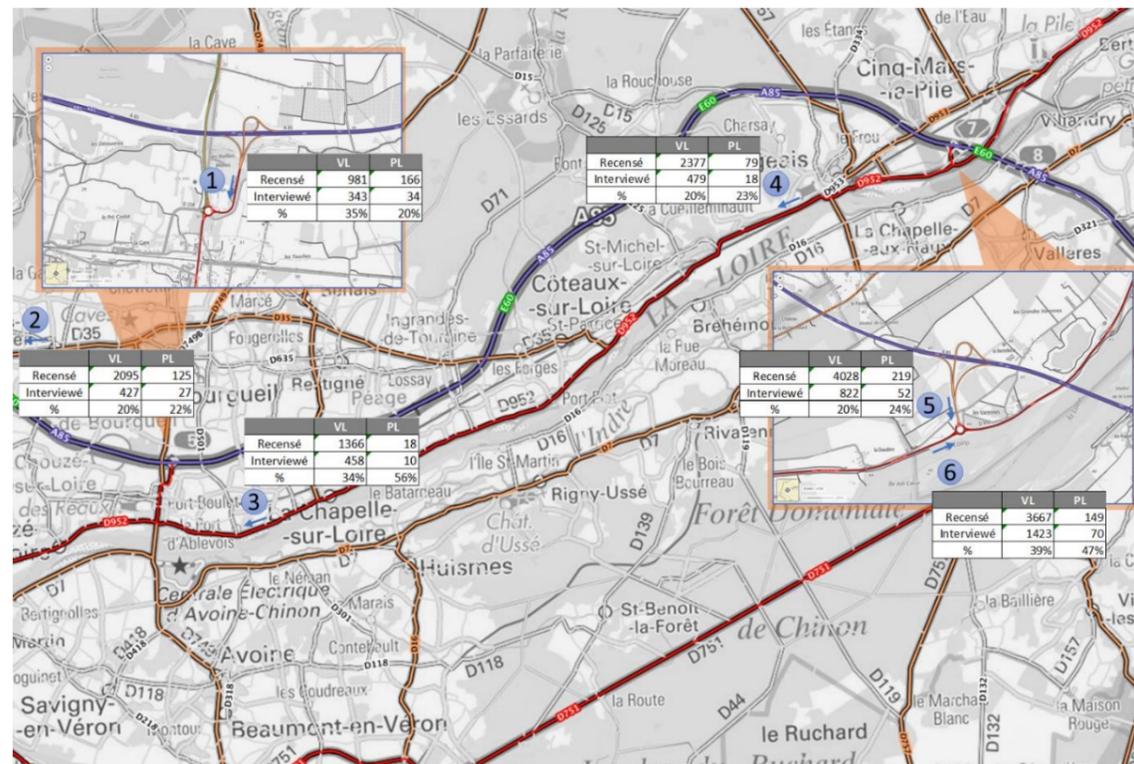


Figure 7 : Localisation des postes d'enquête OD et taux de sondage obtenu

2.3.1.1.3. Temps de parcours

Les données de temps de parcours ont été obtenues par un requêtage sur le service de temps de parcours de Google Maps sur un certain nombre de jours ouvrés en septembre et octobre 2019. Le plan ci-après présente les tronçons de route pour lesquels les requêtes de temps de parcours ont été réalisées.



Figure 8 : Tronçons faisant l'objet des requêtes de temps de parcours Google Traffic

Les taux de sondage obtenus sont supérieurs à 20% sur l'ensemble des postes, pour VL et pour PL. Sur les postes 1, 3, 6, le taux de sondage obtenu est supérieur à 30%. Les détails de taux de sondage par poste sont présentés sur le plan ci-après :

2.3.2. Construction et calage du modèle de trafic

2.3.2.1. Logiciel de modélisation : PTV VISUM

Le modèle de trafic a été créé sous le logiciel VISUM qui permet de prendre en compte des valeurs du temps distribuées dans le choix d'itinéraire des usagers, donc une meilleure prise en compte de la concurrence d'itinéraire, notamment entre un itinéraire libre de péage et un itinéraire à péage.

2.3.2.2. Périmètre

La carte ci-après présente le périmètre de modélisation. Il est délimité par Saint Gizeux au Nord, Cravant les Côteaux au Sud, Saint Genouph à l'Est et Chouzé sur Loire à l'Ouest.

Ce périmètre permet de simuler notamment les choix d'itinéraires entre l'autoroute A85 et les itinéraires locaux D952 et D35 entre Tours et Saumur.

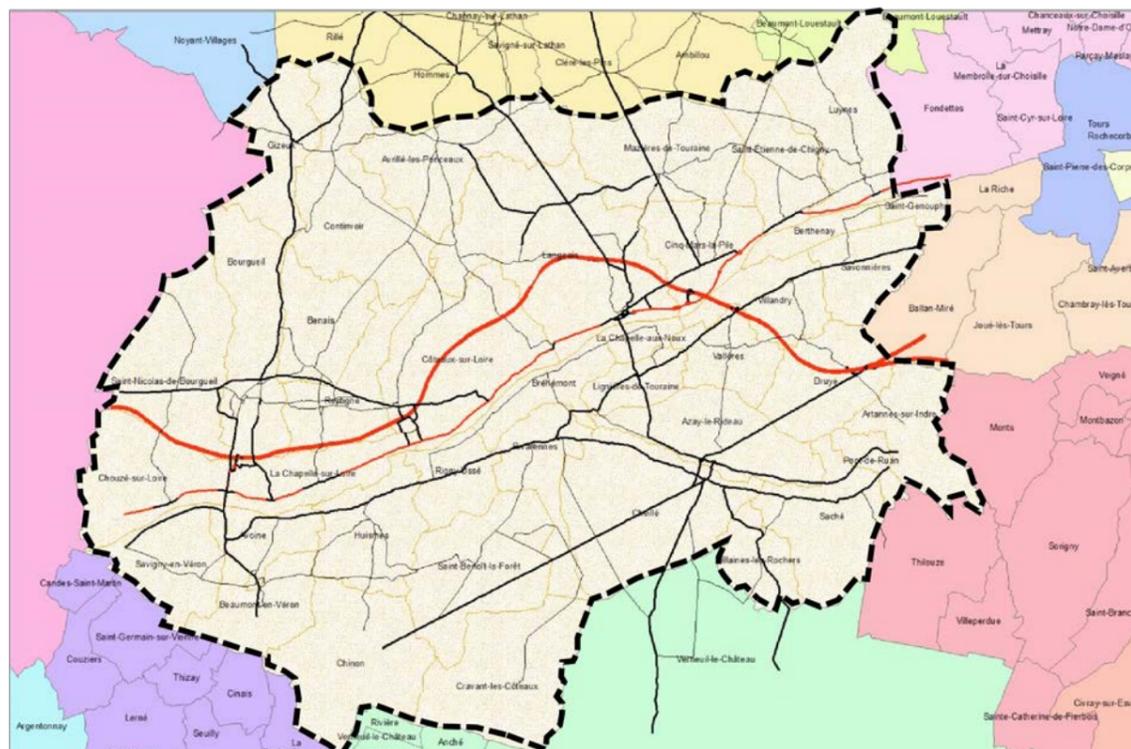


Figure 9 : Périmètre de modélisation

2.3.2.3. Zonage

2.3.2.3.1. Principes de zonage

Le zonage repose sur les principes suivants :

- Découpage communal dans le périmètre de modélisation avec quelques exceptions :
 - o Langeais, découpée en deux zones : Langeais Centre/ Langeais Nord
 - o Charité sur Loire, Saint Nicolas de Bourgueil, Cinq Mars la Pile chacune découpée en deux zones
- Découpage communal sur Tours Métropole à l'exception de la commune de Tours :
 - o Tours est découpée en 2 zones par rapport à la Loire : Tours Nord et Tours Sud
- Découpage en EPCI pour le reste des départements Maine-et-Loire et Indre-et-Loire à l'exception de l'agglomération Saumur Val de Loire découpée en 4 zones : Saumur Nord, Saumur Sud, CA Saumur Nord, CA Saumur Sud
- Découpage départemental pour les deux régions Pays de la Loire et Centre Val de Loire,
- Découpage régional pour le reste de la France

2.3.2.3.2. Zonage interne

Le périmètre du zonage interne est composé de 38 communes, comme présenté sur la carte ci-après :

- La zone d'habitat de Langeais est découpée en 2 zones afin de distinguer les zones d'activité au Nord, qui sont à proximité du projet demi-échangeur, du reste de la commune. La carte ci-après présente le découpage sur la commune de Langeais :

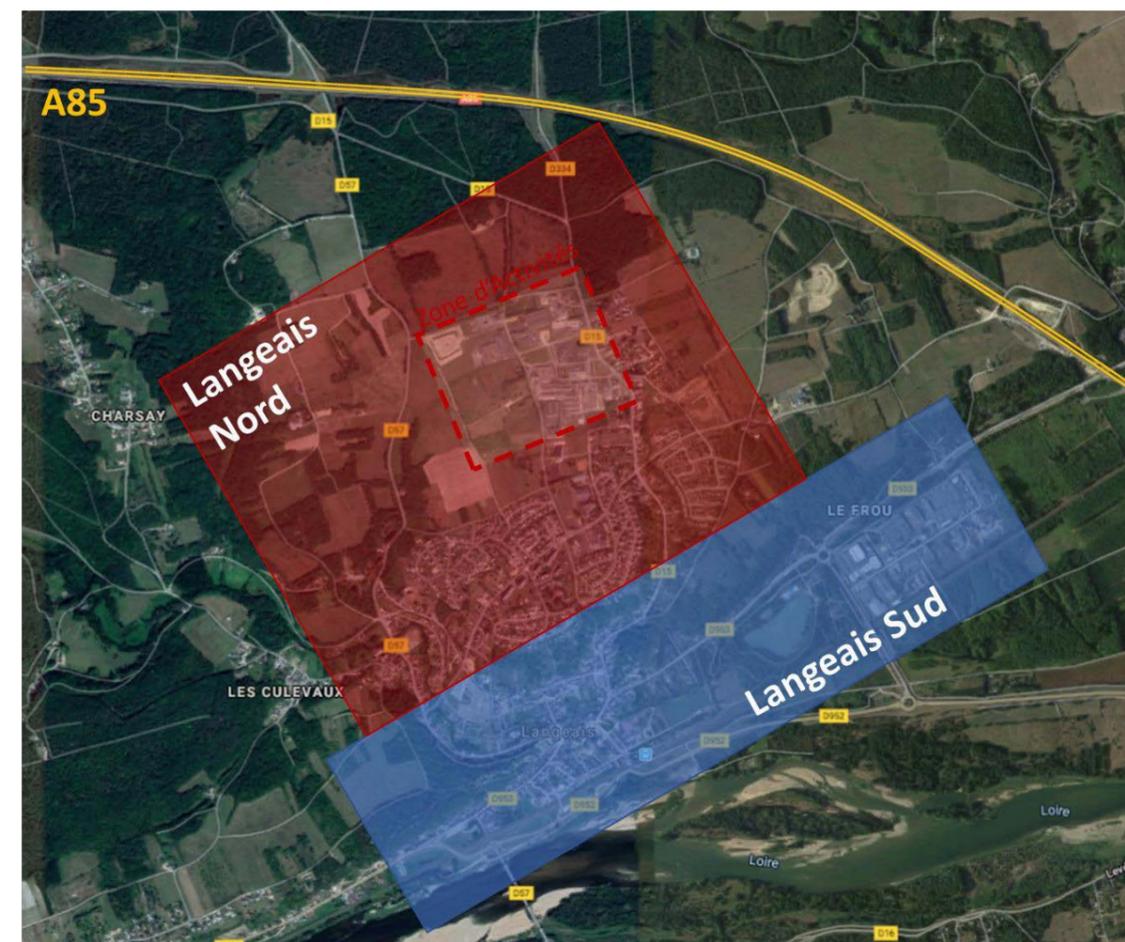


Figure 10 : Découpage de la commune de Langeais

- La commune Saint Nicolas de Bourgueil est représentée par 2 zones, à l'Est et à l'Ouest du poste d'enquête N°2 (carrefour D352).
- La commune La Chapelle-sur-Loire est représentée par 2 zones, à l'Est et à l'Ouest du poste d'enquête N°3 (carrefour D501).
- La commune de Cinq Mars la Pile est représentée par 2 zones, une à l'Est connectée à la D952 et à l'Ouest, connectée à la D953

Nature	Nom	Type de zone
Infra-commune	LANGAIS Zones activités Nord	interne
Infra-commune	LANGAIS Centre	interne
Commune	COTEAUX-SUR-LOIRE	interne
Commune	BEAUMONT-EN-VERON	interne
Commune	BOURGUEIL	interne
Commune	SAVIGNY-EN-VERON	interne
Commune	CHOUZE-SUR-LOIRE	interne
Commune	AVOINE	interne
Infra-commune	SAINT-NICOLAS-DE-BOURGUEIL Est	interne
Infra-commune	SAINT-NICOLAS-DE-BOURGUEIL Ouest	interne
Commune	RESTIGNE	interne
Commune	HUISMES	interne
Commune	RIGNY-USSE	interne
Commune	CHINON	interne
Infra-commune	LA CHAPELLE-SUR-LOIRE Ouest	interne
Infra-commune	LA CHAPELLE-SUR-LOIRE Est	interne
Commune	BENAI	interne
Commune	GIZEUX	interne
Commune	AVRILLE-LES-PONCEAUX	interne
Commune	CONTINVOIR	interne
Commune	VILLAINES-LES-ROCHERS	interne
Commune	PONT-DE-RUAN	interne
Commune	DRUYE	interne
Commune	LUYNES	interne
Commune	SAINT-ETIENNE-DE-CHIGNY	interne
Commune	ARTANNES-SUR-INDRE	interne
Commune	VILLANDRY	interne

Nature	Nom	Type de zone
Commune	LIGNIERES-DE-TOURAIN	interne
Commune	SACHE	interne
Commune	SAVONNIERES	interne
Commune	SAINT-GENOUPH	interne
Commune	BERTHENAY	interne
Infra-commune	CINQ-MARS-LA-PILE Ouest	interne
Infra-commune	CINQ-MARS-LA-PILE Est	interne
Commune	MAZIERES-DE-TOURAIN	interne
Commune	CHEILLE	interne
Commune	VALLERES	interne
Commune	LA CHAPELLE-AUX-NAUX	interne
Commune	BREHEMONT	interne
Commune	CRAVANT-LES-COTEAUX	interne
Commune	SAINT-BENOIT-LA-FORET	interne
Commune	RIVARENNES	interne
Commune	AZAY-LE-RIDEAU	interne

2.3.2.3.3. Zonage externe

Découpage à l'intérieur des départements Indre et Loire et Maine et Loire :

- Les 3 EPCI : Tours Métropole, CC Touraine Ouest Val de Loire, CC Touraine Vallée de l'Indre sont découpées en communes à l'exception de Tours qui est découpée en deux parties par rapport à la Loire : Tours Nord et Tours Sud.
- La CA Saumur Val de Loire est découpée en 4 zones : Saumur Nord, Saumur Sud, CA Saumur Nord et CA Saumur Sud.

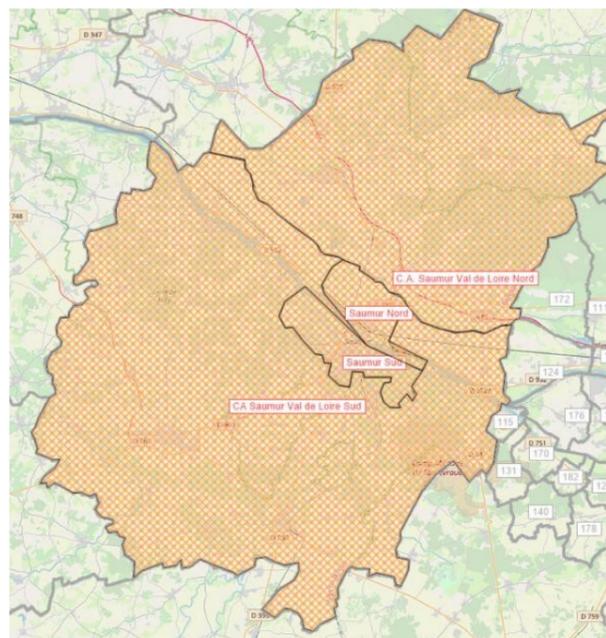


Figure 11 : Découpage de la CA Saumur Val de Loire

Le reste des deux départements Indre et Loire et Maine et Loire sont découpé en EPCI comme illustré sur la carte ci-après :

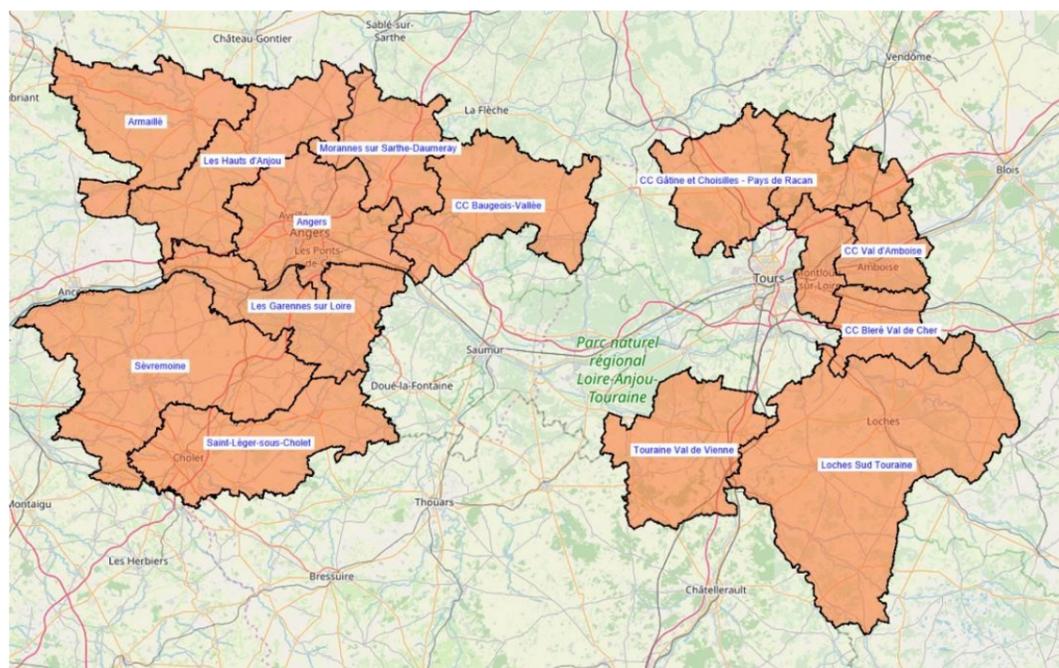


Figure 12 : Zonage de niveau EPCI

Nature	Nom	Type de zone
EPCI	CU Angers Loire Métropole	Externe
EPCI	CC de Gâtine et Choisses - Pays de Racan	Externe
EPCI	CA Agglomération du Choletais	Externe
EPCI	CC du Pays d'Ancenis	Externe
EPCI	CC Anjou Bleu Communauté	Externe
EPCI	CC Loire Layon Aubance	Externe
EPCI	CC des Vallées du Haut-Anjou	Externe
EPCI	CC Anjou Loir et Sarthe	Externe
EPCI	CC Baugeois Vallée	Externe
EPCI	CC Touraine Val de Vienne	Externe
EPCI	CA Mauges Communauté	Externe
EPCI	CC du Val D'Amboise	Externe
EPCI	CC Loches Sud Touraine	Externe
EPCI	CC Touraine-Est Vallées	Externe
EPCI	CC de Bléré Val de Cher	Externe
EPCI	CC du Castelrenaudais	Externe

❖ *Découpage des régions Pays de la Loire et Centre Val de Loire*

Le reste du territoire à l'intérieur des régions Pays-De-La-Loire et Centre Val-De-Loire sont découpés en départements, 4 zones départementales pour la première, et 6 zones départementales pour la seconde.

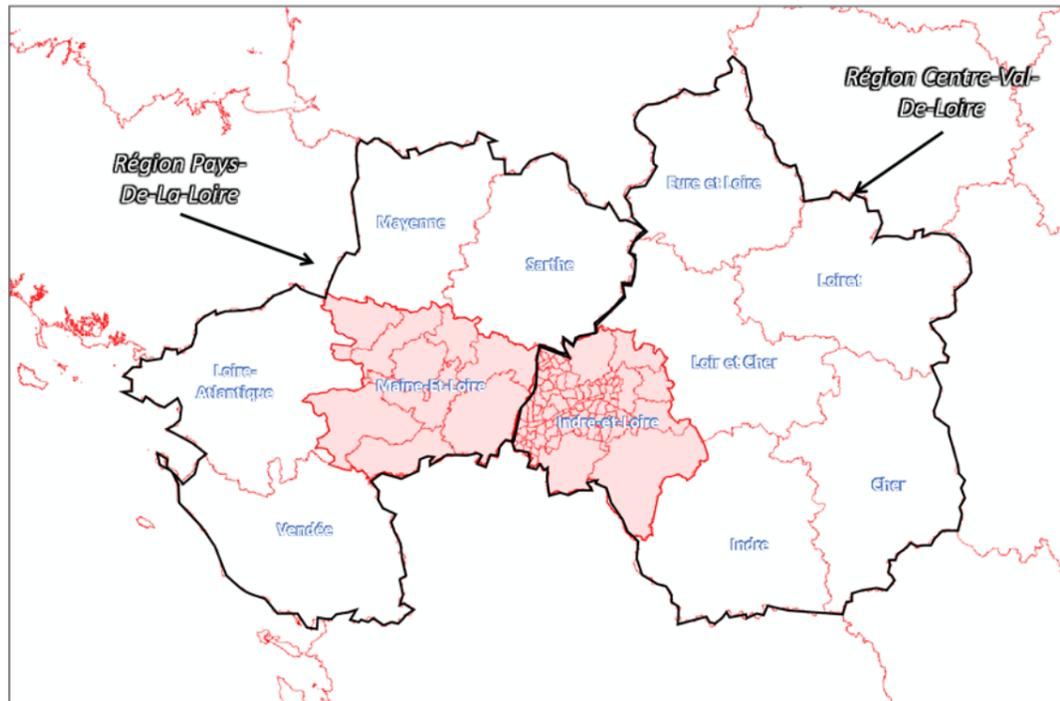


Figure 13 : Zonage de niveau départemental

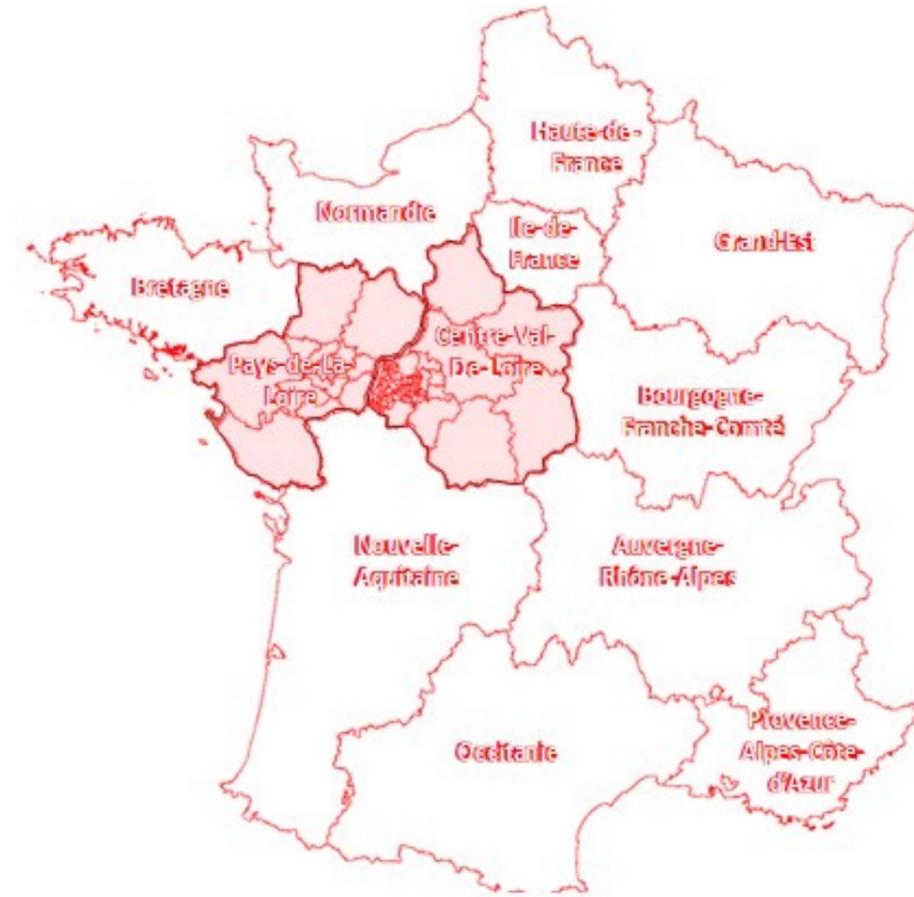


Figure 14 : Zonage de niveau régional

Nature	Nom	Type de zone
Département	SARTHE	Externe
Département	LOIRE-ATLANTIQUE	Externe
Département	INDRE	Externe
Département	EURE-ET-LOIR	Externe
Département	MAYENNE	Externe
Département	LOIRET	Externe
Département	VENDEE	Externe
Département	LOIR-ET-CHER	Externe
Département	CHER	Externe

❖ *Découpage régional*

A l'exception de deux régions Pays de la Loire et Centre Val de Loire, chacune des 10 régions restantes de la France métropolitaine constitue 1 zone :

Il y a au total 10 zones externes régionales :

Nature	Nom	Type de zone
Région	GRAND EST	Externe
Région	HAUTS-DE-FRANCE	Externe
Région	NORMANDIE	Externe
Région	BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE	Externe
Région	AUVERGNE-RHONE-ALPES	Externe
Région	NOUVELLE-AQUITAINE	Externe
Région	BRETAGNE	Externe
Région	OCCITANIE	Externe
Région	PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	Externe
Région	ILE-DE-FRANCE	Externe

Les zones externes sont connectées au réseau modélisé par des connecteurs en suivant le principe une zone est connectée par un connecteur.

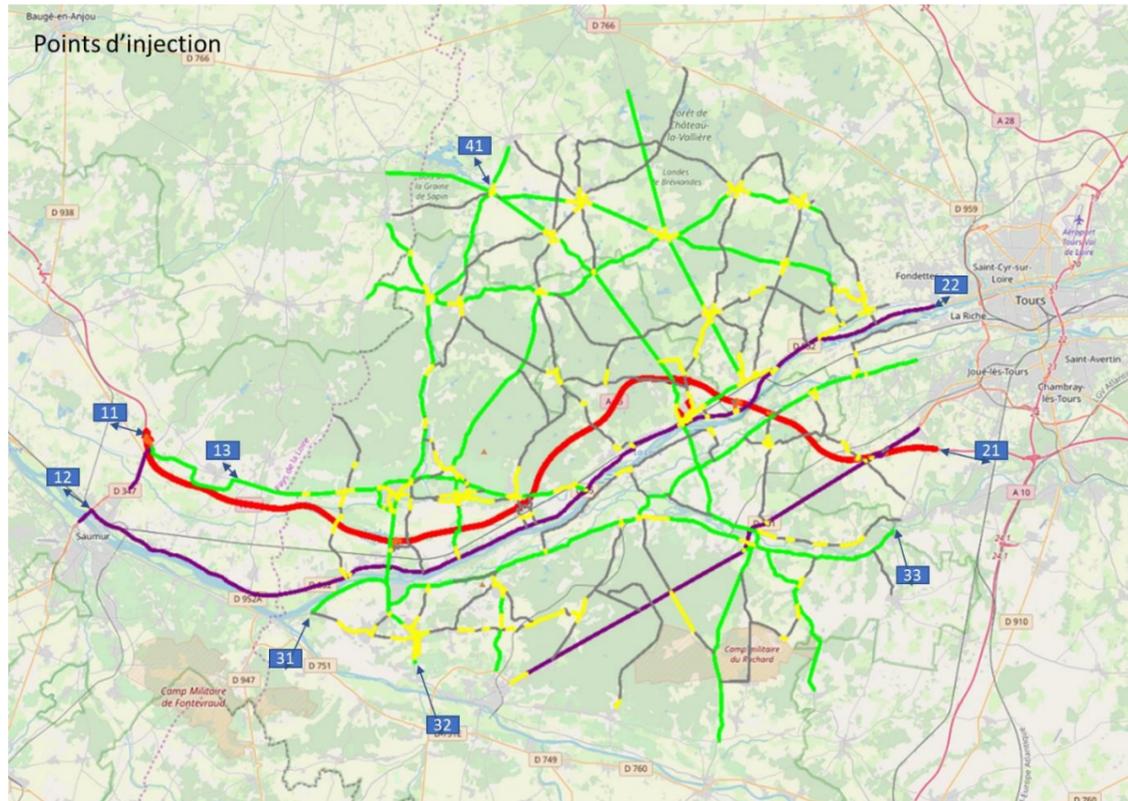


Figure 15 : Points de branchement des zones externe

2.3.2.4. Codification du réseau

2.3.2.4.1. Typologie des tronçons

La codification des arcs (capacité, vitesse et courbe Débit-Vitesse) est présentée dans le tableau ci-dessous :

Catégorie	Numéro	Type	Nb de voies	Capacité Théorique	Vitesse VL	Vitesse PL	DV
Autoroute	1	Autoroute	2	4000	130	90	1
	2	Bretelle-1	1	1400	70	60	1
	3	Bretelle-2	1	1400	50	40	1
Départementale structurante	4	Artère inter-urbaine - 1	1	1500	90	80	2
	5	Artère inter-urbaine - 2	1	1400	70	60	2
	6	Artère inter-urbaine - 3	1	1400	50	40	2
Autres voies rapides	7	7m Express - 1	1	1000	90	80	2
	8	7m Express - 2	1	1400	90	80	2

Catégorie	Numéro	Type	Nb de voies	Capacité Théorique	Vitesse VL	Vitesse PL	DV
Départementale secondaire	9	7m Express - 3	1	1400	70	60	2
	10	7m Express - 4	1	1200	50	40	2
	11	7 m Ordinaire - 1	1	1000	90	80	3
	12	7 m Ordinaire - 1	1	1400	70	60	3
	13	7 m Ordinaire - 1	1	1400	65	55	3
Voirie urbaine	14	7 m Ordinaire - 1	1	1000	70	60	3
	15	7 m Ordinaire - 1 (Centre bourg)	2	1200	50	40	3
	16	7 m Ordinaire - 1 (Centre bourg)	1	800	50	40	3

2.3.2.4.2. Courbe débit-vitesse

Les formulations pour les courbes débit-vitesse sont les suivantes. Elles permettent d'adapter la vitesse des flux en fonction de la charge de l'arc (par exemple, retranscription des vitesses basses en régime saturé).

t_{cur} : temps de parcours à charge

q : charge de trafic q_{max} : capacité $sat = [q / (c * q_{max})]$: taux de saturation, avec c : paramètre associé à la capacité, souvent à 1,00.

DV 1 de type BPR2 pour le réseau autoroutier :

$$t_{cur} = t_0 * [1 + a * (sat)^b]$$

avec :

$a=0,37$ $b=1$ $b=7,15$ lors que $q < q_{max}$ $b=10,00$ lors que $q > q_{max}$

$c = 1,00$

DV 2 de type INRET pour le réseau départemental structurante :

$$t_{cur} = t_0 * [(1.1 - a * sat) / (1.1 - sat)] \text{ pour } sat < 1; t_{cur} = t_0 * [(1.1 - a) / 0.1 * sat^2] \text{ pour } sat \geq 1,0$$

avec :

$a = 0,7$

$b = 1$

DV 3 de type INRET pour le réseau départemental secondaire ou voirie urbaine :

$$t_{cur} = t_0 * [(1.1 - a * sat) / (1.1 - sat)] \text{ pour } sat < 1; t_{cur} = t_0 * [(1.1 - a) / 0.1 * sat^2] \text{ pour } sat \geq 1,0$$

avec :

$a = 0,3$ $b = 1$

Le graphique ci-après présente les 3 courbes utilisées :

- La première courbe BPR2 (0,37;7,15;10;1), relativement plate, permettant de simuler les conditions de circulation sur le réseau autoroutier où l'infrastructure est capable de supporter un niveau de charge élevé sans conséquence forte sur le temps de parcours.
- La deuxième courbe INRET (0,7 ;1), intermédiaire entre les deux courbes ci-dessus, simule les conditions de circulation sur les départementales structurantes.
- La troisième courbe INRET(0,3 ;1) simule les conditions de circulation sur des départementales secondaires/voies urbaines sur lesquelles le temps de parcours peut être dégradé rapidement en augmentant le débit.

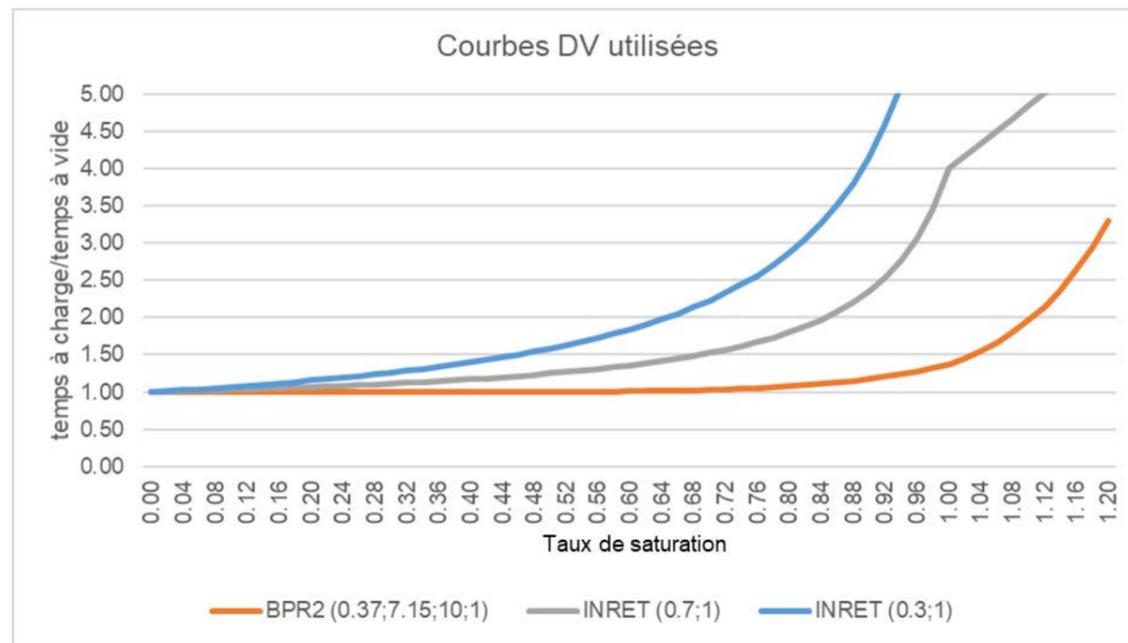


Figure 16 : Courbes DV utilisées

2.3.2.4.3. Réseau modélisé

Le réseau modélisé correspond à une situation de septembre 2019. Il convient de noter qu'il y a des travaux sur l'A85. La réduction de vitesse limite autorisée sur celle-ci est prise en compte dans la codification de la situation de calage.

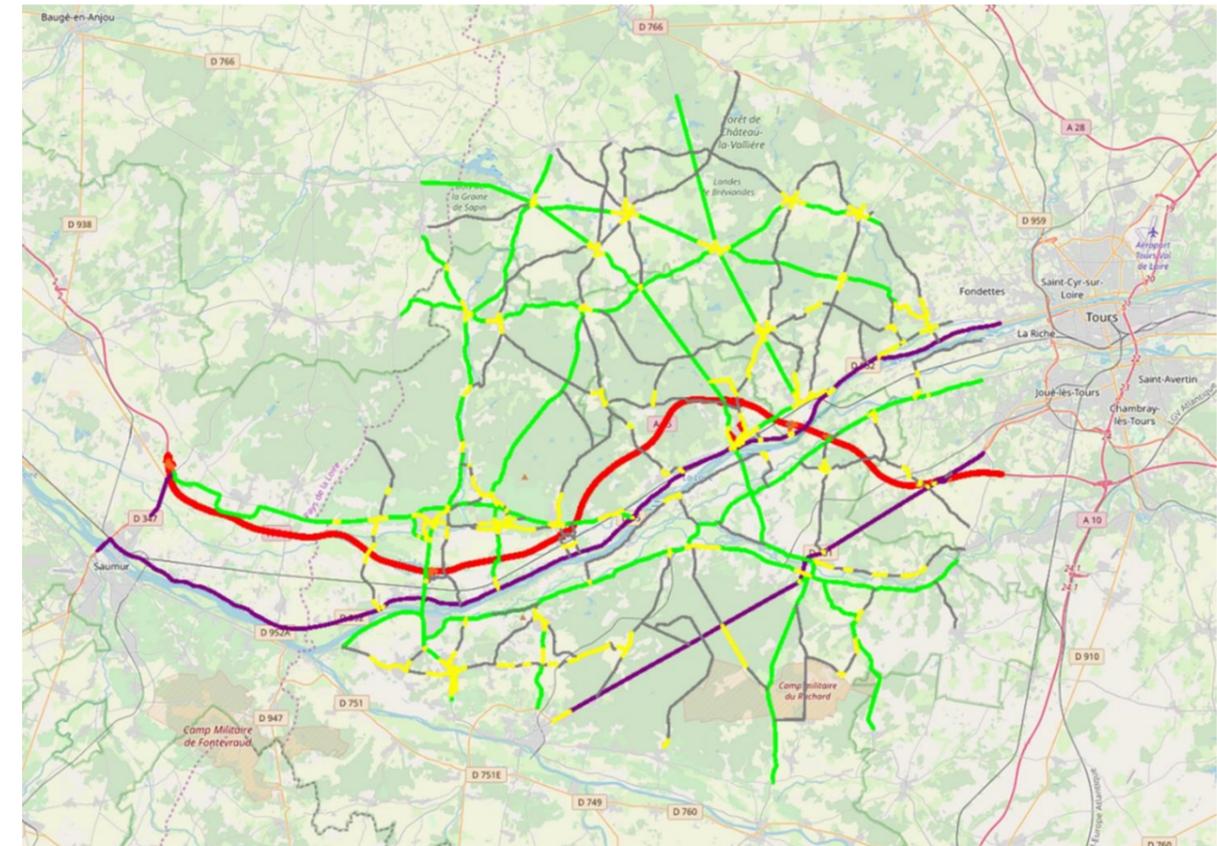


Figure 17 : Réseau modélisé

2.3.2.4.4. Péages

L'A85 est libre de péage entre l'échangeur n°7 Cinq Mars La Pile et l'échangeur n°9 Azay le Rideau et payant à l'Ouest à partir de l'échangeur n°7.

Les montants de péage 2019 sont modélisés dans le modèle pour 2 sections :

- Section Langeais – Bourgueil (BPV Restigné)
- Section Bourgueil – Saumur

Le montant pour les segments VL correspond à celui de la classe de péage 1.

Le montant pour le segment PL correspond à 75% de celui de la classe 4 en prenant en compte la récupération de TVA et une certaine remise liée à abonnement.

Les péages Longue Jumelles – Bourgueil Longue Jumelles – Saumur sont aussi codifiés sur les bretelles de l'échangeur de Saumur. Le tableau ci-après présente les valeurs retenues (en € 2019)

	Classe 1 (VL)	Classe 4 (PL)	VL modèle	PL modèle
Restigné-Bourgueil	2,30	7,80	2,30	5,85
Bourgueil-Saumur	1,50	4,70	1,50	3,53

Longue-Jumelles-Saumur	1,00	3,20	1,00	2,40
Longue-Jumelles-Bourgueil	2,20	7,40	2,20	5,55

2.3.2.4.5. Interdiction de PL de transit sur la D952 entre Langeais et La Chapelle sur Loire

L'interdiction de PL transit sur la D952 entre Langeais (pont D57) et La Chapelle sur Loire (pont D749) est modélisée par la distinction de deux segments de PL :

- Les PL locaux sont admis sur la D952 entre Langeais (pont D57) et La Chapelle sur Loire (pont D749) ;
- Les PL de transit ne sont pas admis sur entre Langeais (pont D57) et La Chapelle sur Loire (pont D749).



Figure 18 : Section de la D952 soumise à l'interdiction de PL de transit

2.3.2.5. Périodes modélisées

La période modélisée correspond à un jour ouvré de base de septembre/octobre. Le trafic JOUR exprimé correspond au cumul sur 24 heures. L'affectation de la période JOUR se fait sur le réseau avec une capacité horaire et une demande divisée par 13.

2.3.2.6. Segmentation de la demande

Suite à l'analyse préliminaire des déplacements sur le secteur d'étude, une segmentation de la demande selon motifs de déplacement et selon la distance parcourue est retenue pour les VL. Le modèle comporte les segments suivants :

Segment	Description	Nbr d'observations
PERSO+DTE Distance<30 km	Déplacement VL de motif personnel ou domicile-travail de distance inférieure à 30 km	1 674
PERSO+DTE Distance>30 km	Déplacement VL de motif personnel ou domicile-travail de distance supérieure à 30 km	1 314
LOISIR Distance<30 km	Déplacement VL de motif loisir de distance inférieure à 30 km	90
LOISIR Distance D>30 km	Déplacement VL de motif loisir de distance supérieure à 30 km	392
PRO Distance <30 km	Déplacement VL de motif professionnel de distance inférieure à 30 km	234
PRO Distance>30 km	Déplacement VL de motif professionnel de distance supérieure à 30 km	440

La distinction PL local/PL transit permet de modéliser l'interdiction de PL transit sur la D952 entre Langeais et Bourgueil.

En plus des 8 segments présentés ci-dessus, deux segments supplémentaires sont utilisés dans le modèle pour constituer la charge de trafics VL et PL sur l'A85 qui est présente dans les données de comptage de sections courantes mais pas captée par les enquêtes.

2.3.2.7. Paramètres d'affectation

2.3.2.7.1. Procédure d'affectation

La procédure d'affectation utilisée est TRIBUT disponible dans VISUM. Elle permet de simuler le choix d'itinéraire entre les itinéraires libres de péages et payants avec une valeur du temps distribuée entre les usagers.

2.3.2.7.2. Valeurs du temps

La valeur du temps des classes VL est calculée selon la préconisation de l'instruction cadre en vigueur (fiches d'outil – version de mai 2019) en prenant en compte :

- La distance moyenne parcourue

Le taux d'occupation des véhicules

- Evolution des conditions économiques entre 2015 et 2019 (IPC et PIB par tête)

Le tableau ci-après présente une synthèse des valeurs du temps (€2019/veh/h en 2019)

Segment	Valeur du temps	Ecart-type normal	Log-
PERSO+DTE_D<30	9,84	0,70	
PERSO+DTE_D>30	16,56	0,70	
LOISIR_D<30	9,84	0,70	
LOISIR_D>30	17,01	0,70	
PRO_D<30	23,41	0,70	
PRO_D>30	42,43	0,70	
PL transit	40,70	0,80	
PL local	40,70	0,80	

La valeur du temps PL ne prend pas en compte les marchandises.

Les écart-types proposés sont des valeurs habituellement utilisées pour les modélisations trafic de VINCI Autoroutes.

2.3.2.7.3. Malus VL

Le malus de confort sur le réseau secondaire est converti en temps (s/km) à partir de 50% des valeurs de l'instruction cadre, en prenant en compte d'une valeur du temps moyenne de l'ensemble des segments VL de 17 €/h.

Le tableau ci-après présente les malus en temps (s/km) retenu par type de voirie :

Voirie	€2015 en 2015	Evolution IPC	Evolution PIB/tete	Malus €2019 en 2019	Coût	50% Malus Temps (s/km)
7m ordinaire	0,073	1,044	1,021	0,077		8,18
7m express	0,044	1,044	1,021	0,047		4,93
artère interurbaine	0,031	1,044	1,021	0,033		3,47
2 x 2 voie express	0,010	1,044	1,021	0,011		1,12
autoroute	0,000	1,044	1,021	0,000		0,00

2.3.2.7.4. Coûts d'exploitation des véhicules

Le calcul des coûts d'exploitation s'appuie :

- Sur les prix de carburant du premier semestre 2019.
- Une répartition par type de carburant 50% diesel pour les VL et 100% diesel pour les PL
- Des hypothèses de consommation de carburant
- Une minoration pour les VL de 50% liée à la perception des automobilistes.

Le tableau ci-après présente les valeurs de coût d'exploitation des véhicules retenues :

Type de véhicule	CEVen €2019/km
VL	0,053
PL	0,427

2.3.2.8. Constitution des matrices de demande

Les matrices de demande de déplacement ont été constituées à partir des données d'enquêtes OD par interview sur 6 postes d'enquête origine-destination par interview :

- Poste 1 : A85 sortie de l'échangeur N°5 Bourgueil, correspondant au poste 01.1
- Poste 2 : D35 à l'Ouest de Bourgueil – sens vers Saumur, correspondant au poste 02.2
- Poste 3 : D952 à La Chapelle sur Loire – sens vers Saumur, correspondant au poste 03.2
- Poste 4 : D952 à l'Ouest de Langeais – sens vers Saumur, correspondant au poste 04.2
- Poste 5 : A85 sortie de l'échangeur N°7 Langeais, correspondant au poste 05.1
- Poste 6 : D952 à l'Est de Langeais – sens vers Tours, correspondant au poste 06.1

2.3.2.8.1. Épuration, correction et validation des données

Les données d'enquête OD ont fait l'objet d'une vérification afin de voir si la relation O-D captée est logique au regard de la localisation du poste et du sens enquêté. Les itinéraires « illogiques » sont soit corrigés, soit éliminés de la base.

2.3.2.8.2. Redressement de la population enquêtée

❖ Passage de la population enquêtée à la population recensée

Les postes d'enquêtes étant proches, une question filtre a été introduite dans le questionnaire pour savoir si le véhicule intercepté a déjà été interviewé sur un poste amont afin d'éviter les éventuelles réactions négatives des personnes interviewés sur plusieurs postes.

Afin d'éliminer les doubles comptes, le taux de redressement est calculé comme ratio entre le nombre de véhicules recensés et le nombre de véhicules interceptés.

	Poste1	Poste2	Poste3	Poste4	Poste5	Poste6	Total
Poste1	1 250						1 250
Poste2	41	2 479		58	76		2 654
Poste3			1 061	442	54		1 557
Poste4				2 133	703		2 836
Poste5					5 178		5 178
Poste6	178					4 954	5 133

	Poste1	Poste2	Poste3	Poste4	Poste5	Poste6	Total
Poste1	100%						100%
Poste2	2%	93%		2%	3%		100%
Poste3			68%	28%	3%		100%
Poste4				75%	25%		100%
Poste5					100%		100%
Poste6	3%					97%	100%

- le poste 1 n'étant pas influencé par d'autres postes, la matrice élémentaire du poste 1 est calculée à partir des enquêtes sur le poste, idem pour le poste 5
- Le poste 4 étant influencé par le poste 5, la matrice élémentaire totale du poste 4 est composée :
 - o du flux total enquêté redressé sur le poste 4 (75%)
 - o du flux de transit entre le poste 6 et le poste 4 dans la matrice inversée du poste 6 (25%)

- Le poste 3 étant influencé par les postes en amont, la matrice élémentaire totale du poste 3 est composée :
 - o du flux total enquêté redressé sur le poste 3 (68%)
 - o du flux de transit entre le poste 4 et le poste 3 dans la matrice du poste 4 (32%)

❖ *Passage de la période d'enquête à la période de modélisation*

Les matrices des déplacements recensés seront ensuite redressées par poste d'enquête sur la base des comptages automatiques pour obtenir les matrices de la période de modélisation.

❖ *Calcul des matrices du sens inverse*

Étant donné que les enquêtes sont réalisées sur un sens, la matrice par poste du sens inverse est calculée par symétrisation et par normalisation selon le comptage du sens concerné. L'heure de pointe enquêté d'un sens devient l'heure de pointe du soir du sens inverse, selon l'hypothèse de pendularité des flux en jours ouvrés.

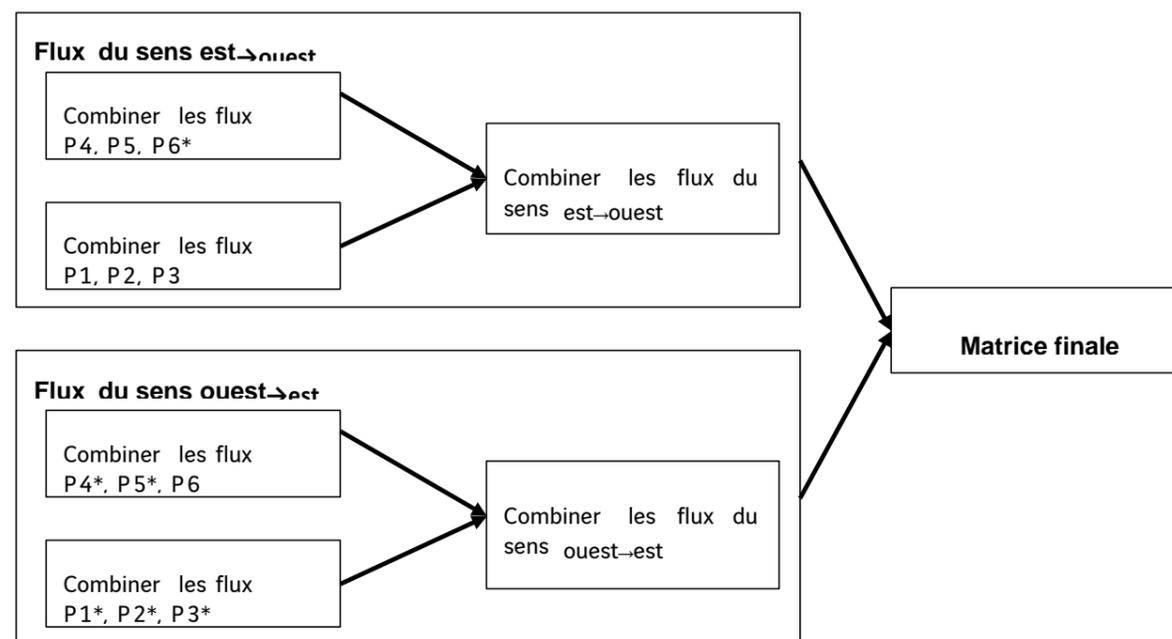
❖ *Harmonisation des données origine-destination et de comptage*

Une harmonisation des données a été réalisée afin d'assurer la cohérence, notamment :

- Entre les matrices O-D et les données de comptage sur les bretelles
- Entre les flux de transit sur les différentes matrices élémentaires

❖ *Constitution des matrices globales*

Les matrices élémentaires ont été combinées par sens (vers l'Est ou vers l'Ouest) d'abord par regroupement des postes P4, P5 et P6, puis par addition avec les postes P1, P2, P3. La matrice finale 2 sens est obtenue en sommant les matrices « vers l'Est » et « vers l'Ouest ».



(*) : flux du sens inverse du sens enquêté, obtenu par symétrisation

2.3.2.9. Résultats du calage

2.3.2.9.1. Calage de temps de parcours

Le graphique ci-après présente les tronçons faisant l'objet des relevés de temps de parcours Google Traffic pour le calage :



Figure 19 : Tronçons faisant l'objet des relevés de temps de parcours Google

Le graphique ci-après présente une comparaison, tronçon par tronçon, la valeur de temps de parcours relevé et celle modélisée dans le modèle :

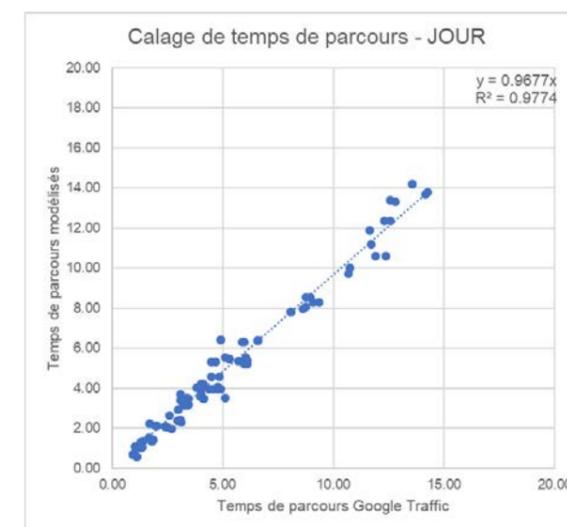


Figure 20 : Comparaison temps parcours VL relevés et modélisés – période JOUR

Les temps de parcours sont correctement modélisés dans le modèle avec un coefficient de détermination de R²=0.98.

2.3.2.9.2. Calage de débit

Les graphiques et tableau ci-après présentent les résultats de calage en débit pour VL et PL :

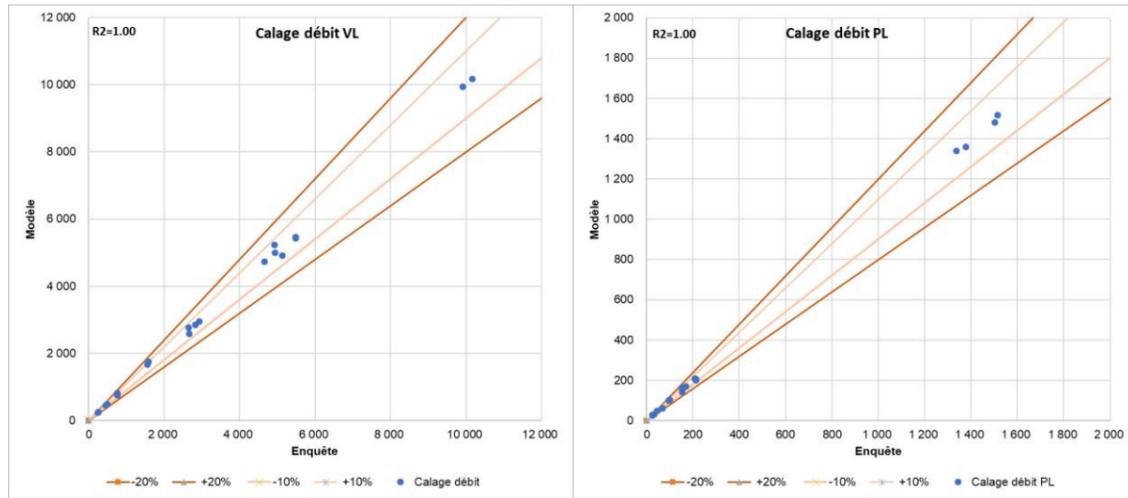


Figure 21 : Comparaison comptages automatiques – charges de trafic modélisées

Section	Observation 2019			Modélisation 2019			Ecart %			GEH		
	VL	PL	TV	VL	PL	TV	VL	PL	TV	VL	PL	TV
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Est Sortie	759	155	913	754	158	912	-1%	2%	0%	0	0	0
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Est Entrée	769	157	926	810	159	969	5%	2%	5%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Ouest Sortie	492	100	592	477	102	579	-3%	2%	-2%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Ouest Entrée	454	96	550	450	99	548	-1%	3%	0%	0	0	0
A85- Bourgueil-Restigné (BPV Restigné)	5 495	1 377	6 872	5 458	1 358	6 817	-1%	-1%	-1%	0	1	1
A85- Restigné- Bourgueil (BPV Restigné)	5 489	1 337	6 826	5 435	1 340	6 775	-1%	0%	-1%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Est Sortie	4 939	209	5 148	4 988	208	5 196	1%	0%	1%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Est Entrée	4 656	170	4 825	4 721	169	4 890	1%	0%	1%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Ouest Sortie	240	46	285	236	47	283	-1%	3%	-1%	0	0	0
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Ouest Entrée	263	34	296	257	32	289	-2%	-4%	-2%	0	0	0
A85- Cinq Mars la Pile - Villandry	9 911	1 503	11 413	9 943	1 481	11 424	0%	-1%	0%	0	1	0
A85- Villandry - Cinq Mars la Pile	10 166	1 516	11 682	10 166	1 516	11 682	0%	0%	0%	0	0	0
D35 Saint Nicolas de Bourgueil vers l'Est	2 656	153	2 809	2 757	142	2 899	-4%	-7%	3%	2	1	2
D35 Saint Nicolas de Bourgueil vers l'Ouest	2 666	153	2 819	2 579	163	2 743	-3%	7%	-3%	2	1	1
D952 La Chapelle sur Loire vers l'Est	1 595	27	1 622	1 745	27	1 773	9%	2%	9%	4	0	4
D952 La Chapelle sur Loire vers l'Ouest	1 557	27	1 584	1 671	24	1 696	7%	11%	7%	3	1	3
D952 Ouest Langeais vers L'Est	2 936	69	3 005	2 952	62	3 015	1%	0%	0%	0	1	0
D952 Ouest Langeais vers L'Ouest	2 836	69	2 905	2 845	62	2 907	0%	0%	0%	0	1	0
D952 Est Langeais vers L'Est	5 133	213	5 346	4 919	205	5 125	-4%	-4%	-4%	3	1	3
D952 Est Langeais vers L'Ouest	4 928	213	5 141	5 227	200	5 426	6%	-6%	6%	4	1	4

- Les R² obtenus sont proches de 1,00 à la fois pour les VL et pour les PL.
- Les écarts en pourcentage modélisés/comptages sont inférieurs à 5% sur les sections courantes et bretelles d'autoroute et inférieurs à 10% sur les sections départementales à l'exception du poste D952 La Chapelle sur Loire vers l'Ouest où l'écart modélisé/comptage PL s'élève à -11%. Cependant cela concerne un volume très faible de 3 PL.
- Les indicateurs GEH obtenus sont tous inférieurs à 5.

L'indicateur GEH (Geoffrey E. Havers) est une formule utilisée pour comparer deux volumes de trafic. Il permet de comparer, avec la même échelle, de gros écarts sur un trafic faible et de faibles écarts sur un trafic important :

$$GEH = \frac{\sqrt{2 * (M - C)^2}}{M + C}$$

2.3.2.9.3. Calage macro : Origine-Destination par poste

Afin de vérifier la qualité du modèle dans la reconstitution de la répartition spatiale des flux, un système de macro-zonage est utilisé. Il est présenté sur le graphique ci-après :

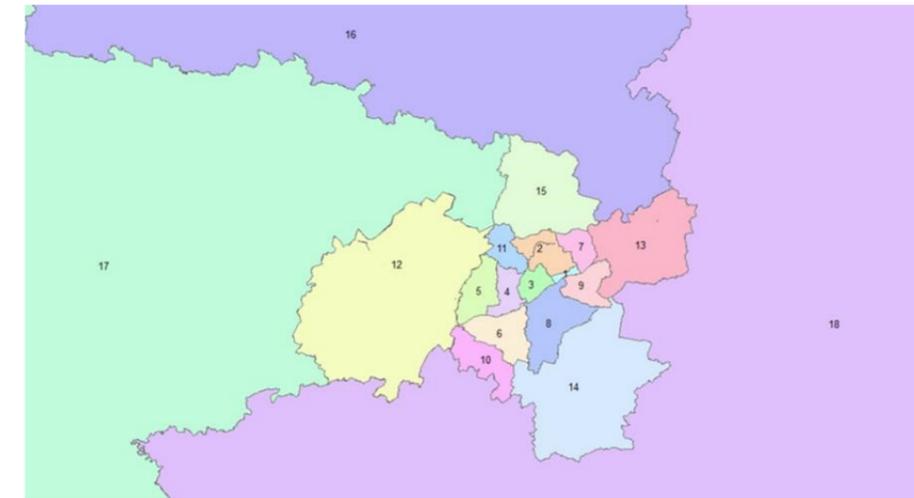


Figure 22 : Macro-zonage utilisé pour la vérification du calage

❖ Poste 1 : A85 – Échangeur de Bourgueil

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 1 :

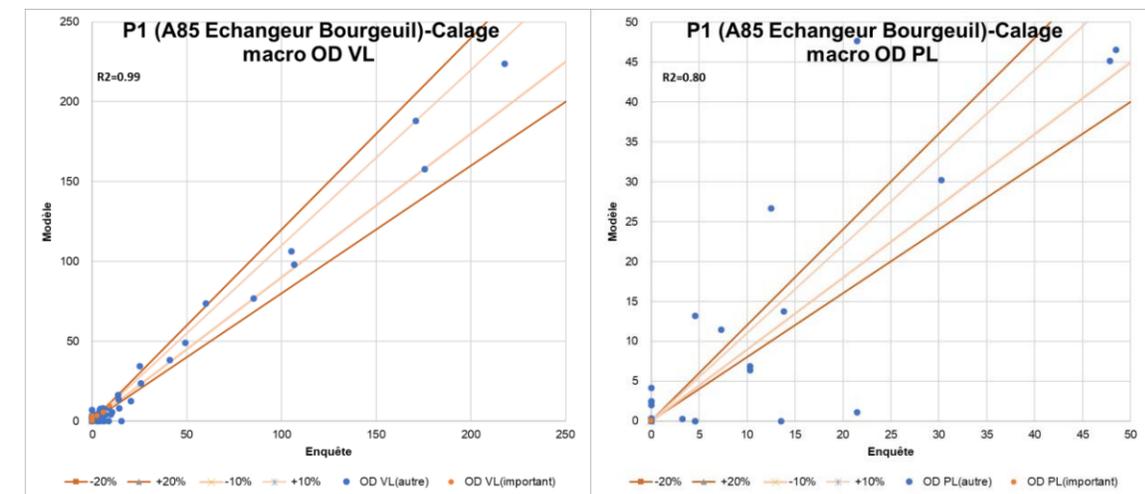


Figure 23 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 1

❖ **Poste 2 : D952 Saint Nicolas de Bourgueil**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 2 :

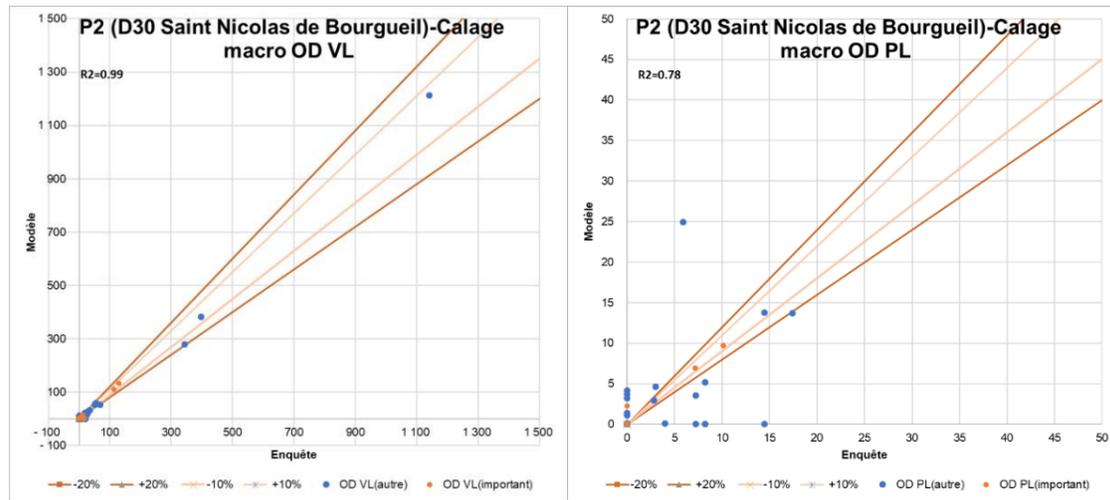


Figure 24 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 2

❖ **Poste 3 : D952 La chapelle sur Loire**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 3 :

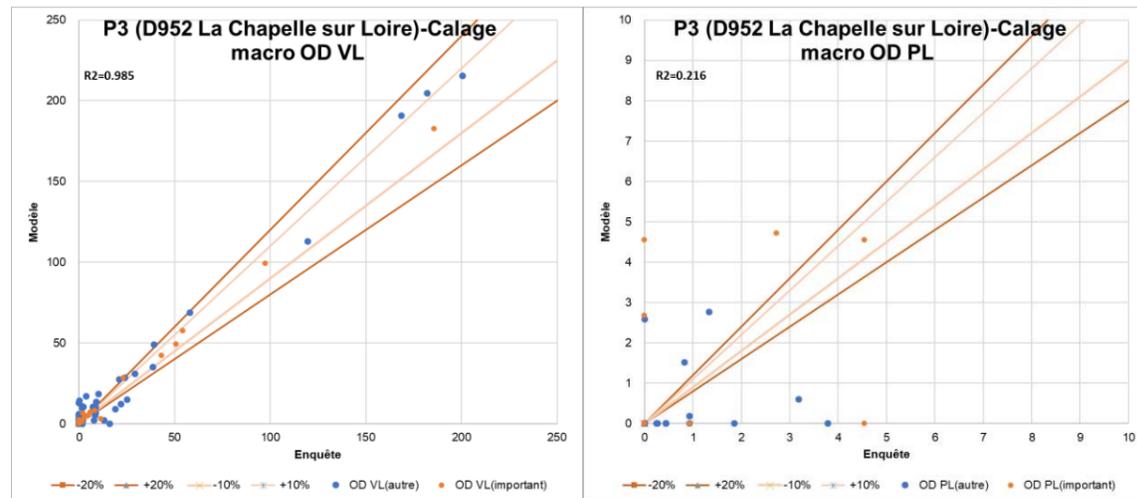


Figure 25 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 3

❖ **Poste 4 : D952 Langeais Ouest**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 4 :

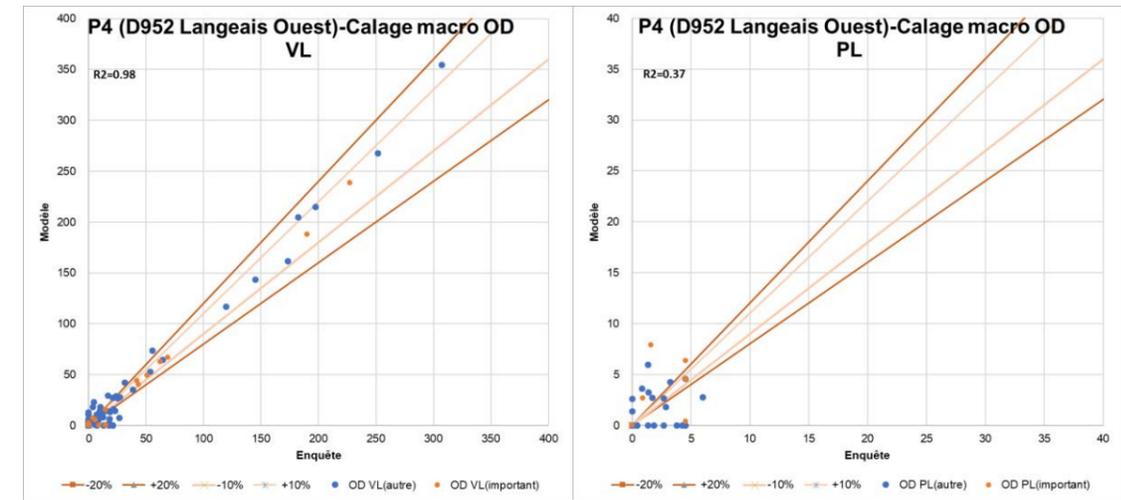


Figure 26 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 4

❖ **Poste 5 : A85 Cinq Mars La Pile**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 5 :

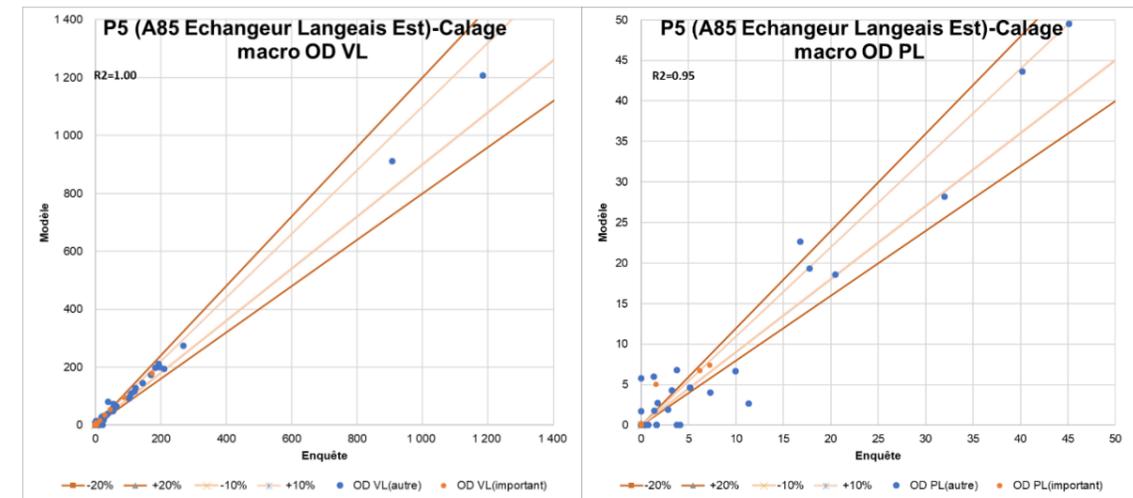


Figure 27 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 5

❖ Poste 6 : D952 Langeais Ouest

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 6

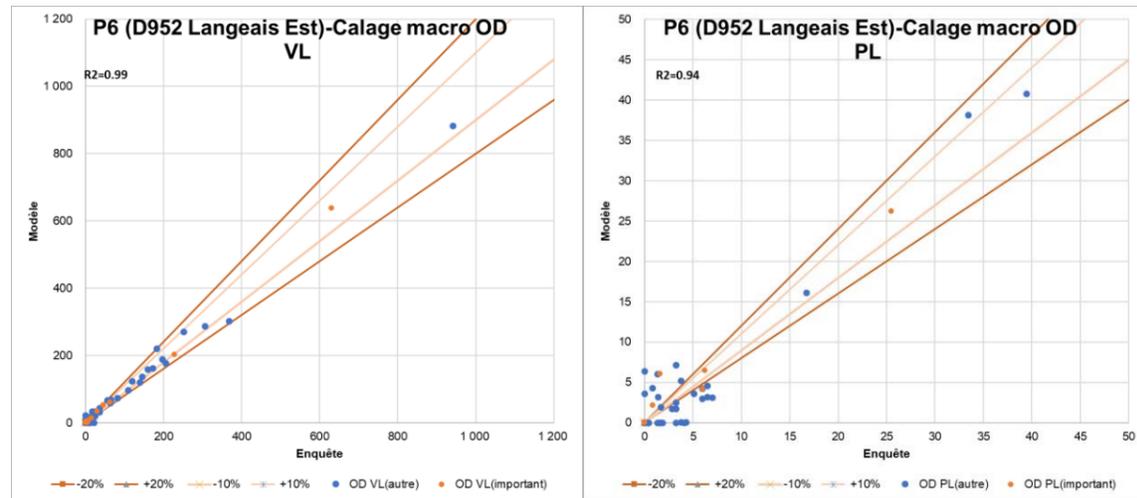


Figure 28 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 6

Les graphiques montrent les R² obtenus sont tous supérieurs à 0,95 pour les VL.

Les R² obtenus pour les PL sont respectivement 0,80 , 0,95 et 0,94 pour les postes 1, 5 et 6. Sur les autres postes du réseau départemental, la petite taille des flux ne permet pas d'obtenir des R² élevés.

2.3.3. Simulation des scénarios futurs

2.3.3.1. Hypothèses de simulation

La situation de référence aux horizons futurs 2025 et 2045 a été construite avec les hypothèses prospectives suivantes :

- Évolution du contexte socio-économique

Le PIB par habitant évolue selon l'hypothèse préconisée par le ministère dans la note de cadrage du scénario de référence du référentiel socio-économique pour la région Centre-Val de Loire : 0.6% par an sur la période 2015 et 2050.

- Évolution de la demande de déplacement

L'évolution de la demande de déplacement suit les projections du CGED, scénario SNBC auxquelles on retire la croissance autoroutière déjà réalisée sur la période 2012-2019 :

Type de demande	TCAM 2019-2030	TCAM 2030-2050
VL courte distance	0,60%	0,50%
VL longue distance	0,92%	0,95%
PL	0,70%	0,88%

- Évolution des valeurs du temps

Pour les VL, la valeur du temps évolue comme le PIB par habitant avec une élasticité de 0,7.

Pour les PL, la valeur du temps du transporteur est supposée constante du fait que sa productivité s'améliore dans le temps :

Valeur du temps	2019 en €2019	2025 en €2019	2045 en €2019
PERSO+DTE_D<30	9,84	10,09	11,00
PERSO+DTE_D>30	16,56	16,98	18,51
LOISIR_D<30	9,84	10,09	11,00
LOISIR_D>30	17,01	17,44	19,01
PRO_D<30	23,41	24,01	26,16
PRO_D>30	42,43	43,51	47,43
PL	40,70	40,70	40,70

- Évolution du réseau routier

En situation de calage, certaines sections de l'A85 ont une vitesse réduite à cause des travaux d'élargissement en cours. La limite de vitesse sur ces tronçons est remise à 130 km/h ou 110 km/h pour la situation de référence aux horizons 2025 et 2045.

Les montants de péage sont supposés inchangés en euro constant.

Les coûts d'exploitation des véhicules sont supposés inchangés en euro constant.

Les malus routiers VL en seconde sont supposés également inchangés.

2.3.3.2. Les scénarios modélisés

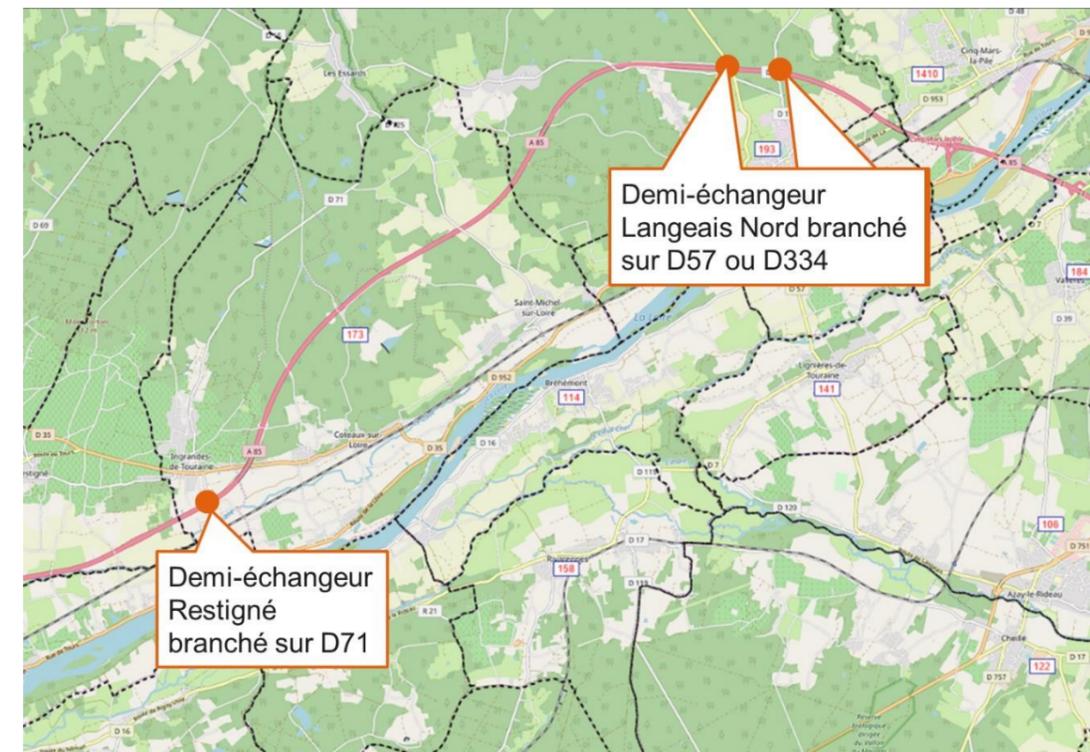


Figure 29 : Localisation des projets de demi-échangeur

En plus du scénario de référence (absence du projet de demi-échangeurs), les huit scénarios de projet simulés sont composés de manière générale :

- d'un demi-échangeur sur Restigné au niveau de la D71
- d'un demi-échangeur sur Langeais Nord, soit au niveau de la D71, soit au niveau de la D334

Ces principes de composition se traduisent en huit scénarios suivants :

Scénario	Demi-échangeur Restigné	Demi-échangeur Langeais Nord
1A	Orienté vers l'Est , branché sur D71	Orienté vers l'Est , branché sur la D57
1B	Orienté vers l'Est , branché sur D71	Orienté vers l'Est , branché sur la D334
2A	Orienté vers l'Est , branché sur D71	Orienté vers l'Ouest , branché sur la D57
2B	Orienté vers l'Est , branché sur D71	Orienté vers l'Ouest , branché sur la D334
3A	Orienté vers l'Ouest , branché sur D71	Orienté vers l'Est , branché sur la D57
3B	Orienté vers l'Ouest , branché sur D71	Orienté vers l'Est , branché sur la D334
4A	Orienté vers l'Ouest , branché sur D71	Orienté vers l'Ouest , branché sur la D57
4B	Orienté vers l'Ouest , branché sur D71	Orienté vers l'Ouest , branché sur la D334

En fonction de la position du demi-échangeur et de son orientation, les péages suivants sont appliqués :

Section	TARIF VL TTC	TARIF PL TTC
D71 (Restigné) - Langeais actuel	1,5	4,8
D57 (Langeais) - Langeais actuel	0,4	1,2
D334 (Langeais) - Langeais actuel	0,3	1,0

Les résultats des différents scénarios sont détaillés au sein de l'étude d'opportunité et de faisabilité technique d'ARCADIS. Les résultats du scénario 1A préférentiel mis à jour en scénario 1A bis est présenté dans l'étude d'impact.

2.3.4. Analyse complémentaire du scénario 1A préférentiel

Pour donner suite aux échanges avec les collectivités, un complément d'étude a été mené pour affiner les prévisions de trafic de mars 2020.

Le complément d'étude vise à compléter la connaissance des flux sur la zone de chalandise du projet de demi échangeur de Langeais Nord.

Le scénario comporte aussi une modification quant à la prise en comptage du péage : le demi-échangeur de Langeais Nord est considéré libre de péage.

2.3.4.1. Campagne d'enquêtes de février 2022

2.3.4.1.1. Enquêtes O-D par interview réalisées en février 2022

En complément des enquêtes OD réalisées en septembre 2019, une campagne d'enquêtes complémentaires a été réalisée sur le secteur Nord-Est de Langeais. Elle vise à affiner la connaissance sur les flux sur le secteur. Les postes d'enquêtes sont illustrés sur le plan ci-après :

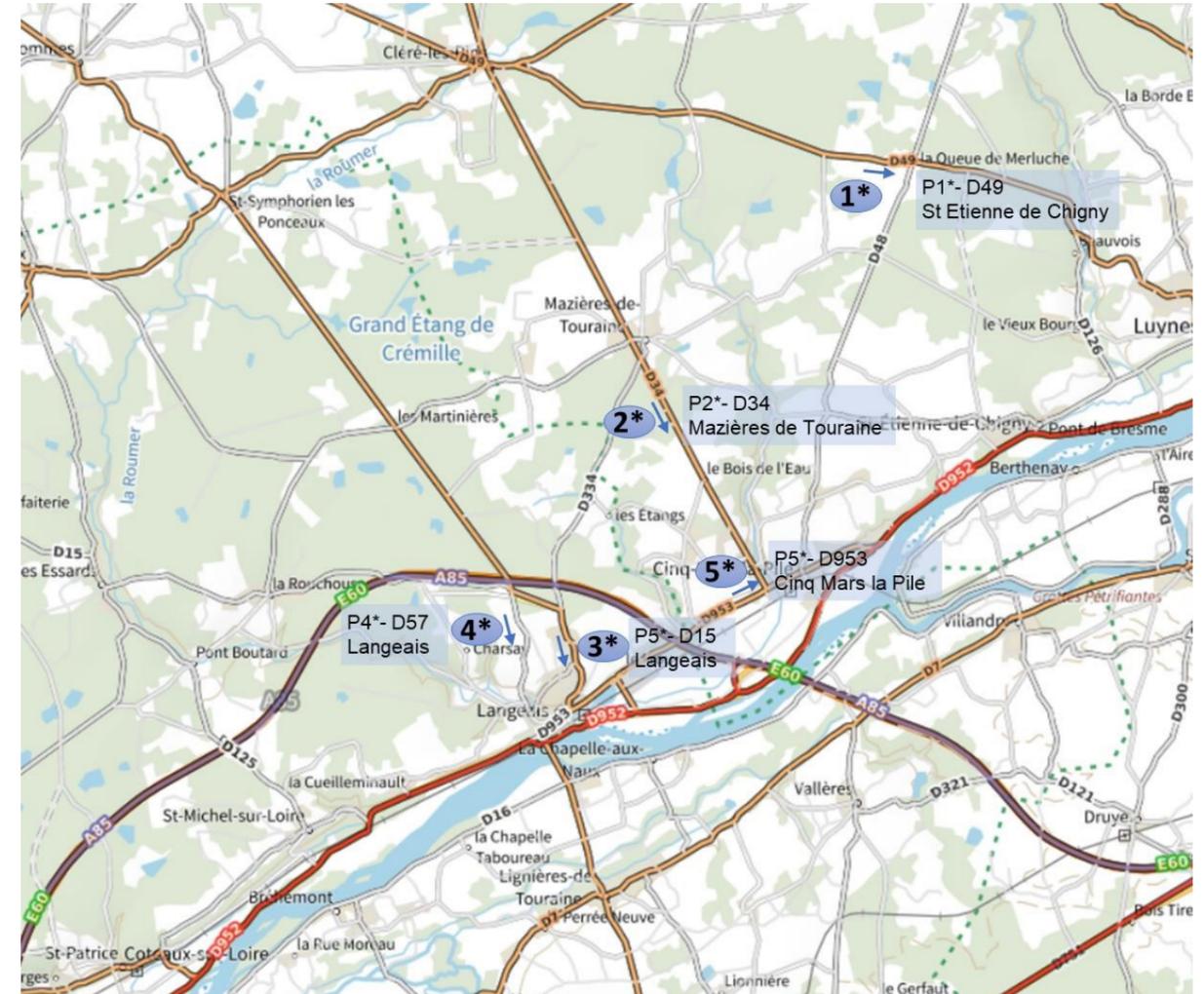


Figure 30 : Localisation des postes d'enquête Origine-Destination par interview réalisés en février 2022

Les taux de sondage obtenus sont élevés et tous supérieurs à 20% sur l'ensemble des postes.

Le trafic PL est plutôt faible sur les différents postes d'enquêtes. Les taux de sondage PL obtenus sont élevés à l'exception du poste 2* sur lequel un taux de sondage PL s'élève à 17%.

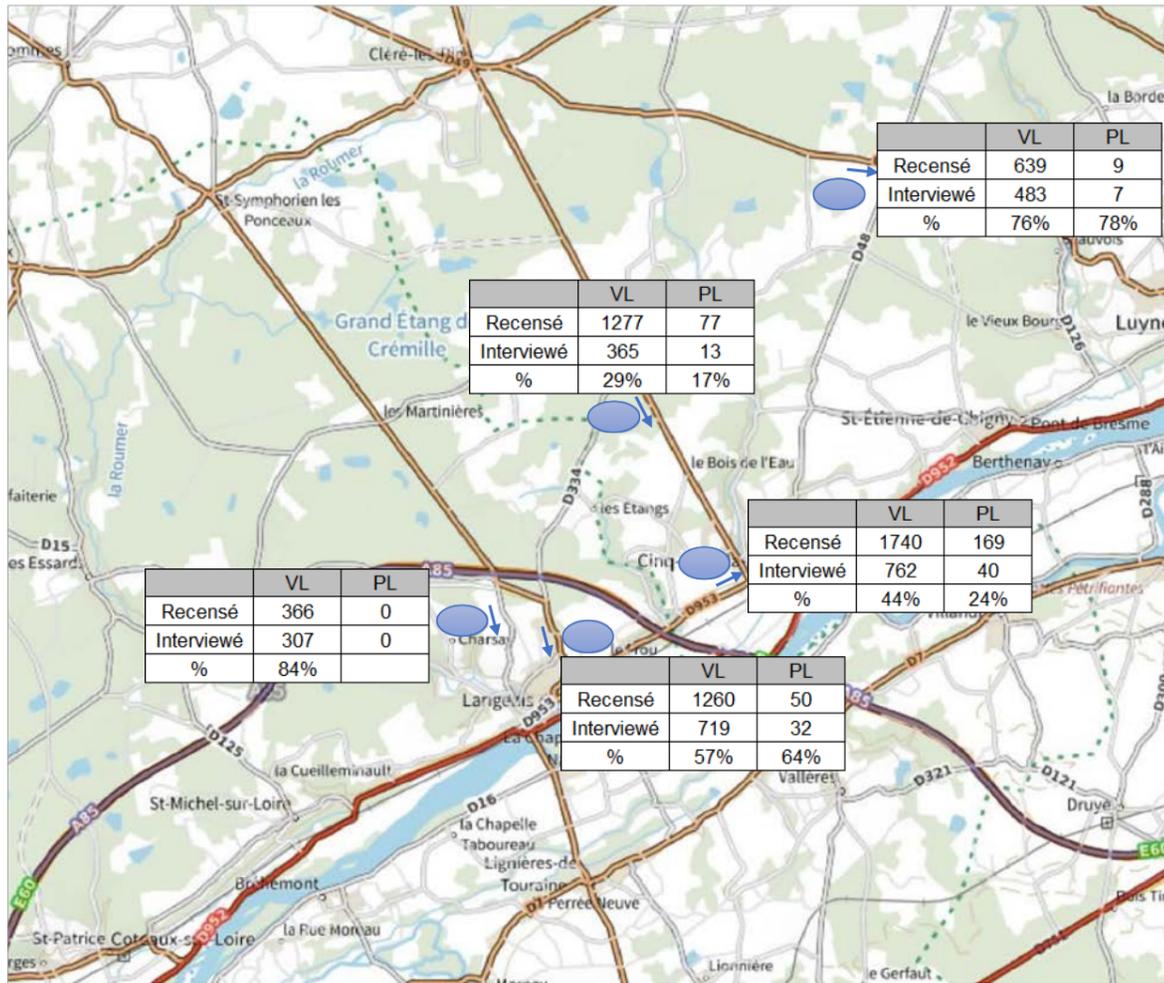


Figure 31 : Localisation des postes d'enquête OD et taux de sondage obtenus en février 2022

En complément des 5 postes ci-dessus, un poste d'enquête OD dédié au trafic PL a été réalisé sur la rue Niel Armstrong, 27 PL ont pu être interviewés sur 30 PL recensés dans le sens sortant de la zone d'activité sur la période 7h-19h de la journée d'enquête. Le tableau ci-après présente les destinations des PL interviewés :

Destination	Pourcentage
Agglomération de Tours	38%
Département d'Indre et Loire hors agglomération de Tours	35%
Département de Maine et Loire	12%
Autres destination	15%

On constate que le trafic PL généré par la zone d'activité Niel Armstrong est plutôt local avec une majorité de trafic interne au département d'Indre et Loire.

2.3.4.1.2. Comptages automatiques

Les postes d'enquête OD par interview ont été doublés par des comptages automatiques. Les comptages ont été réalisés dans les deux sens avec distinction VL/PL sur la période du jeudi 24 février au mercredi 02 mars 2022.

En complément, des comptages ponctuels ont été réalisés autour des projets de demi-échangeurs de Restigné et de Langeais :



Figure 32 : Localisation des comptages complémentaires

2.3.4.2. Mise à jour du calage

Les résultats des enquêtes OD par interview et des comptages ont été intégrés au modèle de trafic. Les modifications portent principalement sur les relations OD qui n'ont pas été enquêtées.

Le calage du modèle a été complété sur les nouveaux postes d'enquêtes OD par interview :

2.3.4.2.1. Calage de temps de parcours

La qualité du calage de temps de parcours reste très proche de celle du calage initial :

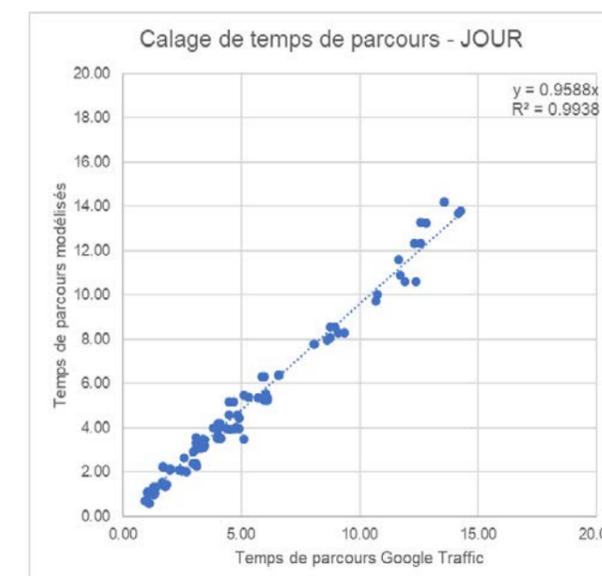


Figure 33 : Comparaison temps parcours VL relevés et modélisés – période JOUR (mise à jour)

Les temps de parcours sont correctement modélisés dans le modèle avec un coefficient de détermination de $R^2=0.96$.

2.3.4.2.2. Calage de débit

Les graphiques et tableau ci-après présentent les résultats de calage en débit pour VL et PL, incluant les nouveaux postes d'enquête OD par interview :

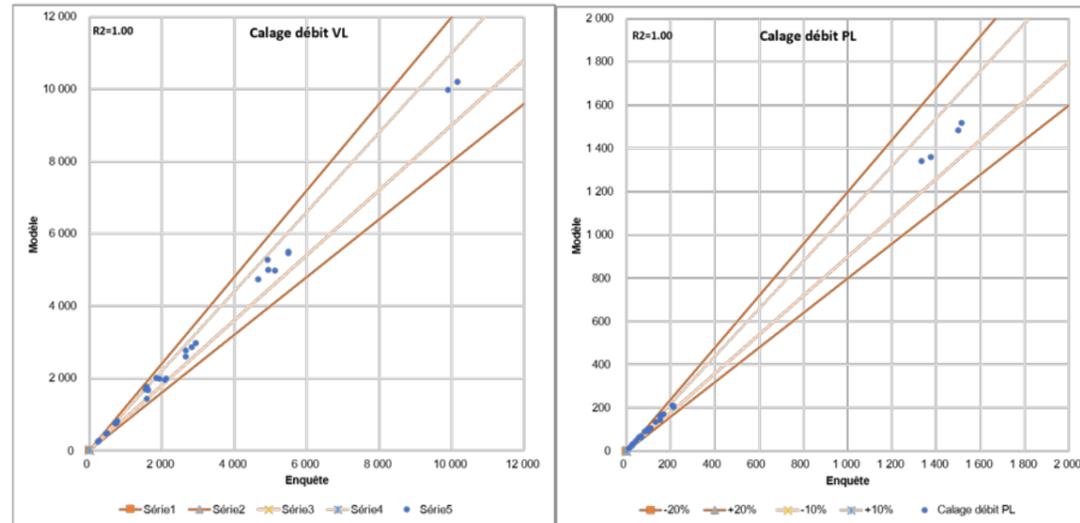


Figure 34 : Comparaison comptages automatiques – charges de trafic modélisées

Section	Observation 2019			Modélisation 2019			Ecart %			GEH		
	VL	PL	TV	VL	PL	TV	VL	PL	TV	VL	PL	TV
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Est Sortie	759	155	913	756	158	914	0%	2%	0%	0	0	0
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Est Entrée	769	157	926	810	159	969	5%	2%	5%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Ouest Sortie	492	100	592	477	103	579	3%	3%	2%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Bourgueil Ouest Entrée	454	96	550	450	99	549	1%	3%	0%	0	0	0
A85- Bourgueil-Restigné (BPV Restigné)	5 495	1 377	6 872	5 479	1 359	6 838	0%	1%	0%	0	1	0
A85- Restigné- Bourgueil (BPV Restigné)	5 489	1 337	6 826	5 459	1 340	6 799	1%	0%	0%	0	0	0
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Est Sortie	4 939	209	5 148	4 989	208	5 198	1%	0%	1%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Est Entrée	4 656	170	4 825	4 723	169	4 892	1%	0%	1%	1	0	1
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Ouest Sortie	240	46	285	236	47	283	1%	3%	1%	0	0	0
A85-1/2 Echangeur Cinq Mars la Pile Ouest Entrée	263	34	296	257	32	289	2%	4%	2%	0	0	0
A85- Cinq Mars la Pile - Villandry	9 911	1 503	11 413	9 966	1 481	11 447	1%	1%	0%	1	1	0
A85- Villandry - Cinq Mars la Pile	10 166	1 516	11 682	10 191	1 517	11 708	0%	0%	0%	0	0	0
D35 Saint Nicolas de Bourgueil vers l'Est	2 656	153	2 809	2 757	142	2 899	4%	7%	3%	2	1	2
D35 Saint Nicolas de Bourgueil vers l'Ouest	2 666	153	2 819	2 580	164	2 743	3%	7%	3%	2	1	1
D952 La Chapelle sur Loire vers l'Est	1 595	27	1 622	1 746	27	1 773	9%	2%	9%	4	0	4
D952 La Chapelle sur Loire vers l'Ouest	1 557	27	1 584	1 673	24	1 697	7%	11%	7%	3	1	3
D952 Ouest Langeais vers l'Est	2 936	69	3 005	2 952	63	3 015	1%	9%	0%	0	1	0
D952 Ouest Langeais vers l'Ouest	2 836	69	2 905	2 841	62	2 903	0%	10%	0%	0	1	0
D952 Est Langeais vers l'Est	5 133	213	5 346	4 966	206	5 172	3%	4%	3%	2	1	2
D952 Est Langeais vers l'Ouest	4 928	213	5 141	5 274	200	5 474	7%	6%	6%	5	1	5
D49 Saint Etienne de Chigny vers l'Est	749	14	763	757	12	769	1%	1%	1%	0	0	0
D49 Saint Etienne de Chigny vers l'Ouest	711	12	723	728	13	741	2%	4%	2%	1	0	1
D34 Mazières de Touraine vers le Sud	1 584	99	1 682	1 425	92	1 517	10%	7%	10%	4	1	4
D34 Mazières de Touraine vers le Nord	1 627	85	1 712	1 651	87	1 738	1%	3%	2%	1	0	1
D15+D57 Langeais vers le Sud	1 941	57	1 998	1 978	62	2 041	2%	9%	2%	1	1	1
D15+D57 Langeais vers le Nord	1 842	67	1 908	2 002	66	2 068	9%	1%	8%	4	0	4
D953 Cinq Mars la Pile vers l'Est	2 094	113	2 207	1 934	104	2 038	8%	8%	8%	4	1	4
D953 Cinq Mars la Pile vers l'Ouest	2 116	134	2 249	1 970	131	2 100	7%	2%	7%	3	0	3

L'exercice du calage des postes D15 et D57 est en effet limité par le fait qu'ils se trouvent sur deux routes en parallèle et proches à l'intérieur de la zone Langeais Nord. Il est proposé de regrouper ces deux postes pour le calage de volume et de répartition OD.

- Les R^2 obtenus sont proches de 1,00 à la fois pour les VL et pour les PL.
- Les écarts en pourcentage modélisés/comptages sont inférieurs à 5% sur les sections courantes et bretelles d'autoroute et inférieurs à 10% sur les sections départementales à l'exception du poste D952 La Chapelle sur Loire vers l'Ouest où l'écart modélisé/comptage PL s'élève à -11%. Cependant cela concerne un volume très faible de 3 PL.
- Les indicateurs GEH obtenus sont tous inférieurs à 5.

2.3.4.2.3. Calage macro Origine-Destination par poste

Le calage macro OD a été réalisé également pour les cinq nouveaux postes d'enquête OD sur la base du même macrozonage que celui utilisé pour le calage initial :

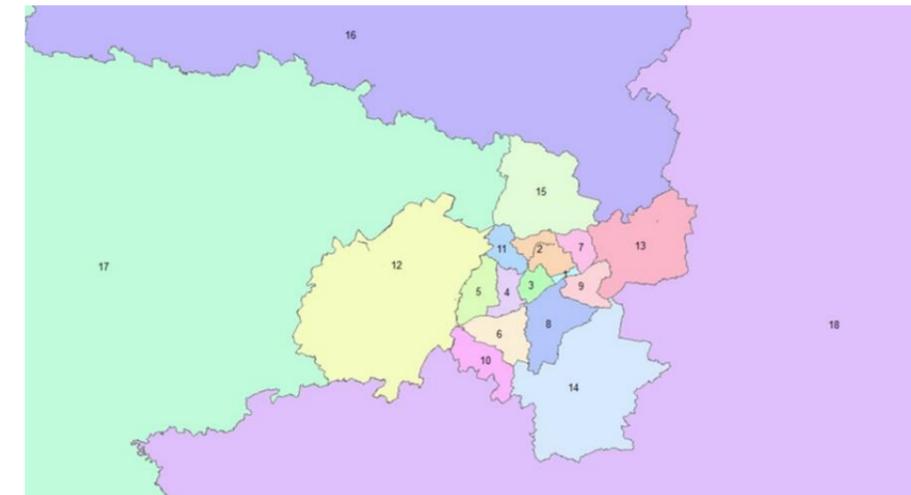


Figure 35 : Macro-zonage utilisé pour la vérification du calage

❖ Poste 1* : D49 – Saint Etienne de Chigny

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 1 :

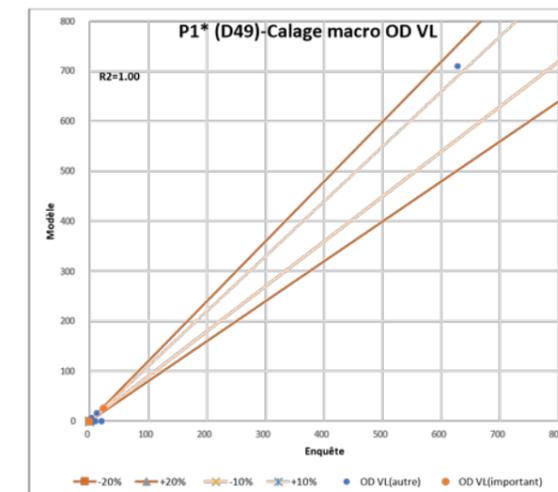


Figure 36 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 1*

❖ **Poste 2* : D34 Mazières de Touraine**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 2* :

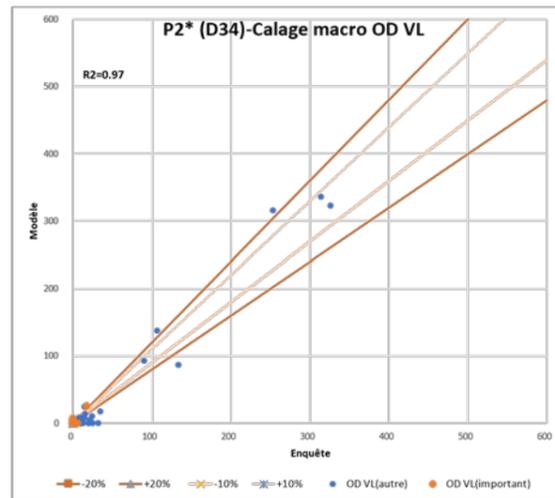


Figure 37 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 2

❖ **Poste 3* + 4* : D15+D57 Langeais**

En raison de la proximité entre les deux postes d'enquête D15 et D57 Langeais qui sont tous les deux à l'intérieur de la zone Langeais Nord sur deux itinéraires en parallèle dans le sens Nord-Sud. La calage OD est regroupé sur ces deux postes.

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 3* + 4* :

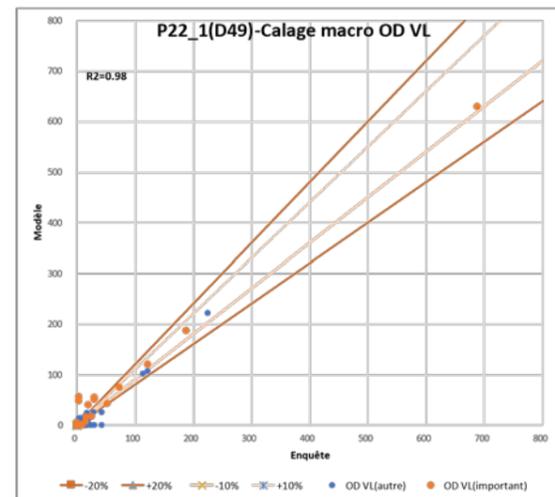


Figure 38 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 3* + 4*

❖ **Poste 5* : D334 Cinq Mars la Pile**

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage en macro O-D sur le poste 5* :

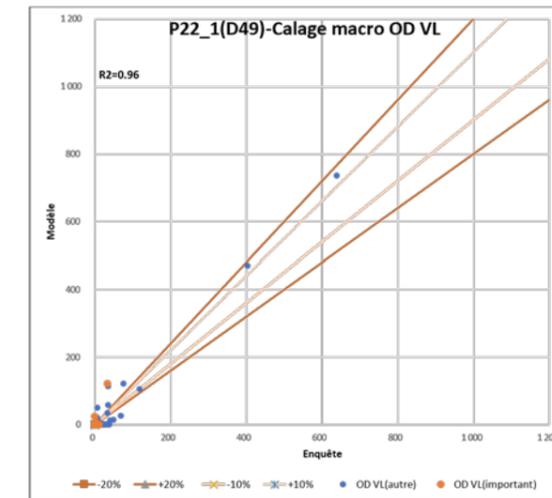


Figure 39 : Comparaison valeurs enquêtées et modélisées pour les macro-OD du poste 4

Les graphiques montrent les R² obtenus sont tous supérieurs à 0,95 pour les VL.

Etant donné que le volume du trafic PL dans le périmètre d'étude n'est suffisamment significatif pour un calage OD. La vérification du calage OD porte uniquement sur les VL.

La qualité du calage OD sur les postes enquêtés en 2019 reste inchangée.

2.4. Étude acoustique

2.4.1. Introduction

Étude de la situation actuelle : L'objet de l'étude est d'établir un constat de référence de l'environnement préexistant dans la zone d'étude du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné. Le projet se situe sur la commune de Coteaux-sur-Loire dans le département d'Indre-et-Loire dans la Région Centre-Val de Loire.

L'étude consiste à caractériser la situation sonore actuelle dans l'aire d'étude, basée sur une campagne de mesures acoustiques et sur une modélisation acoustique. L'objectif principal de cette étude est d'identifier et de localiser les zones d'ambiance sonore préexistantes selon l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières.

Étude d'impact acoustique : L'objet de l'étude est de présenter l'analyse prévisionnelle de l'étude acoustique dans le cadre du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné. Le projet se situe sur la commune de Coteaux-sur-Loire dans le département d'Indre-et-Loire dans la Région Centre-Val de Loire.

L'étude d'impact acoustique consiste à :

- Réaliser une analyse prévisionnelle des niveaux sonores à l'aide d'une modélisation en trois dimensions de la zone d'étude du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné,
- Apprécier l'impact acoustique du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné sur les bâtiments riverains existants et de dimensionner des protections acoustiques réglementaires, si nécessaire,
- Évaluer l'impact indirect du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné dans la traversée de Le Clos du Poète en déterminant si des nouveaux Points Noirs du Bruit liés à la création du projet apparaissent.

D'une manière générale, il est fait référence à la réglementation en vigueur, à savoir :

- Les articles L571-1 à L571-26 du livre V du Code de l'environnement, notamment les articles L571-9 et L571-10 relatifs aux aménagements et infrastructures de transports terrestres ;
- Les articles R571-44 à R571-52 du livre V du Code l'Environnement reprenant le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 ;
- L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières ;
- La circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national ;
- La circulaire du 21 juin 2001 relative à la résorption des points noirs du bruit des transports terrestres ;
- La circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures de transports terrestres ;
- L'arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit ;
- L'arrêté du 3 septembre 2013 illustrant par des schémas et des exemples les articles 6 et 7 de l'arrêté du 30 mai 1996 modifié relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit.

L'étude de la situation actuelle fait également référence aux normes de mesurages suivantes :

- La norme NF S 31-010 de décembre 1996 « Caractérisation et mesurage du bruit dans l'environnement - Méthodes particulières de mesurage » amendée par la version NF S 31-010/A1 pour ce qui concerne la prise en compte des données météorologiques ;
- La norme NF S 31-110 de novembre 2005 « Caractérisation et mesurage des bruits dans l'environnement - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation » ;
- La norme NF S 31-085 de novembre 2002 « Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier ».

Les études intègrent, conformément aux textes réglementaires, les indicateurs acoustiques suivants :

- LA_{eq} (6h-22h) pour la période de jour,
- LA_{eq} (22h-6h) pour la période de nuit ;
- L_{night} indicateur européen de nuit ;
- L_{den} indicateur européen sur les 24 heures.

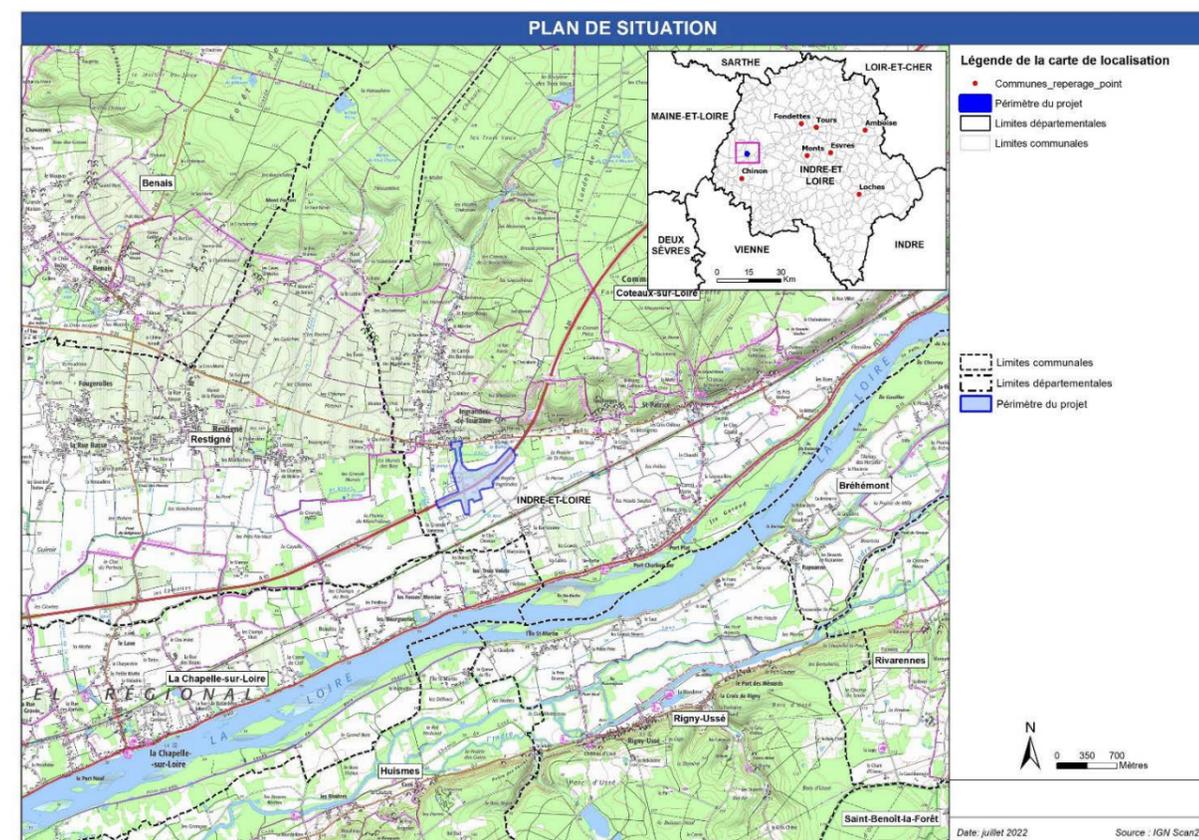


Figure 40 : Situation du projet de création du demi-diffuseur de Restigné

2.4.2. Généralités sur le bruit

Le son est une onde acoustique qui est la propagation d'une variation de la pression dans l'air. Il peut être caractérisé par :

- Sa force perçue, son volume ou son amplitude (dépendant de son intensité), exprimé en décibel (dB) ;
- Sa hauteur appelée fréquence, exprimée en hertz (Hz) permettant de distinguer les sons graves des sons aigus ;
- Sa durée, mesurée en unité de temps, permettant de distinguer les sons brefs des sons persistants.

Le son devient un bruit lorsqu'il produit une sensation auditive considérée comme désagréable, gênante ou dangereuse pour la santé. Le bruit est un phénomène complexe à appréhender : la sensibilité au bruit varie en effet selon un grand nombre de facteurs :

- La mesure des bruits eux-mêmes (l'intensité, la fréquence, la durée, ...)
- La perception de la gêne sonore liée à la personne qui entend (sensibilité personnelle, état de fatigue, ...)
- Les conditions d'exposition (distance, hauteur, forme de l'espace, autres bruits ambiants, ...).

2.4.2.1. Niveaux de pression acoustique

L'oreille perçoit la variation de pression engendrée par l'onde l'acoustique. Cette variation de pression est appelée pression acoustique. Elle s'exprime en Pascal (Pa), mais cette unité n'est pas pratique puisqu'il existe un facteur d'un million entre les sons les plus faibles et les sons les plus élevés qui peuvent être perçus par l'oreille humaine.

Ainsi, pour plus de facilité, le décibel (dB) qui a une échelle logarithmique et permet de comprimer cette gamme entre 0 et 140, est utilisé.

Ce niveau de pression, exprimé en dB, est défini par la formule suivante :

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2$$

Équation 1 : Formule du niveau de pression acoustique L_p

où p est la pression acoustique efficace (en Pascals).

p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa).

Il compare la pression acoustique instantanée à une pression de référence correspondant au seuil d'audition. Le niveau 0 dB correspond à un son pratiquement imperceptible : tous les niveaux sonores sont des nombres positifs.

2.4.2.2. Fréquence d'un son

La fréquence correspond au nombre de vibrations par seconde d'un son. Elle est l'expression du caractère grave ou aigu du son et s'exprime en Hertz (Hz).

La plage de fréquence audible pour l'oreille humaine est comprise entre 20 Hz (très grave) et 20 000 Hz (très aigu). En dessous de 20 Hz, se situe dans le domaine des infrasons et au-dessus de 20 000 Hz dans celui des ultrasons. Infrasons et ultrasons sont inaudibles pour l'oreille humaine.

2.4.2.3. Pondération A

L'oreille humaine n'est pas sensible de la même façon à toutes les fréquences d'un son : elle est beaucoup plus sensible aux fréquences aiguës qu'aux graves.

Deux sons de même intensité mais de fréquences différentes provoquent une sensation de force sonore différente.

Afin de prendre en compte ces particularités de l'oreille humaine, la pondération A est utilisée. Il s'agit d'appliquer un « filtre » défini par la pondération fréquentielle suivante :

Fréquence	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz
Pondération A	-26	-16	-8,5	-3	0	+1	+1	-1

Pondération fréquentielle A

Les niveaux sonores sont alors exprimés en **dB (A), ou décibel pondéré A**.

2.4.2.4. Arithmétique

L'échelle logarithmique du décibel induit une arithmétique particulière. En effet, les décibels ne peuvent pas être directement additionnés :

$$60 \text{ dB(A)} + 60 \text{ dB(A)} = 63 \text{ dB(A)} \text{ et non } 120 \text{ dB(A)} !$$

Quand deux sources de même niveau sonore sont additionnées, le résultat global augmente de 3 décibels.

$$60 \text{ dB(A)} + 70 \text{ dB(A)} = 70 \text{ dB(A)}$$

Si deux niveaux de bruit sont émis par deux sources sonores, et si l'une est au moins supérieure de 10 dB(A) par rapport à l'autre, le niveau sonore résultant est égal au plus élevé des deux (effet de masque).

Notons que l'oreille humaine ne perçoit généralement pas de différence d'intensité pour des écarts d'au moins 2 dB(A).

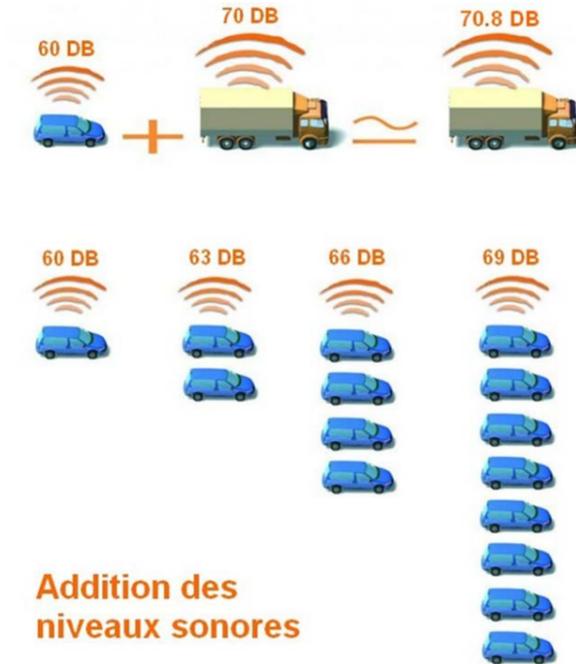


Figure 41 : Arithmétique du décibel

2.4.2.5. Échelle de bruit

L'échelle suivante permet de comparer les niveaux sonores rencontrés en milieu intérieur et extérieur.

Les niveaux de pression acoustique dans l'environnement extérieur s'étagent entre 30 et 35 dB(A) pour les nuits calmes à la campagne. Les niveaux de bruit généralement rencontrés en zone urbaine sont situés dans une plage de 55 à 85 dB(A).

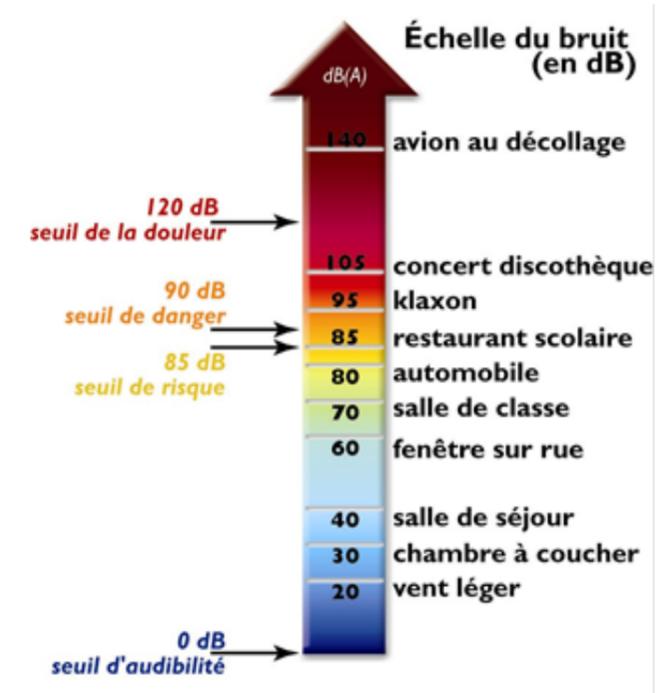


Figure 42 : Échelle des niveaux sonores (source : Ademe)

2.4.2.6. Indicateurs L_{Aeq}

Les niveaux de bruit dans l'environnement varient constamment, ils ne peuvent donc être décrits aussi simplement qu'un bruit continu.

Afin de les caractériser simplement, le niveau équivalent exprimé en dB(A) est utilisé, noté L_{Aeq} . Il représente le niveau de pression acoustique d'un bruit stable de même énergie que le bruit réellement perçu pendant la durée d'observation.

Il est défini par la formule suivante, pour une période T :

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

Équation 2 : Formule de calcul du L_{Aeq}

où $L_{Aeq,T}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A déterminé pour un intervalle de temps T qui commence à t_1 et se termine à t_2 .

- p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa).
- $p_A(t)$ est la pression acoustique instantanée pondérée A.

2.4.2.7. Indicateurs réglementaires pour le bruit des infrastructures de transports

Les indicateurs actuels de la réglementation française relative au bruit des infrastructures de transports terrestres sont les suivants :

- Le $L_{Aeq}(6h-22h)$ pour la période diurne ;
- Le $L_{Aeq}(22h-6h)$ pour la période nocturne.

Les indicateurs $L_{Aeq}(6h-22h)$ et $L_{Aeq}(22h-6h)$ représentent les niveaux d'exposition sonore de jour et de nuit. Ils constituent les indicateurs sur lesquels des objectifs acoustiques réglementaires sont définis pour le bruit des infrastructures de transports terrestres.

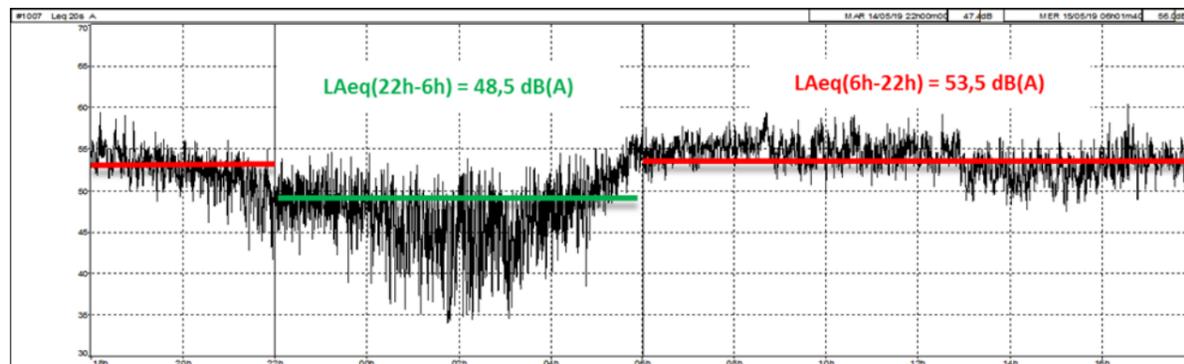


Figure 43 : Représentation de l'évolution temporelle d'un bruit routier et des niveaux sonores L_{Aeq}

Outre ces deux indicateurs, la directive européenne n°2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, transposée en droit français par le décret n°2006-361, introduit les indicateurs complémentaires L_{den} et L_{night} :

L'indicateur L_{den} décrit un niveau de bruit moyen sur une durée de 24 heures qui intègre, avec des pondérations, les niveaux perçus de jour, de soirée et de nuit (day – evening – night).

L'indicateur L_{night} (ou L_n) décrit le niveau de bruit moyen perçu en période de nuit.

$$\text{Où } L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{12}{24} \times 10^{\frac{L_d}{10}} + \frac{4}{24} \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + \frac{8}{24} \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) - 3dB$$

$$\text{Et } L_{Aeq(6h-22h)} = L_{night} + 3dB$$

Équation 3 : Formules de calcul du L_{den} et L_{night}

La mesure ou le calcul des niveaux de bruit selon ces deux indicateurs européens doit être réalisée sans tenir compte de la dernière réflexion acoustique en façade.

2.4.3. Contexte réglementaire

Les articles L 571-1 à L571-26 du livre V du Code de l'Environnement reprenant la loi n°92.1444 du 31 décembre 1992 constituent le cadre de référence pour la prévention des nuisances subies par les riverains des infrastructures. Cette loi se décompose essentiellement en trois volets :

- Traitement du bruit créé par un projet d'infrastructure neuve ou modifiée : tout projet doit intégrer les protections par rapport au bruit qu'il génère.
- Classement des voies bruyantes : toute nouvelle habitation construite à proximité d'une infrastructure bruyante doit « s'auto-protéger » par des isollements inscrits dans le PLU.
- Résorption des Points Noirs Bruit : traitement des zones bruyantes existantes.

2.4.3.1. Textes réglementaires et circulaires

Le présent projet respecte a minima la réglementation acoustique relative à la modification d'infrastructure routière existante, à savoir :

- Les articles L 571-1 à L571-26 du livre V du Code de l'Environnement reprenant la loi n°92.1444 du 31 décembre 1992, notamment l'article L571-9 ;
- Les articles R571-44 à R571-52 du livre V du Code de l'Environnement reprenant le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 ;
- L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières ;
- La circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national ;
- La circulaire du 21 juin 2001 relative à la résorption des points noirs du bruit des transports terrestres ;
- La circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures de transports terrestres.

2.4.3.2. Normes et référentiels techniques

2.4.3.2.1. Normes de calculs acoustiques

- La norme NF S 31-130 de décembre 2008 « Cartographie du bruit en milieu extérieur - élaboration des cartes et représentation graphique » qui définit notamment les codes couleurs pour les représentations cartographiques ;
- La norme NF S 31-132 de décembre 1997 « Méthodes de prévision du bruit des infrastructures de transports terrestres en milieu extérieur – Typologie des méthodes de prévision » ;
- La norme NF S 31-133 de février 2011 « Bruit dans l'environnement - Calcul de niveaux sonores » qui constitue la méthode nationale de référence pour la prévision des niveaux sonores en milieu extérieur, notamment pour les infrastructures de transports terrestres. Elle fait référence à la version révisée de la Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit (NMPB 2008).

2.4.3.2.2. Référentiels techniques

Les référentiels techniques applicables sont les suivants :

- Bruit et études routières manuel du chef de projet – SETRA/CERTU – Octobre 2001 : fixe les méthodologies pour la réalisation des études routières. Ces méthodologies peuvent être transposables, dans une certaine mesure, pour les études acoustiques ferroviaires ;
- Les écrans acoustiques – Guide de conception et de réalisation – CERTU – Décembre 2007 – Cet ouvrage spécifie notamment les performances acoustiques à prendre en compte dans les études selon la destination de l'ouvrage de protection ;
- Guide de prévision du bruit routier – Calcul des émissions sonores dues au trafic routier – SETRA – Juin 2009 ;
- Guide de prévision du bruit routier – Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008) – SETRA – Juin 2009 ;
- Guide du bruit des transports terrestres – Prévision des niveaux sonores CERTU 1980.

2.4.4. Contexte réglementaire applicable

2.4.4.1. Zone d'ambiance sonore préexistante

La définition du critère d'ambiance sonore modérée est donnée dans l'article 2 de l'arrêté du 5 mai 1995 et l'annexe 5 de la circulaire du 12 décembre 1997 :

« Une zone est dite d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant avant la construction de la voie nouvelle, à deux mètres en avant des façades des bâtiments, est tel que LAeq (6 heures-22 heures) est inférieur à 65 dB(A) et LAeq (22 heures-6 heures) est inférieur à 60 dB(A). »

L'application de cette démarche conduit au tableau suivant :

	LAeq(6h-22h)	LAeq(22h-6h)	Ambiance sonore préexistante à considérer
Niveaux sonores existants avant travaux (toutes sources) en dB(A)	< 65 dB(A)	< 60 dB(A)	Modérée
	> 65 dB(A)	< 60 dB(A)	Modérée de nuit
	< 65 dB(A)	> 60 dB(A)	Non modérée
	> 65 dB(A)	> 60 dB(A)	Non Modérée

2.4.4.2. Ambiance sonore préexistante

Une zone est qualifiée d'ambiance sonore modérée si une grande partie des niveaux de bruit ambiant, en façade des logements, respecte les critères définis ci-dessous. L'appréciation de ce critère d'ambiance sonore est à rechercher pour des zones homogènes du point de vue de l'occupation des sols et non pas par façade de bâtiment.

Nota : La qualification des ambiances sonores préexistantes (modérée ou non modérée) conditionne les objectifs de contribution sonore maximale à prendre en compte en cas de création ou modification significative d'infrastructure.

2.4.4.3. Réglementation applicable au projet

Les études acoustiques d'infrastructures routières s'inscrivent dans le cadre réglementaire précis issu des articles L.571-9 et L.571-10 du code de l'environnement, relatifs aux aménagements et infrastructures de transports terrestres, à savoir :

- l'article R.571-32 du code de l'environnement relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres ;
- l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières ;
- la circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national ;
- la circulaire du 12 juin 2001 relative à la résorption des points noirs du bruit des transports terrestres.

Le décret du 9 janvier 1995, relatif à la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, introduit la notion de « transformation significative » et précise ce dernier point (article 2) :

« Est considérée comme significative, la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, résultant d'une intervention ou de travaux successifs, telle que la contribution sonore qui en résulterait à terme, pour au moins une des périodes représentatives de la gêne des riverains (6h-22h, 22h-6h), serait supérieure de plus de 2 dB(A) à la contribution sonore à terme de l'infrastructure avant cette modification ou transformation ».

Le projet du demi-diffuseur de l'autoroute A85 de Restigné s'inscrit dans le cadre d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante.

2.4.4.3.1. Transformation significative d'une infrastructure existante

Le décret du 9 janvier 1995, relatif à la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, introduit la notion de « transformation significative » et précise ce dernier point (article 2) :

« Est considérée comme significative, la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, résultant d'une intervention ou de travaux successifs, telle que la contribution sonore qui en résulterait à terme, pour au moins une des périodes représentatives de la gêne des riverains (6h-22h, 22h-6h), serait supérieure de plus de 2 dB(A) à la contribution sonore à terme de l'infrastructure avant cette modification ou transformation. »

L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières définit dans son article 3 les prescriptions à respecter dans le cas de « transformation significative d'une infrastructure existante » :

« Lors d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante, (...) le niveau sonore résultant devra respecter les prescriptions suivantes :

- Si la contribution sonore de l'infrastructure avant travaux est inférieure aux valeurs prévues, elle ne pourra excéder ces valeurs après travaux ;
- Dans le cas contraire, la contribution sonore après travaux ne doit pas dépasser la valeur existante avant travaux, sans pouvoir excéder 65 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne. »

La circulaire du 12 décembre 1997 précise les objectifs de contributions sonores maximales admissibles selon les types de locaux et les zones d'ambiances sonores préexistantes (issues de l'état initial) et la période :

❖ Période diurne :

Types de locaux		Type de zone d'ambiance préexistante	Contribution sonore initiale de l'infrastructure LAeq (6h-22h)	Contribution sonore maximale admissible après travaux LAeq (6h-22h)
Logements		Modérée	≤ 60 dB(A)	60 dB(A)
			> 60 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 65 dB(A)
		Modérée de nuit ou non modérée	Quelle qu'elle soit	65 dB(A)
Établissements de santé, de soins et d'action sociale	Salles de soins et salles réservées au séjour de malades		≤ 57 dB(A)	57 dB(A)
			> 57 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 65 dB(A)
	Autres locaux		≤ 60 dB(A)	60 dB(A)
			> 60 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 65 dB(A)
Établissements d'enseignement (sauf les ateliers bruyants et les locaux sportifs)			≤ 60 dB(A)	60 dB(A)
			> 60 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 65 dB(A)
Locaux à usage de bureaux		Modérée		65 dB(A)

Objectifs réglementaires en période diurne dans le cadre d'une transformation significative d'une infrastructure routière (circulaire du 12 décembre 1997)

❖ *Période nocturne :*

Types de locaux	Type de zone d'ambiance préexistante	Contribution sonore initiale de l'infrastructure L_{Aeq} (22h-6h)	Contribution sonore maximale admissible après travaux L_{Aeq} (22h-6h)
Logements	Modérée ou modérée de nuit	≤ 55 dB(A)	55 dB(A)
		> 55 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 60 dB(A)
	Non modérée	Quelle qu'elle soit	60 dB(A)
Établissement de santé, de soins et d'action sociale		≤ 55 dB(A)	55 dB(A)
		> 55 dB(A)	Contribution initiale plafonnée à 60 dB(A)

N.B. : pour les locaux qui ne sont pas cités dans l'arrêté et non repris dans ces tableaux, il n'y a pas de valeurs maximales admissibles qui s'appliquent.

Objectifs réglementaires en période nocturne dans le cadre d'une transformation significative d'une infrastructure routière (circulaire du 12 décembre 1997)

2.4.4.4. Points Noirs du bruit des transports terrestres

La résorption des points noirs du bruit est encadrée l'article 41 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009, dite loi Grenelle 1.

« Les points noirs du bruit seront inventoriés. Les plus préoccupants pour la santé feront l'objet d'une résorption dans un délai maximal de sept ans. Afin d'atteindre cet objectif, l'Etat augmentera ses financements et négociera un accroissement des moyens consacrés à la lutte contre le bruit des infrastructures avec les collectivités territoriales et les opérateurs des transports routiers et ferroviaires. »

La définition des Points Noirs du Bruit (PNB) est donnée par l'article D 571-54 du code de l'environnement, l'arrêté du 3 mai 2002, ainsi que la circulaire du 25 mai 2004.

Article D571-54 : « Sont considérés comme points noirs du bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux les bâtiments d'habitation et les établissements d'enseignement, de soins, de santé et d'action sociale répondant à des critères acoustiques et d'antériorité fixés par arrêté conjoint des ministres chargés, respectivement, du budget, des transports, du logement et de l'environnement. »

Un point noir du bruit des réseaux de transports nationaux est un bâtiment sensible qui répond aux critères acoustiques et d'antériorité ci-dessous.

2.4.4.4.1. Critères acoustiques

Un bâtiment peut être qualifié de Point Noir du Bruit si les niveaux sonores mesurés en façade dépassent les valeurs limites suivantes :

Valeurs limites relatives aux contributions sonores dB(A) en façade (si une seule de ces valeurs est dépassée, le bâtiment peut-être qualifié de point noir)			
Indicateurs de bruit	Route et/ou LGV	Voie ferrée conventionnelle	Cumul Route et/ou LGV + Voie ferrée conventionnelle
$L_{Aeq}(6h-22h)$	70	73	73
$L_{Aeq}(22h-6h)$	65	68	68

L_{den}	68	73	73
L_{night}	62	65	65

Valeurs limites des PNB (Circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures de transports terrestres)

2.4.4.4.2. Critères d'antériorité

Sont considérés comme satisfaisant aux conditions d'antériorité requises pour être qualifiés de points noirs du bruit du réseau national des transports terrestres, les bâtiments sensibles suivants :

- Les locaux d'habitation dont la date d'autorisation de construire est antérieure au 6 octobre 1978 ;
- Les locaux d'habitation dont la date d'autorisation de construire est postérieure au 6 octobre 1978 tout en étant antérieure à l'intervention de toutes les mesures visées à l'article 9 du décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 et concernant les infrastructures des réseaux routier et ferroviaire nationaux auxquelles ces locaux sont exposés ;
- Les locaux des établissements d'enseignement, de soins, de santé et d'action sociale dont la date d'autorisation de construire est antérieure à la date d'entrée en vigueur de l'arrêté préfectoral les concernant pris en application de l'article L. 571-10 du code de l'environnement.

Lorsque les locaux d'habitation, d'enseignement, de soins, de santé ou d'action sociale ont été créés dans le cadre de travaux d'extension ou de changement d'affectation d'un bâtiment existant, l'antériorité doit être recherchée pour ces locaux en prenant comme référence leur date d'autorisation de construire et non celle du bâtiment d'origine.

2.4.4.4.3. Objectifs acoustiques de résorption des Points Noirs du Bruit

Dans le cadre d'une action de résorption d'une situation de point noir du bruit, les objectifs en terme de niveaux sonores à 2 m en avant des façades sont les suivants:

Objectifs acoustiques relatifs aux contributions sonores dans l'environnement après actions de réduction du bruit à la source			
Indicateurs de bruit	Route et/ou LGV	Voie ferrée conventionnelle	Cumul Route et/ou LGV + Voie ferrée conventionnelle
$L_{Aeq}(6h-22h)$	65	68	68
$L_{Aeq}(22h-6h)$	60	63	63
$L_{Aeq}(6h-18h)$	65	-	-
$L_{Aeq}(18h-22h)$	65	-	-

Objectifs relatifs aux contributions sonores dans l'environnement après actions de réduction du bruit à la source (Circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures de transports terrestres)

2.4.5. Méthodologie de l'étude d'impact

2.4.5.1. Déroulement de la campagne de mesure

Les mesures acoustiques ont été effectuées en conformité à la norme NFS 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits dans l'environnement et à la norme NFS 31-085 relative à la caractérisation et au mesurage du bruit dû au trafic routier.

Les appareils de mesures utilisés sont des sonomètres analyseurs statistiques de type SOLO (classe I) de la société ACOEM ; les données sont ensuite traitées et analysées sur informatique. L'ensemble de ces appareils de mesures fait l'objet d'un contrat de

maintenance impliquant des contrôles de calibrage annuels par le constructeur ainsi qu'une certification biannuelle par le Laboratoire National d'Essais.

La campagne de mesures s'est déroulée du 28 juin au 07 juillet 2022. Il a été réalisé 6 Points Fixes en façade de bâtiments. Il s'agit de mesures de 24h qui permettent de calculer les niveaux sonores selon les indicateurs réglementaires LAeq (6h-22h), LAeq (22h-6h), Lnight et Lden.

Conformément à la norme de mesurage NFS 31-085, des comptages routiers ont été réalisés conjointement aux mesures de bruit par le bureau d'études Trafic Alyce Pendant la campagne de mesures acoustiques, la circulation était normale et représentative d'une situation hors congés scolaires.

Les conditions météorologiques ont été relevées pendant la durée de la campagne de mesures à la station Météo France la plus proche, à Tours, durant l'intégralité de la période de mesurage.

Les conditions météorologiques étaient les suivantes : Températures comprises entre 8 et 30°C, ciel nuageux à dégagé, faibles précipitations du 29/06 au 1/07.

2.4.5.2. Analyse prévisionnelle

2.4.5.2.1. Méthode d'analyse

Le projet du demi-diffuseur de l'autoroute A85 de Restigné constitue un cas de transformation d'infrastructure existante dans le cadre réglementaire d'une transformation d'infrastructures routières existantes au sens de l'arrêté du 5 mai 1995.

Afin d'étudier l'effet acoustique du projet de demi-diffuseur de Restigné, deux situations sont prises en compte :

- Etat dit « de référence » : situation à terme (mise en service à + 20 ans) sans la réalisation du projet en tenant compte de l'évolution estimée du trafic « au fil de l'eau ».
- Etat « avec projet » : situation à terme (mise en service à + 20 ans) intégrant la réalisation du projet de demi-diffuseur de l'autoroute A85 à Restigné et le trafic estimé avec le projet de demi-diffuseur de Retigné à terme.

Ces deux situations sont ainsi comparées afin de définir si la modification est significative (augmentation des niveaux sonores à terme avec projet par rapport aux niveaux sonores à terme sans modification supérieure à 2 dB(A)). Si la transformation n'est pas significative, il n'y a pas obligation de protection nouvelle.

Cas de Point Noir du Bruit futur

Le projet de création du demi-diffuseur de Restigné ne devrait pas créer de nouveaux Points Noirs du Bruit, notamment dans la traversée du Clos du Poète.

Rappel : Un bâtiment peut être qualifié de point noir du bruit routier si les niveaux sonores en façade dépassent 70 dB(A) pour le LAeq(6h-22h), 65 dB(A) pour le LAeq(22h-6h), 68 pour le Lden, 62 pour le Ln. Ne sont concernés que les bâtiments dits sensibles de type bâtiment d'habitation, de santé, de soins, d'enseignement ou d'action sociale (crèches, foyers d'accueil...) présentant un critère d'antériorité par rapport à l'infrastructure concernée.

En sont exclus les bâtiments de bureaux, industriels ou commerciaux, les ateliers bruyants et locaux sportifs.

2.4.5.3. Modélisation acoustique

L'estimation des niveaux sonores prévisionnels est réalisée à partir de la modélisation de la zone d'étude en trois dimensions à l'aide du logiciel CadnaA (V2021) conforme à la norme NF S 31-133 de février 2011 et à la NMPB 2008.

Ce logiciel répond des guides suivants du SETRA :

- « Prévision du bruit routier - Calculs des émissions sonores dues au trafic routier (édition de juin 2009) » ;
- « Prévision du bruit routier - Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008) ».

Cette modélisation tient compte :

- Des émissions sonores de la route qui sont calculées en fonction des paramètres de trafics (nombre de véhicules, pourcentage PL, vitesse...) sur la période considérée ;
- De la propagation acoustique en trois dimensions selon les configurations des voies (en déblai, en remblai, au terrain naturel, en trémie, viaduc), de l'exposition des bâtiments selon la topographie du site (distance, hauteur, exposition directe ou indirecte), de la nature du sol et de l'absorption dans l'air ;
- Des caractéristiques de l'urbanisme ; les simulations considèrent le bâtiment étudié en présence des autres bâtiments voisins et les effets éventuels de masque ou de réflexion dus aux autres bâtiments ;
- Des conditions météorologiques (NMPB 2008).

2.4.5.3.1. Données d'entrée et paramètres de calculs

La modélisation de la zone d'étude et les simulations acoustiques ont été réalisées à partir des données initiales disponibles suivantes :

- **Topographie du site** : Le modèle numérique intègre des levés topographiques au droit du projet du demi-diffuseur de Restigné. Au-delà de la section de l'autoroute A85, la topographie est complétée par la BD TOPO de l'IGN. Le viaduc de la Perrée est inclus dans le modèle numérique.
- **Bâtiments** : Les bâtiments sont issus de la couche Bati de la BD Topo de l'IGN ; des compléments sont apportés par le recensement du bâti pour les bâtiments récents non disponibles dans la BD Topo.
- **Tracé en 3D du projet de demi-diffuseur de Restigné** : Demi-diffuseur Restigné RD71_export 3D.dwg
- **Données de trafic routier** : Les résultats des comptages routiers effectués lors des mesures acoustiques et les données de trafics issues de l'étude de trafic du Bureau d'Etudes Arcadis réalisée en 2022 (19-000616_A85 Restigne_rapport etude de trafic_3b_EVER_TPN v2.pdf). Les données de trafic de la situation actuelle sont utilisées pour le calage du modèle numérique et le calcul acoustique de la situation sonore actuelle. Concernant les hypothèses de trafics, le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) 2045 et les coefficients de répartition utilisés pour retranscrire les trafics TMJA sur les périodes (6h-22h), (22h-6h) ont été fournis par Vinci Autoroute.

Répartition du trafic (6h-22h) et (22h-6h) : réalisée sur la base des comptages disponibles.

Les hypothèses de trafic prises en compte pour la modélisation de la situation actuelles sont les suivantes :

Trafic 2022	TMJA TV	% PL	Répartition (6h-22h)		Répartition (22h-6h)	
			Tous Véhicules	% PL	Tous Véhicules	% PL
A85 - Langeais-Bourgueil	7682	15.3%	444	13.2%	73	41.5%
A85 - Bourgueil-Langeais	7883	15.4%	457	14.2%	72	30.4%
D35 - Ouest	2584	2.1%	153	2.0%	18	4.0%
D35 - Est	2287	2.3%	135	2.2%	17	4.5%
D71	433	1.9%	26	2.0%	3	1.3%

Les hypothèses de trafic prises en compte pour les modélisations à l'horizon 2045 sont les suivantes :

- Etat dit « de référence » : situation au « fil de l'eau » à l'horizon 2045

Trafic 2045	TMJA TV	% PL	Répartition (6h-22h)		Répartition (22h-6h)	
			Tous Véhicules	% PL	Tous Véhicules	% PL
A85 - Restigné-Bourgueil	7 541	14.4%	436	12.3%	70	39.7%
A85 - Bourgueil-Restigné	7 584	14.5%	440	13.4%	68	28.9%
A85 - Langeais Nord-Restigné	7 541	14.4%	436	12.3%	70	39.7%
A85 - Restigné-Langeais Nord	7 584	14.5%	440	13.4%	68	28.9%
D35 - Ouest	2 793	2.4%	165	2.6%	20	0.3%
D35 - Est	2 452	2.1%	144	2.2%	18	0.8%
D71	533	1.5%	32	1.5%	3	1.0%

Hypothèses de trafics prises en compte pour la modélisation de l'état de référence

- Etat projet : situation future avec le projet de demi-diffuseur de Restigné à l'horizon 2045

Trafic 2045	TMJA TV	% PL	Répartition (6h-22h)		Répartition (22h-6h)	
			Tous Véhicules	% PL	Tous Véhicules	% PL
A85 - Restigné-Bourgueil	7 018	13.7%	406	11.8%	64.5	38.4%
A85 - Bourgueil-Restigné	6 997	14.1%	406	13.0%	62.6	28.1%
A85 - Langeais Nord-Restigné	7 859	13.9%	455	11.9%	72.4	38.7%
A85 - Restigné-Langeais Nord	7 853	14.0%	456	12.9%	70.3	28.1%
A85 – Bretelle Est Sortie	841	14.9%	49	12.8%	7.9	40.6%
A85 – Bretelle Est Entrée	856	13.8%	50	12.7%	7.6	27.7%
D35 - Ouest	3 895	7.8%	230	8.2%	26.1	1.1%
D35 - Est	1 947	2.2%	115	2.3%	14.0	0.9%
D71	626	1.3%	37	1.3%	3.9	0.9%

Hypothèses de trafics prises en compte pour la modélisation de l'état projet

– **Allure et vitesse de circulation**

- Allure de circulation : fluide.
- Vitesse : limitation de vitesse, soit 130 km/h sur l'A85, 50 km/h dans la traversée du Clos du Poète.
- Bretelle d'accès et de sortie : 70 km/h et selon les données des études de trafic réalisées par Arcadis.

– **Paramètres de calculs**

- Les paramètres de calculs pris en compte dans le logiciel CadnaA (version 2021) sont les suivants :
- Type de sol : G=1,
- Nombre de rayons : 100,
- Distance de propagation : 1000 m,
- Bâtiments réfléchissants,
- Nombre de réflexions : 3,
- Revêtement de chaussée : R2 pour les RD et R1 pour l'A85,
- Prise en compte des effets météorologiques de Tours (ville la plus proche située en Val de Loire),
- Mode calcul : NMPB 2008 – Route (Méthode par balayage angulaire).

2.4.5.4. Validation du modèle numérique

Le calage de la modélisation est effectué pour les deux périodes, 6h-22h et 22h-6h, sur la base des trafics routiers concomitants aux mesures acoustiques réalisées. Cette phase de l'étude a pour objectifs de valider le modèle numérique du site et de consolider les paramètres de calculs.

La validité du modèle est alors vérifiée en comparant les résultats des niveaux sonores des mesures à ceux calculés par le modèle acoustique.

Le manuel du Chef de Projet relatif au bruit et études routières co-édité par le SETRA et le CERTU en octobre 2001 indique que la précision acceptable en usage normal pour un logiciel de propagation acoustique extérieure tel que CadnaA est de ± 2 dB(A) pour des sites simples ou à proximité des voies et peut aller jusqu'à ± 4 dB(A) pour des sites complexes ou à distance des voies.

Les résultats du calage sont présentés dans les tableaux ci-contre

Repère	Commune	Localisation	LAeq (6h-22h) en dB(A)		Delta	LAeq (22h-6h) en dB(A)		Delta
			Mesuré	Calculé		Mesuré	Calculé	
PF1	Coteaux-sur-Loire	15 rue des Trois Volets	52.0	51.0	-1.0	49.5	48.5	-1.0
PF2	Coteaux-sur-Loire	8 rue des Trois Volets	46.5	46.5	0.0	41.5	43.5	2.0
PF3	Coteaux-sur-Loire	36 rue de Touraine	53.0	55.0	2.0	47.0	48.5	1.5
PF4	Coteaux-sur-Loire	rue du Stade	50.5	49.0	-1.5	44.0	46.0	2.0
PF5	Coteaux-sur-Loire	13 rue d'Anjou	57.0	59.0	2.0	49.5	50.5	1.0
PF6	Coteaux-sur-Loire	4 imp. de la Gde Varenne	55.0	53.0	-2.0	50.5	50.0	-0.5

Tableau de résultats du calage

Les écarts entre les niveaux de bruit mesurés et calculés sont d'une manière générale, compris entre -2 et +2 dB(A). Les résultats de calage obtenus permettent donc de valider le modèle et de calculer les niveaux sonores générés en tout point du site.

2.5. Étude air et santé

Dans le cadre de la création d'un nouvel échangeur autoroutier à Restigné au croisement de l'autoroute A85 et de la route départementale D71, un volet « air et santé » est exigé pour la concertation publique. L'objectif de l'étude est d'identifier les sensibilités du secteur et d'évaluer l'impact du projet sous l'angle de la qualité de l'air et de la santé des riverains.

Cette étude a été réalisée par Ingerop entre 2022 et 2023.

La méthodologie générale utilisée pour réaliser l'étude air et santé s'appuie sur la note technique **TRET1833075N** du 22 février 2019. Le contenu de l'étude est défini en fonction :

- Du trafic attendu sur les axes routiers étudiés à l'horizon d'étude retenu,
- De la densité de la population à ses abords,
- La longueur du projet,
- La sensibilité des lieux de vie aux abords du réseau routier.

Les critères énoncés ci-avant permettent de déterminer le niveau d'étude « Air et Santé », ce niveau s'échelonnant de I à IV, respectivement du plus au moins exigeant.

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

Figure 44 : Définition des niveaux d'étude

En complément, le niveau d'étude peut être relevé d'un niveau dans les cas suivants :

- Présence d'un PPA ;
- Population à l'intérieur de la bande d'étude supérieure à 100 000.

De plus, la nouvelle note méthodologique apporte un critère supplémentaire permettant de réduire le niveau d'étude. Dans le cas où le projet ne crée pas de nouvelle voirie mais s'insère dans de l'existant, il est possible d'abaisser le niveau d'étude de 1 ou 2 en fonction de certains paramètres :

- Impact sur le trafic : si le trafic augmente ou induit de la congestion pas de diminution possible, si le trafic augmente de 0 à 10 % diminution d'un niveau, si le trafic baisse diminution de deux niveaux ;
- Modification de la géométrie : si le projet rapproche le trafic de la population aucune modification n'est possible dans le cas contraire, diminution d'un niveau ;
- Sensibilité de la zone : si la qualité de l'air est dégradée (dépassement de la réglementation) sur le secteur abaissement maximal d'un niveau, sinon de deux.

2.5.1. Contexte, objectifs et aire d'étude

La méthodologie de février 2019 permet de définir les axes routiers à intégrer dans l'aire d'étude et ceux permettant de fixer le niveau de l'étude air et santé. Pour se faire, la situation avec projet est comparée avec la situation au fil de l'eau.

Les axes qui vont déterminer le niveau d'étude sont ceux modifiés ou créés et ceux dont le trafic augmente ou diminue de 10%. Pour les axes dont le trafic est inférieur à 5 000 véh/jour, le trafic doit augmenter ou diminuer de 500 véh/jour pour être intégré.

Une fois les axes routiers sélectionnés, la zone d'étude est définie selon le trafic de chaque axe. La largeur de la bande d'étude centrée sur l'axe de la voirie est définie comme suit :

- Trafic inférieur à 10 000 véh/jour : 200 m.
- Trafic compris entre 10 000 et 25 000 véh/jour : 300 m.
- Trafic compris entre 25 000 et 50 000 véh/jour : 400 m.
- Trafic supérieur à 50 000 véh/jour : 600 m.

La carte suivante localise le projet routier de création d'un nouvel échangeur à Restigné. Le projet se situe sur le département d'Indre-et-Loire, dans la communauté des communes Touraine Ouest Val de Loire.

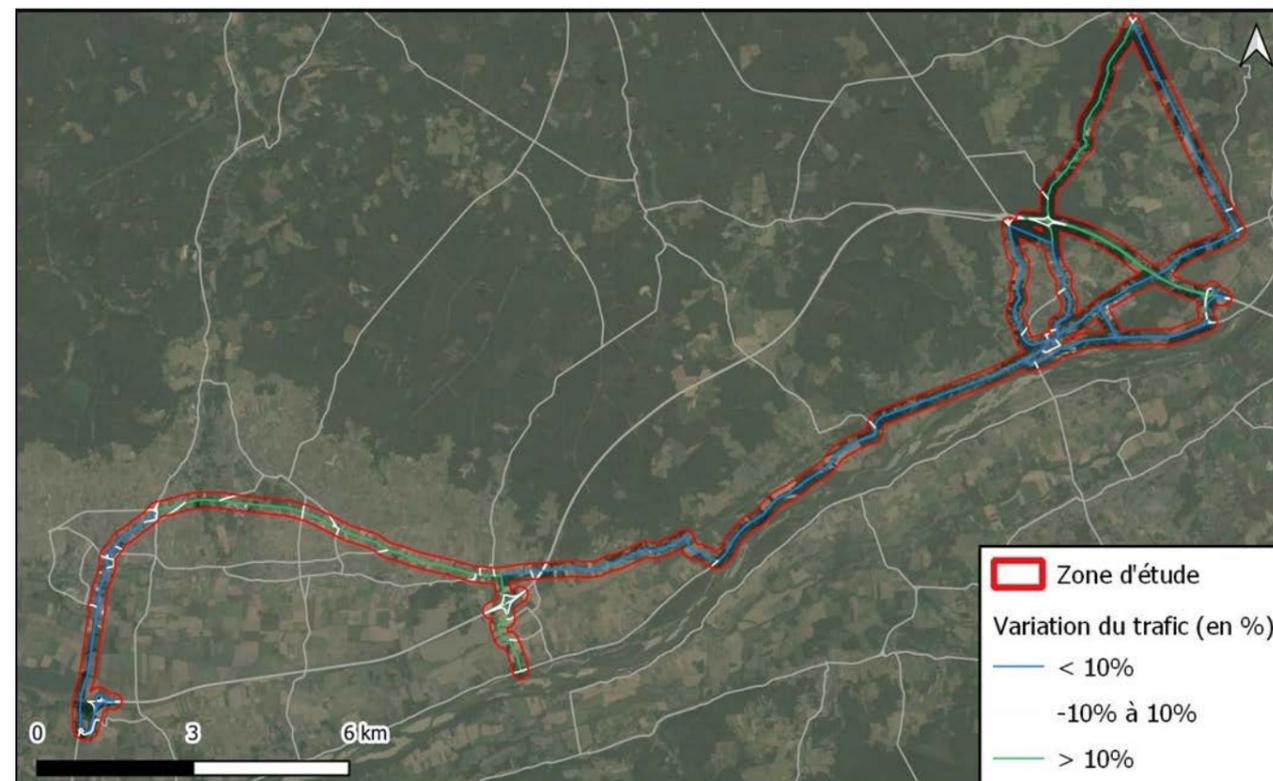


Figure 45 : Carte de localisation du projet

2.5.1.1. Définition du niveau de l'étude et de son contenu

Le niveau d'étude dépend du trafic routier impacté et la densité de population. Le projet traverse des secteurs dont la densité maximale est de 2 000 hab/km². Compte tenu de la sensibilité, l'étude sera au minimum de niveau I du fait de la présence d'un PPA. Elle abordera les points suivants :

- Les problématiques de qualité de l'air,
- Les cadres réglementaires européen, national et régional,
- Les effets sur la santé des principaux polluants,
- Les contextes national, régional et départemental des émissions polluantes,
- La qualification locale des émissions polluantes, sites sensibles et météorologique,
- Réalisation de mesures in-situ,
- Estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude,
- Analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances induits pour la collectivité,
- Estimation des concentrations dans l'aire d'étude,
- Analyse de l'impact selon un indicateur sanitaire simplifié (IPP indice pollution – population, croisant émissions de benzène ou concentrations simplifiées et population),

- Evaluation quantitative des risques sanitaires : identification des dangers et Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), évaluation de l'exposition des populations et caractérisation des risques au droit des sites vulnérables.

2.5.2. Cadre réglementaire

2.5.2.1. Cadre européen

La réglementation française pour l'air ambiant s'appuie principalement sur des directives européennes. Ces dernières ont été conçues en tenant compte des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui déterminent des seuils à ne pas dépasser pour une vingtaine de polluants en fonction de leur impact sur la santé humaine.

La directive n° 2008/50/CE du 21 mai 2008 de la Communauté Européenne, concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, fournit le cadre à la législation communautaire sur la qualité de l'air.

Cette directive « Qualité de l'air » fait suite à l'établissement du sixième programme d'action communautaire pour l'environnement, le 22 juillet 2002, par le Parlement et le Conseil qui, en matière de pollution atmosphérique, vise à atteindre des niveaux de qualité de l'air n'entraînant pas d'incidences ou de risques inacceptables pour la santé et l'environnement.

Les principaux objectifs de cette directive sont les suivants :

- Définir et fixer des objectifs concernant la qualité de l'air ambiant, afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement dans son ensemble,
- Evaluer la qualité de l'air ambiant dans les États membres sur la base de méthodes et de critères communs,
- Obtenir des informations sur la qualité de l'air ambiant afin de contribuer à lutter contre la pollution de l'air et les nuisances et de surveiller les tendances à long terme et les améliorations obtenues grâce aux mesures nationales et communautaires,
- Faire en sorte que ces informations sur la qualité de l'air ambiant soient mises à la disposition du public,
- Préserver la qualité de l'air ambiant, lorsqu'elle est bonne, et à l'améliorer dans les autres cas,
- Promouvoir une coopération accrue entre les États membres en vue de réduire la pollution atmosphérique.

Cette directive vise à simplifier et homogénéiser les textes précédemment en vigueur en regroupant la directive n° 96/62/CE du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant avec les « directives filles » (1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3/CE et 2004/107/CE). Elle a été transcrite en droit français par le Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air et l'arrêté du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public.

2.5.2.2. Règlementation française

2.5.2.2.1. Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE)

La directive européenne n° 96/62/CE du 27 septembre 1996 a été transcrite en droit français par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996, aujourd'hui codifiée (L.221-1 à L.223-2 et R.221-1 à R.223-4). Cette loi a notamment institué le « droit de respirer un air qui ne nuise pas à la santé », ainsi que « le droit à l'information sur la qualité de l'air et ses effets ».

Les mesures définies au travers de cette loi sont :

- La surveillance de la qualité de l'air et ses effets sur la santé et l'environnement :
 - Par la définition d'objectifs de qualité de l'air, de seuils d'alerte et de valeurs limites ; ces paramètres étant régulièrement réévalués pour prendre en compte les résultats des études médicales et épidémiologiques,
 - Par la mise en place d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'air, couvrant l'ensemble du territoire national et confié à des organismes agréés,
- Le droit à l'information sur la qualité de l'air et ses effets sur la santé et l'environnement :
 - Par une publication périodique par les organismes agréés des résultats d'études épidémiologiques et sur l'environnement, liée à la pollution atmosphérique ainsi que les informations et prévisions concernant la qualité de l'air, les émissions et les consommations d'énergie,
 - Par la publication annuelle d'un inventaire des émissions par polluant et des consommations d'énergie,
 - Par la publication d'un rapport sur la qualité de l'air, son évolution possible et ses effets sur la santé et l'environnement,
 - Par une information immédiate du public en cas de dépassement des valeurs réglementaires, portant également sur les valeurs mesurées, les conseils à la population et les dispositions réglementaires arrêtées,

- Par l'élaboration d'un Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) fixant les orientations pour prévenir ou réduire la pollution atmosphérique ou en atténuer les effets,
- La rédaction d'un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants ou dans des zones où les valeurs réglementaires sont dépassées ou risquent de l'être, en concordance avec le PRQA,
- Des mesures d'urgence prises par le préfet en cas de dépassement ou risque de dépassement des seuils d'alerte,
- L'élaboration d'un Plan de Déplacement Urbain qui définit les principes de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement,
- La mise en place de diverses mesures techniques de prévention concernant les transports et les bâtiments.

2.5.2.2.2. Définition des valeurs réglementaires

Les principaux indicateurs de pollution atmosphérique dont la liste est fixée par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 sont les suivants :

- Le dioxyde d'azote (NO₂),
- Les particules en suspension (PM₁₀ et PM_{2.5}),
- Le dioxyde de soufre (SO₂),
- L'ozone,
- Le monoxyde de carbone (CO),
- Les composés organiques volatils (COV),
- Le benzène,
- Les métaux lourds (plomb, arsenic, cadmium, nickel),
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (le traceur du risque cancérigène utilisé est le Benzo(a)pyrène).

Le **décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air définit différentes typologies de seuil :**

"...**5° Objectif de qualité**, un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ;

" **6° Valeur cible**, un niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble ;

" **7° Valeur limite**, un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble ;

" **10° Seuil d'information et de recommandation**, un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions ;

" **11° Seuil d'alerte**, un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence..."

Le tableau ci-après reprend les principaux seuils réglementaires.

Polluants	Seuil	Paramètre	Valeur en µg/m ³
Dioxyde d'azote	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	40
	Valeur limite	Moyenne annuelle	40
	Seuil d'information	Moyenne horaire	200
		Moyenne horaire	400
	Seuil d'alerte	Moyenne horaire si le dépassement a été enregistré pendant 2 jours consécutifs et qu'il est prévu pour le lendemain	200
Dioxyde de soufre	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	50
	Valeur limite	Moyenne journalière	125 à ne pas dépasser plus de 3 jr/an

Polluants	Seuil	Paramètre	Valeur en µg/m³
		Moyenne horaire	350 à ne pas dépasser plus de 24 h/an
	Seuil d'information	Moyenne horaire	300
	Seuil d'alerte	Moyenne sur 3 h	500
PM ₁₀	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	30
	Valeur limite	Moyenne annuelle	40
		Moyenne journalière	50 à ne pas dépasser plus de 35 jr/an
	Seuil d'information	Moyenne journalière	50
	Seuil d'alerte	Moyenne journalière	80
PM _{2.5}	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	10
	Valeur cible	Moyenne annuelle	20
	Valeur limite	Moyenne annuelle	25
Ozone	Objectif de qualité	Moyenne glissante sur 8 h	120
	Objectif de qualité pour la protection de la végétation	AOT40 de mai à juillet de 8h à 20h	6 000 µg/m³.h
	Seuil d'information	Moyenne horaire	180
	Seuil d'alerte	Moyenne horaire sur 3 heures	240
Benzène	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	360
	Valeur limite	Moyenne annuelle	2
Monoxyde de carbone	Valeur limite	Moyenne sur 8h	6
Plomb	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	10 000
	Valeur limite	Moyenne annuelle	0,25
Arsenic	Valeur cible	Moyenne annuelle	0,50
Cadmium	Valeur cible	Moyenne annuelle	6 ng/m³
Nickel	Valeur cible	Moyenne annuelle	5 ng/m³
Benzo(a)pyrène	Valeur cible	Moyenne annuelle	20 ng/m³
			1 ng/m³

Figure 46 : Réglementation sur la qualité de l'air

2.5.3. Données d'entrée

2.5.3.1. Description générale

Les évaluations des impacts du projet passent par une série d'étapes nécessitant pour certaines des données d'entrée particulières.

- **Première étape :** Calcul des émissions polluants du trafic routier

Intrants : trafic en TMJA et les vitesses moyennes de circulation

- **Deuxième étape :** Modélisation de la dispersion des polluants

Intrants : Météorologie, altimétrie et concentration de fond des polluants

- **Troisième étape :** Evaluation de l'exposition de la population à la pollution

Intrants : Répartition de la population avec et sans projet

- **Quatrième étape :** Evaluation des risques sanitaires

Intrants : Localisation des sites vulnérables

- **Cinquième étape :** Monétarisation des coûts collectifs

Intrants : Répartition spatiale de la population et données de trafic routier en TMJA

2.5.3.2. Le trafic

Le nombre de kilomètres parcourus diminue de 0,7% sur toutes les situations de projets excepté pour le projet de création des deux diffuseurs sur Restigné et Langeais en 2025 qui diminue de 0,6%.

		Km parcourus	Impact	
2019	Actuel	552 522	-	
2025	Référence	583 349	5,6%	/ Actuel
	Projet Restigné	579 358	-0,7%	/ Référence
2045	Référence	690 304	24,9%	/ Actuel
	Projet Restigné	685 236	-0,7%	/ Référence

		Km parcourus	Impact	
2019	Actuel	552 522	-	
2025	Référence	583 349	5,6%	/ Actuel
	Projet Restigné-Langeais	579 701	-0,6%	/ Référence
2045	Référence	690 304	24,9%	/ Actuel
	Projet Restigné-Langeais	685 506	-0,7%	/ Référence

2.5.3.3. Le parc automobile

Les émissions d'un véhicule dépendent entre autres :

- De la classe du véhicule (véhicule léger, utilitaire, poids-lourds, deux-roues...);
- De la motorisation ;
- Du poids ;
- Du carburant ;
- De la norme d'émission (norme Euro du véhicule) ;
- Du procédé de traitement des émissions.

Ainsi les facteurs d'émissions issus de la méthodologie COPERT V sont proposés pour chaque type de véhicule discrétisé selon les paramètres précédemment cités.

Par conséquent pour déterminer les émissions d'un flux de véhicules, il est primordial de connaître sa composition ou encore son parc automobile. La construction d'un parc automobile est une démarche complexe qui nécessite des hypothèses sur la

dynamique de son renouvellement dans le temps (lois de survie). Cette démarche a été réalisée par l'IFSTTAR dans le cadre de la participation de la France au projet HBEFA. Le parc automobile retenu pour l'étude est le parc établi par l'IFSTTAR.

La répartition des véhicules thermique-électrique est présentée dans les figures suivantes.

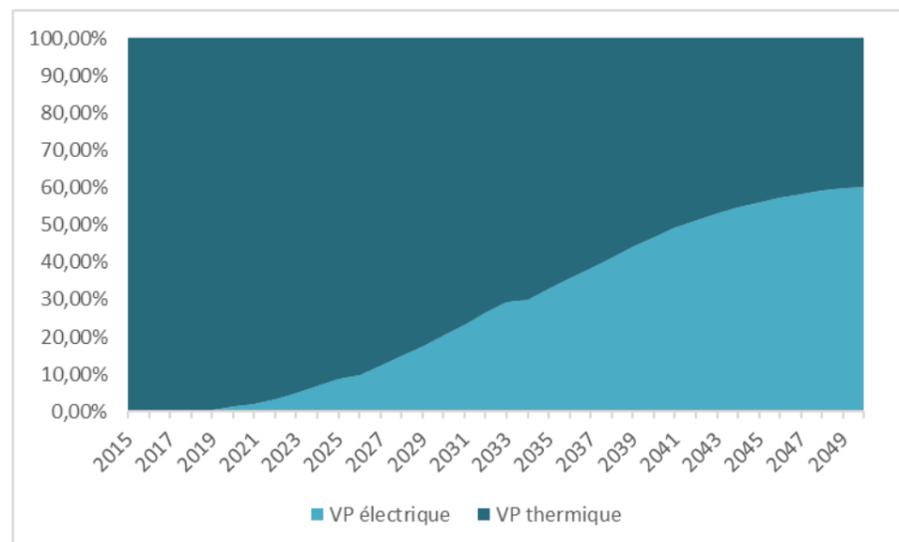


Figure 47 : Répartition thermique-électrique des véhicules particuliers du parc autoroutier (Source : Etude air, 2023)

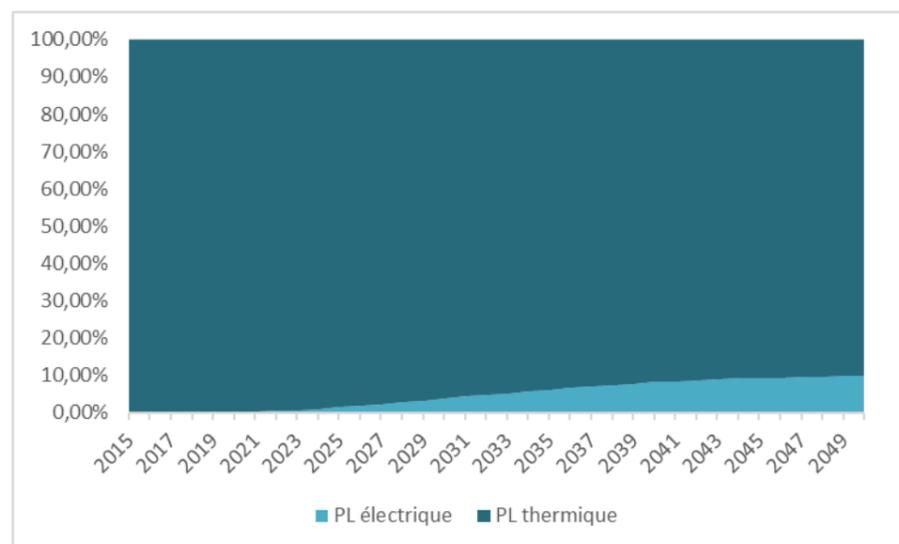


Figure 48 : Répartition thermique-électrique des poids-lourds du parc autoroutier (Source : Etude air, 2023)

Pour la répartition des véhicules utilitaires légers, il a été fait le choix de considérer un pourcentage moyen national de 16% de véhicules légers.

2.5.3.4. La répartition de la population

La répartition actuelle de la population est basée sur les données INSEE de 2017 (maillage de 200 par 200 mètres). Elle est ensuite affinée en exploitant la localisation des bâtiments issus des données BD Topo de l'IGN. Pour chaque bâtiment un nombre de personnes est estimé en fonction du volume du bâtiment et de la densité volumétrique de population de la maille dans lequel se trouve le bâtiment. Une répartition identique de la population pour chaque horizon est choisie.

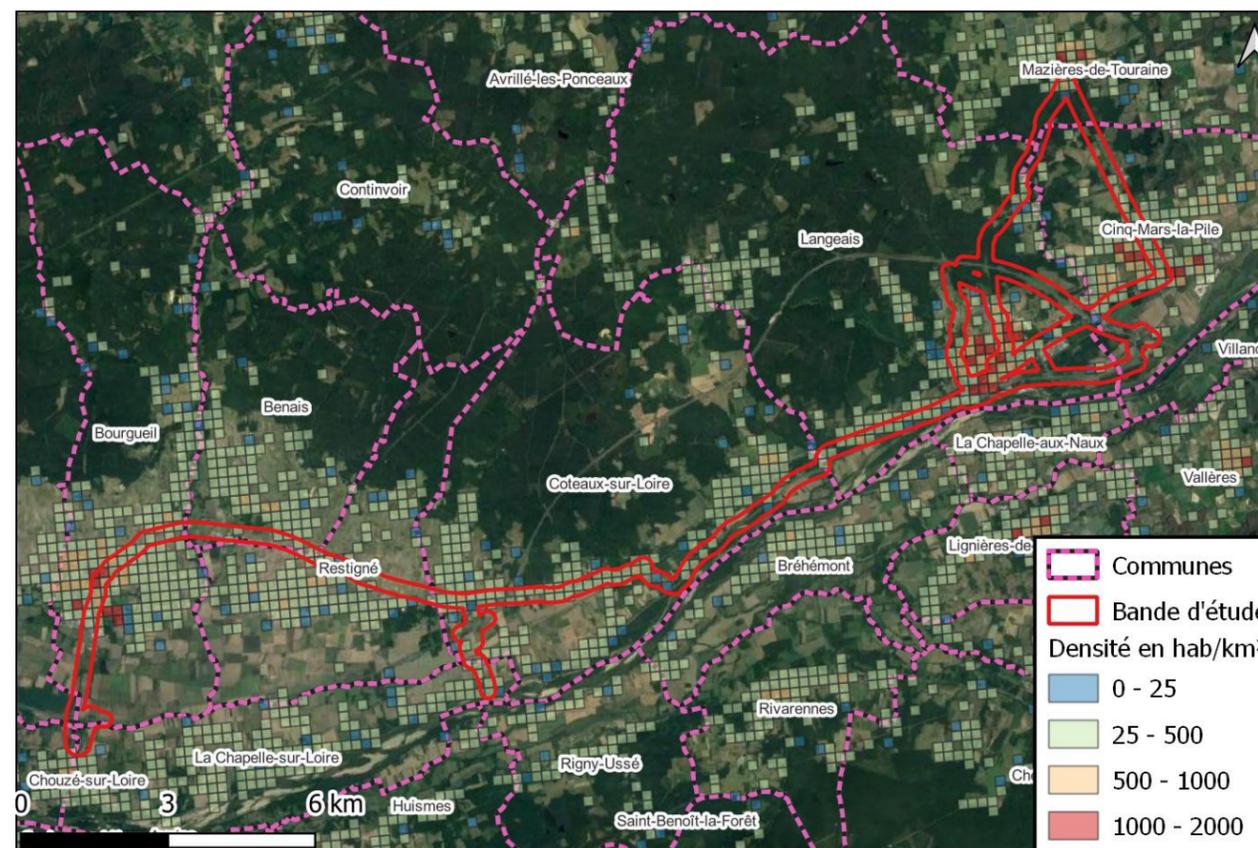


Figure 49 : Répartition de la population (Source : Etude air, 2023)

2.5.3.5. Les sites vulnérables

L'étude d'impact présente une liste de sites vulnérables. Ceux qui sont présents dans notre zone d'étude sont présentés ci-après.

Typologie et numéro des sites (A: Maisons de retraite, C: Petite enfance, E: Ecole élémentaire, M: Ecole maternelle)

A4	EHPAD LE LANGEAIS
C3	Les Petits Princes
E1	Ecole élémentaire Vincent Gérard St Patrice
E11	Ecole élémentaire
M1	Ecole maternelle
M3	Ecole Maternelle Proust
M7	Ecole maternelle Juteau

2.5.3.6. La météorologie

La rose des vents normales de Tours est utilisée pour réaliser la modélisation.

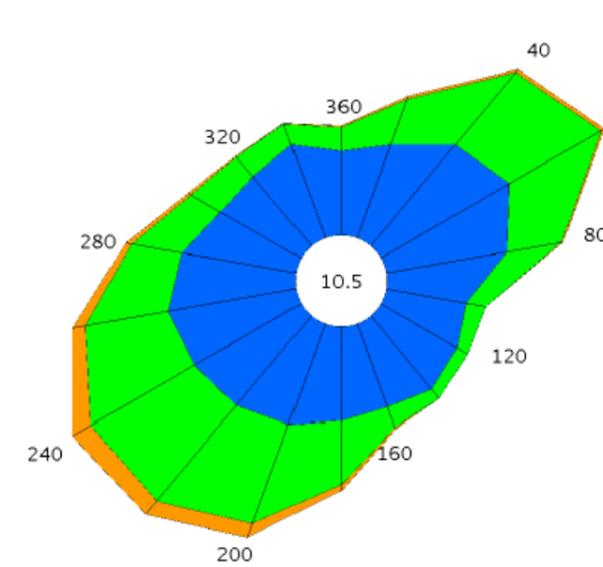
Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires entre 0h00 et 21h00, heure UTC

Tableau de répartition

Nombre de cas étudiés : 58435

Manquants : 5



Dir.	[1.5;4.5 [[4.5;8.0 [> à 8.0 m/s	Total
20	2.9	1.4	+	4.5
40	3.9	2.8	0.1	6.8
60	4.4	3.1	+	7.6
80	3.6	1.7	+	5.3
100	2.4	0.6	+	3.0
120	2.6	0.4	+	3.0
140	2.8	0.3	+	3.2
160	2.6	0.7	+	3.3
180	2.8	1.9	0.2	4.8
200	3.2	3.1	0.4	6.7
220	3.4	3.7	0.5	7.6
240	3.6	3.6	0.6	7.8
260	3.8	2.5	0.4	6.7
280	3.4	1.5	0.2	5.1
300	2.7	1.0	+	3.8
320	2.7	0.8	+	3.5
340	2.9	0.6	+	3.6
360	2.5	0.7	+	3.2
Total	56.3	30.3	2.9	89.5
[0;1.5 [10.5

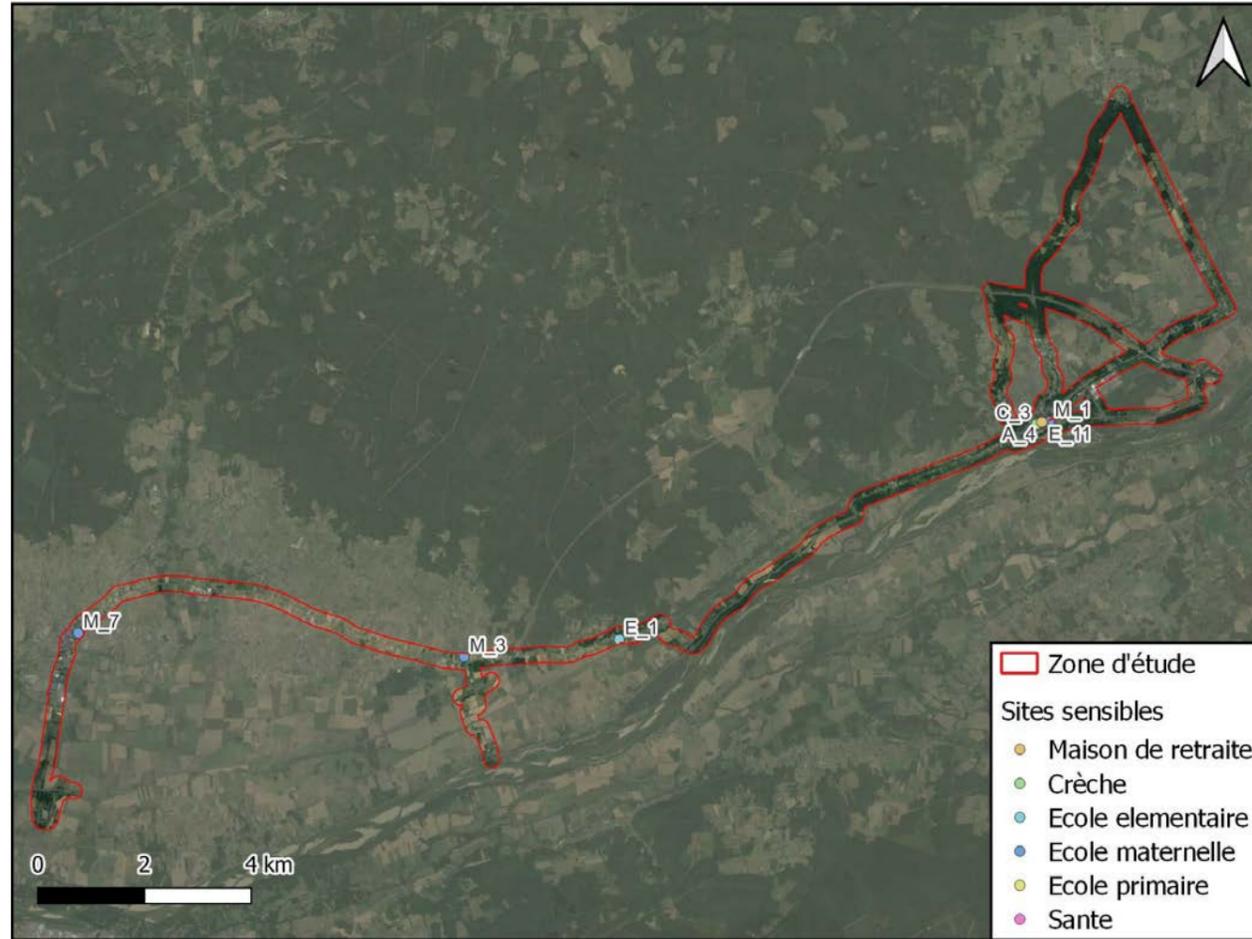


Figure 50 : Localisation des sites vulnérables (Source : Etude air, 2023)

Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction

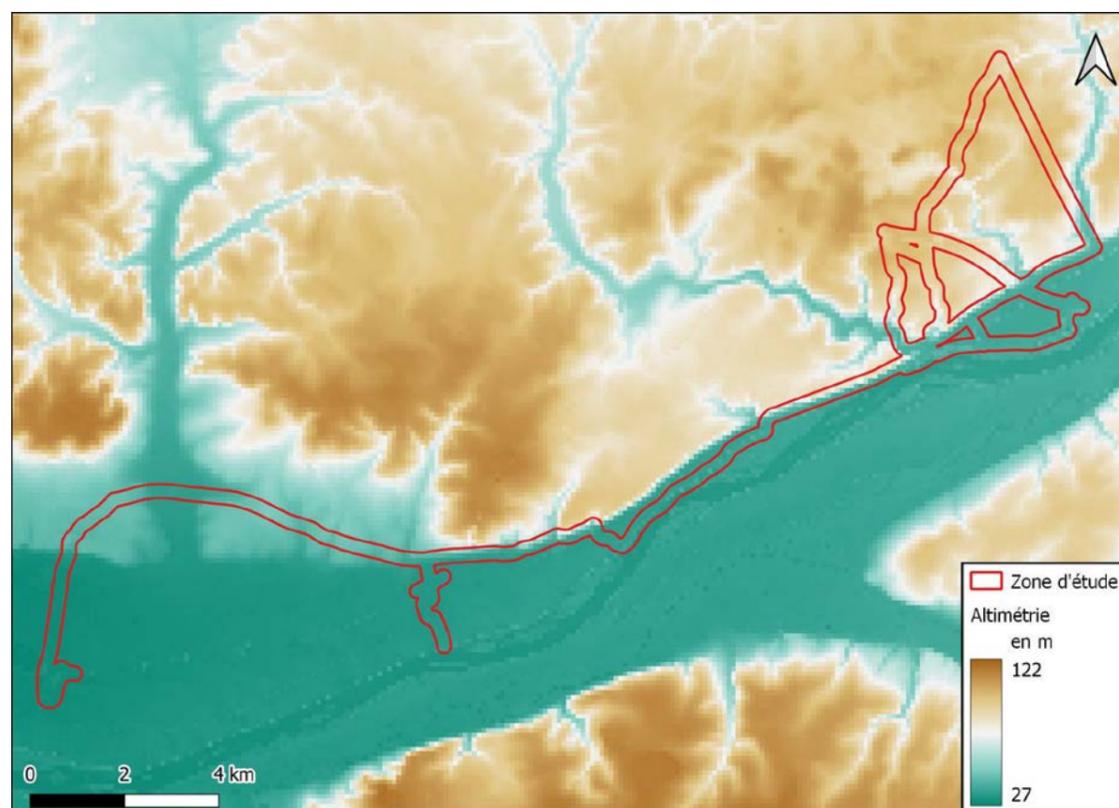


Figure 51 : Rose des vents de Tours – 1990 – 2009 (Source : Météo France)

2.5.3.7. La topographie

La topographie du secteur est utilisée dans le modèle de dispersion avec un carroyage de 100m.

2.5.3.8. Altimétrie



2.5.3.9. Les concentrations de fond des polluants

La pollution de fond à laquelle est exposée la population est ajoutée aux concentrations modélisées afin de caractériser l'exposition réelle des riverains. La pollution de fond est déterminée à partir des campagnes présentées dans l'état initial.

Polluants	Concentrations
Dioxyde d'azote	8,3 µg/m ³
PM₁₀	15 µg/m ³
PM_{2,5}	9 µg/m ³
Monoxyde de carbone	150 ng/m ³
Benzène	0,5 µg/m ³
Arsenic	0,2 ng/m ³
Nickel	0,4 ng/m ³
Benzo(a)pyrène	0,08 ng/m ³

Figure 52 : Concentrations de fond

2.5.3.10. Méthodologie de la campagne de mesure de la qualité de l'air au droit de la zone étudiée

2.5.3.11. Métrologie

Le dioxyde d'azote est échantillonné par prélèvement passif (NF En 14412). Cette méthode repose sur la diffusion passive du polluant à travers une cartouche remplie d'un adsorbant spécifique qui est ensuite analysé en laboratoire. La concentration moyenne mesurée est représentative de la durée d'exposition de la cartouche dans l'air ambiant. En fonction des composés, les adsorbants et les méthodes analytiques sont différents.

NO ₂	
Adsorbant	Support imbibé de triéthanolamine
Analyse	Spectrométrie UV après réaction de Saltzman

Les tubes sont placés à l'intérieur de boîtes afin de les protéger de la pluie et du vent (ce qui a tendance à provoquer une surestimation des concentrations). Les boîtes sont ensuite fixées en hauteur sur des supports existants de type candélabre, poteau, grillage... pour limiter le vandalisme.



Figure 53 : Exemple d'installation des tubes pour le dioxyde d'azote

1 : Tube d'analyse 2 : Flacon en plexiglass 3 : Grilles en acier inoxydable

Les analyses sont réalisées par le laboratoire PASSAM, situé en Suisse, qui a également en charge la fourniture des tubes passifs. Ce laboratoire est accrédité par "the Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation" selon la norme ISO/IEC 17025. Les spécificités en termes de gammes d'utilisation, limites de détection et incertitudes sur la mesure sont présentées dans le tableau ci-après pour chaque composé.

NO ₂	
Gamme de mesure	1 à 200 µg/m ³
Limite de détection	0,7 µg/m ³
Incertitude sur la mesure	18,4% entre 20 et 40 µg/m ³

L'analyse de cartouches non exposées (ou « blancs ») ayant été transportées dans les mêmes conditions que l'ensemble des supports ne montre aucune contamination résultant de leur manipulation.

2.5.3.12. Période de campagne de mesure

Deux campagnes de mesures ont été réalisées :

- Du 04/10/2022 au 03/11/2022,
- Du 05/01/2023 au 03/02/2023.

2.5.3.13. Typologie et localisation des points de mesure

22 sites sont répartis sur et aux abords de la création du diffuseur de Restigné.

La carte ci-après présente le plan d'échantillonnage qui a été mis en œuvre lors de la campagne et le tableau ci-après les polluants mesurés par chaque site.

Site	Typologie	NO ₂
1	Trafic	✓
2	Fond	✓
3	Trafic	✓
4	Influencé	✓
5	Trafic	✓
6	Trafic	✓
7	Fond	✓
8	Influencé	✓
9	Trafic	✓
10	Influencé	✓
11	Influencé	✓
12	Trafic	✓
13	Trafic	✓
14	Influencé	✓
15	Influencé	✓
16	Fond	✓
17	Trafic	✓
18	Trafic	✓
19	Trafic	✓
20	Fond	✓
21	Trafic	✓
22	Fond	✓

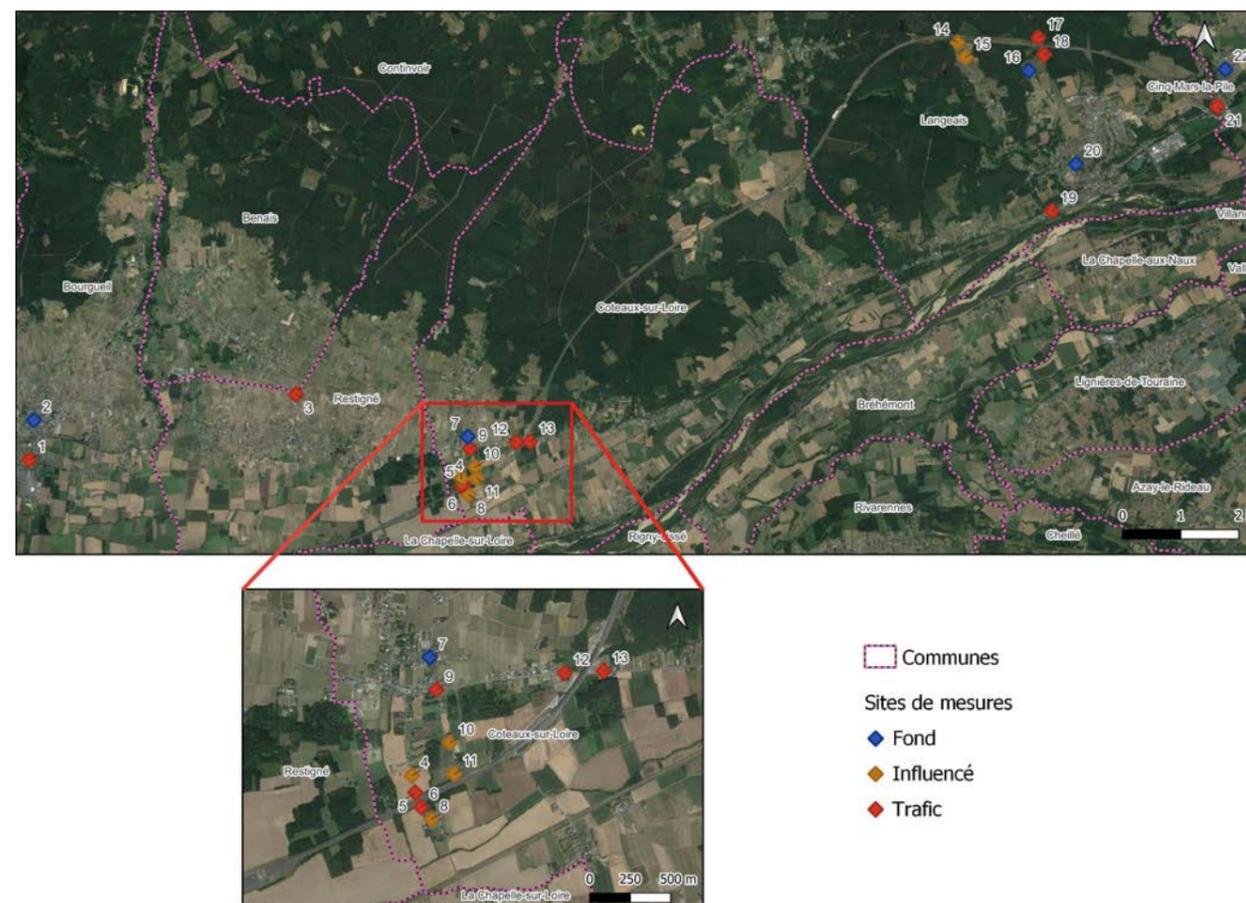


Figure 54 : Sites de mesures

2.5.3.14. Analyse des conditions météorologiques

Les données météorologiques horaires et les normales saisonnières sont issues de la station Météo France de Savigny Veron.

❖ Directions et vitesse de vent

Durant les campagnes, les vents ont majoritairement été de secteur sud-sud-est et de sud-sud-ouest (46,5 %). Les vents compris entre 1,5 et 4,5 m/s sont les plus importants avec 62,3 % de récurrence (avec également 17,3 % des vents inférieurs à 1,5 m.). Les vents moyens (4,5 à 8 m/s) apparaissent 19,5% du temps et les vents forts (supérieurs à 8 m/s) n'apparaissent que pendant 0,8 % du temps.

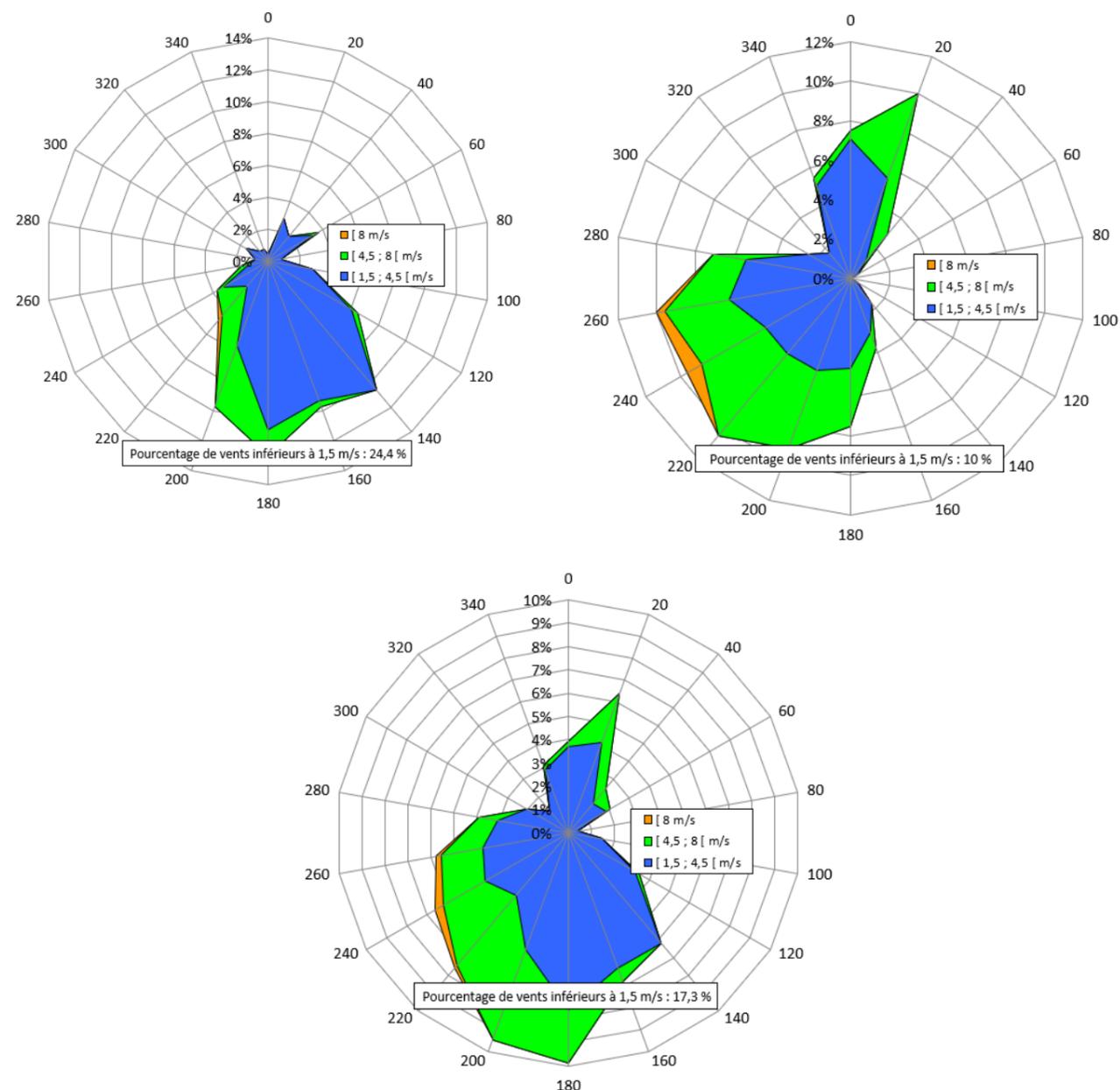


Figure 55 : Roses des vents (octobre 2022 à gauche, janvier 2023 à droite et le cumul en bas) (Source : Base de données Météo France pour la station de Savigny Veron)

❖ **Températures et précipitations**

Les températures de la campagne de janvier sont légèrement supérieures aux normales saisonnières. Il en est de même pour les températures de la campagne de juin. Concernant la pluviométrie, les campagnes sont dans les normes de normales saisonnières.

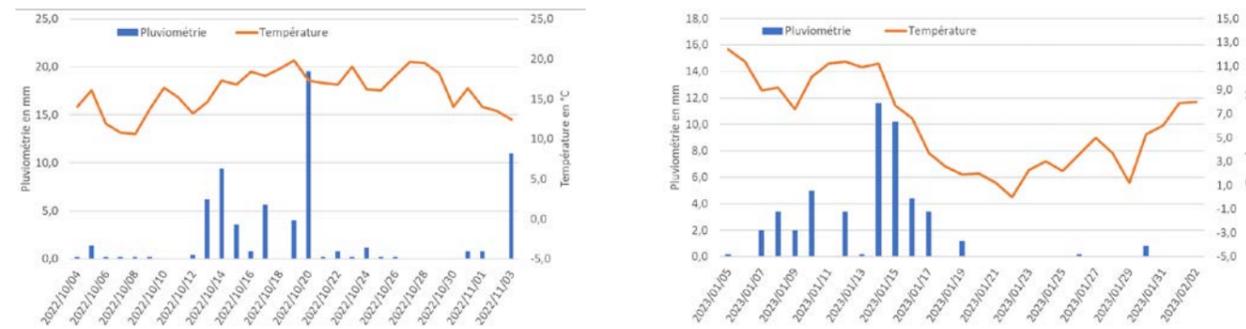


Figure 56 : Températures moyennes et précipitations lors des campagnes octobre 2022 à gauche, janvier 2023 à droite (Source : Base de données Météo France pour la station du Bourget)

	Période hivernale			Période estivale		
	Campagne	Normales Saisonnières		Campagne	Normales Saisonnières	
		Janvier	Février		Octobre	Novembre
Température moyenne (°C)	6,1	4,2	4,7	15,9	12,4	7,6
Hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)	12,4	39,6	26,2	19,8	49,6	29
Hauteur des précipitations (mm)	48	58	46	67,3	67,9	56,5
Nombre moyen de jours de pluie (> 1 mm)	10	11,2	9,6	9	10,2	10,2

Figure 57 : Comparaison des conditions météorologiques aux normales

2.5.4. Calcul des émissions

2.5.4.1. Scénarios modélisés

Pour évaluer les impacts du projet, sept scénarios sont modélisés :

- Situation actuelle ;
- Situation de référence (situation sans aménagement) et avec projets (Restigné et Restigné-Langeais) en 2025 ;
- Situation de référence et avec projets (Restigné et Restigné-Langeais) en 2045.

2.5.4.2. Méthodologie du calcul des émissions

Le calcul des émissions polluantes et de la consommation énergétique est réalisé à partir du logiciel **TREFFIC™** distribué par Aria Technologies. Cet outil de calcul intègre la méthodologie **COPERT V** issue de la recherche européenne (European Environment Agency). La méthodologie COPERT est basée sur l'utilisation de facteurs d'émission qui traduisent en émissions et consommation de carburant l'activité automobile à partir de données qualitatives (vitesse de circulation, type de véhicule, durée de parcours...).

La méthodologie intègre plusieurs types d'émissions :

- Les émissions à chaud produites lorsque les « organes » du véhicule (moteur, catalyseur) sont atteint leur température de fonctionnement. Elles dépendent directement de la vitesse du véhicule ;
- Les émissions à froid produites juste après le démarrage du véhicule lorsque les « organes » du véhicule (moteur et dispositif de traitement de gaz d'échappement) sont encore froid et ne fonctionnent donc pas de manière optimale. Elles sont calculées comme des surémissions par rapport aux émissions « attendues » si tous les organes du véhicule avaient atteint leur température de fonctionnement ;

- Les surémissions liées à l'usure de l'équipement ;
- Les surémissions liées à la charge des poids-lourds ;
- Les surémissions liées à la pente, pour les poids-lourds.

Elle intègre aussi :

- Les corrections pour traduire les surémissions pour des véhicules anciens et/ou ayant un kilométrage important, et ce pour les véhicules essences catalysés ;
- Les corrections liées aux améliorations des carburants.

Le logiciel TREFIC™ intègre également la remise en suspension des particules sur la base d'équations provenant de l'EPA en y associant le nombre de jours de pluie annuel.

Les vitesses très faibles (inférieures à 10km/h) sont en dehors de la gamme de validité des facteurs d'émissions de la méthode COPERT (gamme de validité de 10 à 130 km/h). TREFIC™ associe un coefficient multiplicatif aux facteurs d'émissions déterminés à 10 km/h selon la méthode COPERT pour redéfinir les facteurs d'émissions des vitesses inférieures. Ce coefficient correspond au ratio entre la vitesse de basse validité, soit 10 km/h, et la vitesse de circulation pour laquelle le facteur est estimé (par exemple pour une vitesse de circulation de 5km/h, le coefficient appliqué est de 2). Toutefois, pour les vitesses inférieures à 3 km/h les incertitudes sont trop importantes et les facteurs d'émissions ne peuvent être recalculés.

Des facteurs de surémissions sont également intégrés afin de prendre en compte les émissions liées à l'entretien de la voirie (données issues d'un rapport de 2004 sur la « Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières ») et des équipements automobiles (données issues du rapport de l'EEA de 2019 sur « L'usure de la route, des pneus et des freins »).

Arsenic	Fondant routiers	19,4	43,8	Hiver moyen
Chrome	Fondant routiers	36,43	82,25	Hiver moyen
PM1	Usure des routes	25,82	25,71	Hiver moyen
Ferrocyanure ferrique	Fondant routiers	1,55	3,5	Hiver moyen

Figure 59 : Facteurs de surémissions liées à l'entretien de la voirie

	Usure des pneus (g/km)	Usure des freins (g/km)	Usure de la route (g/km)
Véhicule léger	0,0107	0,0075	0,015
Véhicule utilitaire léger	0,0169	0,0117	0,015
Poids-lourds	0,0337	0,0327	0,076
Deux-roues	0,0046	0,0037	0,006

Figure 60 : Facteurs d'émissions liées aux usures

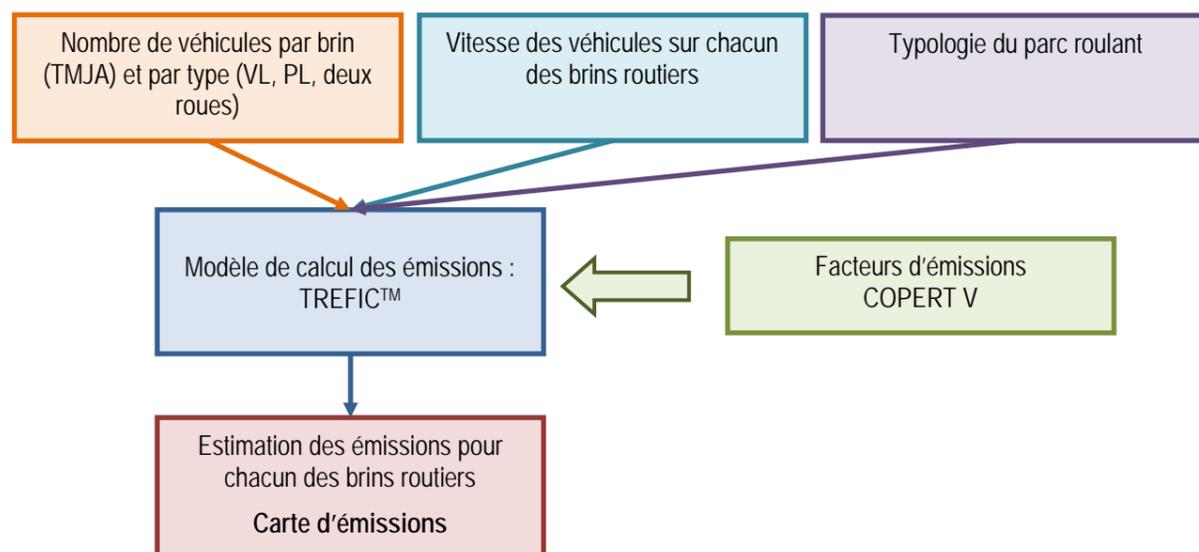


Figure 58 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier

Substance	Equipement source	Urbain (g/km.an)	Autoroute (g/km.an)	Remarques
Nickel	Fondant routiers	93	210	Hiver moyen
Mercure	Fondant routiers	3,88	8,75	Hiver moyen

2.5.5. Modélisation de la dispersion atmosphérique

2.5.5.1. Présentation générale du modèle utilisé

Le logiciel utilisé pour réaliser la modélisation sur l'ensemble de la zone d'étude est ARIA Impact 1.8 distribué par ARIA Technologies. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions d'une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. ARIA Impact ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants tels que l'ozone.

2.5.5.2. Mise en œuvre des simulations

Les simulations sur l'ensemble de la zone mises en œuvre ont considéré :

- Les vents calmes,
- Un modèle de dispersion de Pasquill (modèle standard),
- La topographie de la zone d'étude,
- Un dépôt sec sur le sol et une vitesse de chute due à la gravité des polluants pouvant s'assimiler à des particules (poussières), conduisant à un appauvrissement du panache de particules. La vitesse de chute est calculée avec pour hypothèse un diamètre de particule de 10 microns pour les poussières (PM₁₀). Cette hypothèse a tendance à sous-estimer très légèrement les concentrations de particules dans l'air, notamment dans le cas de particules émises par le trafic automobile (particules de diamètre inférieur à 2,5 microns).

A partir de la rose des vents annuelle, le logiciel fournit les concentrations en moyennes annuelles représentatives de l'exposition à long terme, ainsi que les concentrations en percentile 100 représentatives de l'exposition aiguë de la population. Les concentrations en percentile 100 correspondent aux conditions météorologiques les plus défavorables et à l'origine des pics de pollution. Elles serviront dans le cadre de l'évaluation détaillée des risques sanitaires.

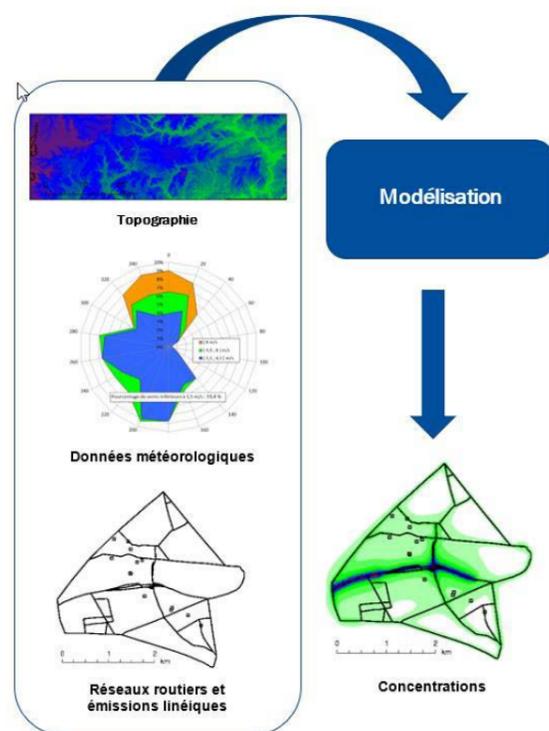


Figure 61 : Schéma du principe de la modélisation

2.5.6. Évolution de l'exposition de la population à la pollution

2.5.6.1. Objectif de l'IPP

L'indicateur IPP permet la comparaison entre le scénario avec projet et l'état de référence par un critère basé non seulement sur les émissions, mais aussi sur la répartition spatiale de la population.

Cet outil est utilisé comme une aide à la comparaison de situations et n'est en aucun cas le reflet d'une exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique globale.

Le NO₂, polluant traceur de la pollution automobile est utilisé pour calculer l'IPP.

2.5.6.2. Méthodologie de calcul de l'IPP

Le croisement de données de population et de concentration permet de fournir un indicateur « d'exposition » de la population. En effet, il est important, du point de vue de l'impact sur la santé, de connaître les zones critiques caractérisées par des concentrations de polluant élevées et une population dense.

L'indice global d'exposition de la population à la pollution (ou IPP cumulé sur l'ensemble de la zone d'étude), représente la somme des expositions individuelles (ou par maille) des personnes soumises à la pollution d'origine routière :

$$IPP = \Sigma (\text{Population} \times \text{Concentration})$$

Les IPP par maille les plus fortes correspondent :

- Soit aux zones où la densité de population est la plus élevée,
- Soit aux zones où les concentrations calculées sont les plus élevées,
- Soit aux deux.

2.5.7. Évaluation des risques sanitaires

L'évaluation quantitative des risques sanitaires est basée sur la méthodologie définie en 1983 par l'académie des sciences américaine, retranscrite depuis par l'InVS dans son guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact.

La démarche d'évaluation des risques sanitaires se décompose en 4 étapes :

1. Identification des dangers qui consiste en l'identification la plus exhaustive possible des substances capables de générer un effet sanitaire indésirable
2. Définition des relations dose-réponse ou dose-effet qui a pour but d'estimer le lien entre la dose d'une substance mise en contact avec l'organisme et l'apparition d'un effet toxique jugé critique. Cette étape se caractérise par le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour chaque toxique étudié.
3. Evaluation de l'exposition des populations qui permet de juger du niveau de contamination des milieux, de définir les populations potentiellement exposées et de quantifier l'exposition de celles-ci.
4. Caractérisation des risques qui est une étape de synthèse des étapes précédentes permettant de quantifier le risque encouru pour la ou les population(s) exposée(s). Par ailleurs, cette étape reprend des incertitudes évaluées à chacune des étapes.

2.5.7.1. Identification des dangers par inhalation et choix des valeurs toxicologiques de référence (étapes 1 et 2)

2.5.7.1.1. Définitions : toxicité, exposition et effets

Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets variables en fonction de la durée d'exposition des organes cibles et/ou des voies d'absorption :

- La toxicité aiguë d'une substance chimique correspond aux effets d'une exposition de courte durée à une dose (concentration) forte, généralement unique ;

- La toxicité chronique correspond aux effets d'une administration répétée à long terme et à faibles doses. Ces doses sont insuffisantes pour provoquer un effet immédiat, mais la répétition de leur absorption sur une longue période de temps a des effets délétères.

Dans le cadre des évaluations des risques, on distingue deux modes d'action des substances :

- Les substances « à effets à seuil de dose » ou « effets déterministes » qui provoquent, au-delà d'une certaine dose absorbée, des dommages dont la gravité augmente avec cette dose. Ce sont essentiellement les substances non cancérigènes, toutefois, certains polluants cancérigènes présentent également un mécanisme d'action à seuil de dose. En dessous de ce seuil de dose, la substance est jugée sans risque notoire pour la santé. Concernant les risques par inhalation, ce seuil de dose est appelé Concentration Admissible dans l'Air (CAA) et s'exprime en µg/m³.
- Les substances « à effets dans seuil de dose » ou « effet stochastique », pour lesquelles l'effet apparaît quelle que soit la dose absorbée avec une probabilité de survenue augmentant avec cette dose. Ce sont principalement les substances cancérigènes génotoxiques. Selon cette approche, le risque ne peut être nul (sauf absence de composé) mais un seuil d'acceptabilité de 1 cas d'apparition des symptômes sur 100 000 personnes exposées est défini (probabilité de 10⁻⁵). Cette probabilité est souvent admise comme seuil d'intervention, notamment dans le cadre de la dépollution des sols, et est également utilisée par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air. Nous utiliserons donc ce seuil d'acceptabilité de 10⁻⁵ pour caractériser l'acceptabilité du risque.

Concernant les risques par inhalation, l'Excès de Risque Unitaire (ERUi) correspond à la probabilité de survenue des symptômes avec une concentration dans l'air pour 1µg/m³ de l'espèce considérée. Les excès de risque sanitaire sont déterminés pour une exposition de 70 ans (considérée comme une vie entière).

L'évaluation des dangers des substances chimiques (ou identification des dangers) consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Ces effets peuvent être de différents types :

- Non cancérigène : une substance à effet non cancérigène agit potentiellement à la dose reçue. Ses effets sont généralement réversibles et une diminution de sa concentration dans l'organisme entraîne la disparition des symptômes. Le mode d'action est essentiellement à seuil.
- Cancérigène : à l'inverse, une substance à effet cancérigène est susceptible d'entraîner des tumeurs malignes dégénérant en cancer dès l'absorption par l'organisme d'une molécule de cette substance (effets sans seuil). Les effets cancérigènes ne sont pas réversibles (sans médication) et les risques s'expriment en probabilité de survenue d'un cancer. Le mode d'action est essentiellement sans seuil.

Ainsi, il est traité :

- L'exposition aiguë par inhalation,
- L'exposition chronique par inhalation de polluants non cancérigènes,
- L'exposition chronique par inhalation de polluants cancérigènes.

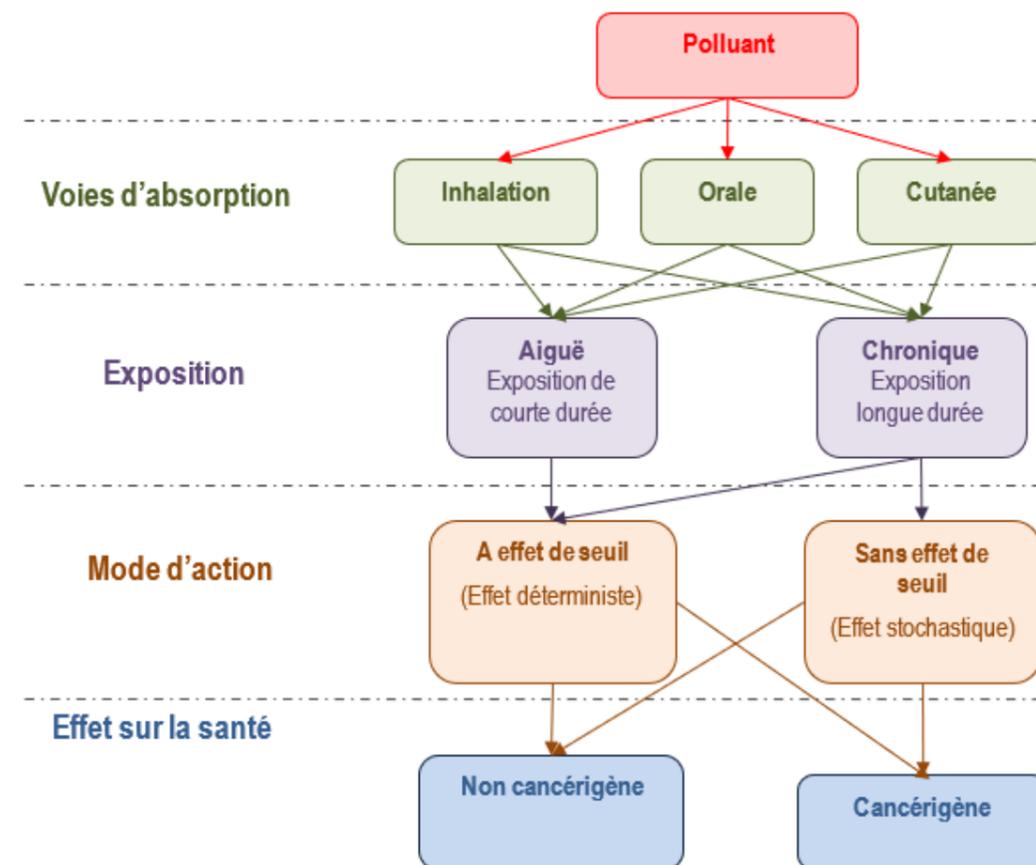


Figure 62 : Evaluation du danger d'un polluant

2.5.7.1.2. Choix des valeurs toxicologiques de référence

L'évaluation des risques sanitaires passe par la sélection des valeurs toxicologiques de référence (CAA, DJA, ERUi et REUo) permettant de définir la présence ou l'absence d'effet d'un composé. Les VTR ont été recherchées parmi les bases de données de l'OMS, l'IPCS, l'US EPA, l'ATSDR, l'OEHA, Health Canada, le JECFA, l'ANSES, l'EFSA et le RIVM. Lorsqu'aucune VTR n'est proposée, la quantification des risques sanitaires n'est pas envisageable mais une comparaison à des valeurs guides est possible si elles sont disponibles. Les définitions des VTR pour chaque organisme et les correspondances entre elles sont présentées en annexe.

Les différentes classifications des composés cancérigènes y sont également détaillées (hiérarchisation selon l'Union Européenne, l'US EPA et le CIRC).

Lorsque plusieurs VTR sont proposés, le choix s'oriente en fonction des recommandations de l'INERIS, de la notoriété de l'organisme, de la date de parution, de leur cohérence avec les autres VTR et du type d'étude dont elle découle (les études épidémiologiques sont privilégiées par rapport à l'expérimentation animale). L'ensemble des VTR obtenues dans la bibliographie sont présentées en annexe.

2.5.7.1.3. Synthèse des dangers et des VTR sélectionnés

Les VTR sélectionnées sont reprises dans les tableaux suivant selon les différents effets et voie d'absorption :

- Exposition aiguë par inhalation,
- Exposition chronique non cancérigène par inhalation,
- Exposition chronique cancérigène par inhalation.

Substance	Source	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Organe cible / Effet critique	Année
NO ₂	OMS	200	Poumons	2003
Benzène	ATSDR	29,2	Système immunologique	2008
PM ₁₀ (1)	OMS	45	Système cardiovasculaire	2021
PM _{2.5} (1)	OMS	15	Système cardiovasculaire	2021

(1) – composés ne disposant pas de VTR, la valeur indiquée est une valeur guide

Figure 63 : VTR aigües des substances par inhalation

Substance	Source	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Organe cible / Effet critique	Année
NO ₂ (1)	OMS	10	Système respiratoire	2021
Benzène	ANSES	10	Système immunologique	2008
1-3 Butadiène	EPA	2	Atrophie ovarienne	2002
Nickel	TCEQ	0,23	Système respiratoire	2011
Naphtalène	ANSES	37	Appareil respiratoire / Appareil sanguin / yeux	2013
PM10 (1)	OMS	15	Système cardiovasculaire	2021
PM2.5 (1)	OMS	5	Système cardiovasculaire	2021

(1) – composés ne disposant pas de VTR, la valeur indiquée est une valeur guide

Figure 64 : VTR chroniques des substances non cancérigènes pour une exposition par inhalation

Substance	Source	Valeur en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Organe cible / Effet critique	Année
Benzène	ANSES	$2,6 \cdot 10^{-5}$	Leucémie	2013
Chrome	OMS/IPCS	$4 \cdot 10^{-2}$	Poumons	2012
1,3-Butadiène	OEHHA	$1,7 \cdot 10^{-4}$	Sang	2002
Nickel	TCEQ	$1,7 \cdot 10^{-4}$	Poumons	2011
Benzo(a)pyrène	OEHHA	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Poumons	2008
Naphtalène	ANSES	$5,6 \cdot 10^{-6}$	Epithélium nasal	2011
Arsenic	TCEQ	$1,5 \cdot 10^{-4}$	Poumons	2012

Figure 65 : VTR chroniques des substances cancérigènes pour une exposition par inhalation

2.5.8. Évaluation de l'exposition de la population

2.5.8.1. Équation générale

L'exposition par inhalation d'une population est déterminée à partir du calcul de la concentration moyenne inhalée (CMI) pour chaque polluant, selon l'équation suivante :

$$CMI = (C_i \times T_i) \times F \times \left(\frac{DE}{T_m}\right) \quad \text{Équation 1}$$

Avec :

CMI : Concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_i : Concentration de polluant représentative de la période d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

T_i : Taux d'exposition à la concentration C_i pendant une journée (sans unité)

F : Fréquence d'exposition annuelle qui correspond au nombre de jours d'exposition sur une année (sans unité)

DE : Durée d'exposition, intervient uniquement dans le calcul des risques cancérigènes (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années), intervient uniquement pour les effets cancérigènes où cette variable est assimilée à la durée de la vie entière standard (T_m est généralement pris égal à 70 ans)

Les paramètres d'exposition T_i, F et DE doivent être renseignés pour tenir compte des conditions d'exposition auxquelles sont confrontées les populations cibles.

Le paramètre C_i (concentration en polluant dans l'air) de l'équation 1 est issu des concentrations modélisées lors de la dispersion des polluants atmosphériques.

2.5.8.2. Scénarios d'exposition retenus

En fonction de la typologie du site vulnérable, le scénario d'exposition est adapté afin de considérer les différents temps de résidence. Le tableau suivant présente les durées d'exposition considérées en fonction du type de risque. Ces durées permettent de calculer les valeurs paramétriques de l'équation 1.

Scénarios	Risque	Paramètres		
		Heures	Jours	Années
Résidentiel	Aigüe	24		
	Chronique	24	336	
	Chronique sans effet de seuil	24	336	30
Petite enfance	Aigüe	24		
	Chronique	12	336	
	Chronique sans effet de seuil	12	336	3
Maternelle	Aigüe	24		
	Chronique	12	195	
	Chronique sans effet de seuil	12	195	3
Élémentaire	Aigüe	24		

	Chronique	12	195	
	Chronique sans effet de seuil	12	195	5
Primaire	Aigüe	24		
	Chronique	12	195	
	Chronique sans effet de seuil	12	195	8
Centre de soin	Aigüe	12		
	Chronique	24	10 ⁽¹⁾	
	Chronique sans effet de seuil	24	10 ⁽¹⁾	1
Accueil personnes âgées	Aigüe	24		
	Chronique	24	365	
	Chronique sans effet de seuil	24	365	10 ⁽²⁾

(1) Durée moyenne en France d'hospitalisation à l'hôpital, source « Statistique de l'OCDE sur la santé 2017 »

(2) 90 % des séjours en EHPAD sont inférieurs à 10 ans, source : « Drees, enquête EHPA 2011 »

Figure 66 : Durée d'exposition par typologie de site vulnérable

Pour une exposition aigüe, aucun scénario d'exposition n'est défini. La concentration retenue pour la comparaison avec la valeur toxicologique de référence correspond à la valeur maximale modélisée pour une dispersion atmosphérique défavorable (soit le centile 100) :

$$CMI_{aigüe} = C_{P100} \quad \text{Équation 2}$$

CMI : Concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CP100 : Concentration en percentile 100

Pour une exposition chronique à un polluant à seuil

$$CMI_{chronique (sans seuil)} = CMA \times \frac{\text{jours}}{365} \times \frac{\text{heures}}{24} \quad \text{Équation 2}$$

CMI : Concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CMA : Concentration modélisée en moyenne annuelle

Pour une exposition chronique à un polluant sans seuil :

$$CMI_{chronique(seuil)} = CiMA \times \frac{\text{heures}}{24} \times \frac{\text{jours}}{365} \times \frac{\text{années}}{70} \quad \text{Équation 3}$$

2.5.8.2.1. Polluants sans VTR

Les polluants sans VTR sont directement comparés à la valeur guide sans pondération par un scénario d'exposition.

2.5.8.2.2. Concentrations retenues par polluant

Les concentrations sont calculées en moyenne annuelle sur chaque site par le modèle de dispersion atmosphérique. Pour l'exposition aigüe, l'évaluation est réalisée selon le même principe que pour les risques chroniques. En revanche la concentration maximale modélisée est exploitée (soit le percentile 100).

2.5.8.3. Caractéristiques des risques par inhalation (étape 4)

2.5.8.3.1. Méthodologie

Polluant à effet de seuil aigu et chronique

Les polluants à effet de seuil répondent à un seuil de toxicité en dessous duquel on considère qu'il n'y a pas de risque sanitaire. Pour évaluer la présence ou non d'un risque sanitaire, on calcule un Ratio de Danger selon les formules suivantes :

$$RD_{aigu} = \frac{CMI_{aigüe}}{VTR_{aigüe}} \quad \text{Équation 4}$$

$$RD_{chronique} = \frac{CMI_{chronique (sans seuil)}}{VTR_{chronique}} \quad \text{Équation 5}$$

RD_{chronique} : Ratio de Danger chronique par inhalation

CMI : Concentration moyenne inhalée aigüe ou chronique (déterminée en fonction du scénario d'exposition et du type de concentration (percentile ou moyenne annuelle) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VTR : Valeur toxicologique de référence chronique en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Le ratio de danger (RD) permet d'évaluer la présence d'un risque. Lorsqu'il est supérieur à 1 le risque existe et au contraire lorsqu'il est inférieur à 1, aucun impact sanitaire n'est observable.

Pour les polluants ayant un impact sanitaire sur le même organe cible, il est possible de sommer les ratios de danger pour évaluer l'impact lié à la co-exposition de plusieurs toxiques.

Polluant sans effet de seuil

Pour les polluants sans effet de seuil, l'évaluation des risques sanitaires consiste à évaluer la probabilité pour une personne exposée à la pollution de développer une pathologie. Cette probabilité est appelée Excès de Risque Individuel et se calcule de la façon suivante :

$$ERI = CMI_{MA} \times ERU \quad \text{Équation 6}$$

ERI : Excès de risque individuel en nombre de cas de cancer

CMI_{MA} : Concentration moyenne inhalée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ERU : Excès de risque unitaire en nombre de cas de cancer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹

Polluant sans VTR

Les particules PM₁₀ et PM_{2,5} et le dioxyde d'azote sont directement comparés à la valeur guide.

2.5.9. Monétarisation des coûts collectifs

2.5.9.1. Orientations méthodologiques

L'instruction du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport a officialisé les valeurs des coûts externes établies par le rapport « Boîteux II ». Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes mais elles concernent notamment la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires. Ainsi, le rapport fournit pour chaque type de trafic (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, rural), une valeur de l'impact, principalement sanitaire, de la pollution atmosphérique.

Cette instruction est annulée et remplacée par celle du 16 juin 2014 qui présente le cadre général de l'évaluation des projets de transports, en application des dispositions des articles L.1511-1 à L.1511-6 du code des transports et du décret n°84-617 du 17 juillet 1984. La note technique du 27 juin 2014 présente entre autres, la méthodologie à appliquer pour la monétarisation des émissions liées directement ou indirectement au trafic routier en s'appuyant sur :

- L'« évaluation socioéconomique des investissements publics » de septembre 2013 du commissariat à la stratégie et à la prospective (mission présidée par Emile Quinet) ;
- « La valeur tutélaire du carbone » de 2019 du centre d'analyse stratégique (mission présidée par Alain Quinet).

Trois externalités sont étudiées :

- La pollution atmosphérique afin d'intégrer les effets sur la santé, le bâti et la végétation ;
- Les effets amont aval ;
- Les émissions de gaz à effet de serre pour évaluer le coût sur le réchauffement climatique.

2.5.9.1.1. La pollution atmosphérique

La monétarisation des effets de la pollution atmosphérique repose sur l'analyse de quatre polluants ou famille de polluants : le SO₂, les NO_x, les PM2.5 et les COVNM. Les impacts suivants sont considérés dans la monétarisation :

- Particules (PM2,5) : effets sanitaires (mortalité et morbidité) ;
- NO_x : effets sur la santé (via nitrates et O₃), eutrophisation des milieux et effet fertilisation des sols agricoles (via nitrates), pertes de cultures (via O₃) ;
- SO₂ : santé (via sulfates), acidification des milieux, pertes de cultures ;
- COVNM : effets sanitaires (via O₃), pertes de cultures (via O₃).

Les valeurs tutélaires par type de véhicules sont calculées à partir de la somme des coûts en €/véh.km de chaque polluant. Chaque coût (défini par polluant) correspond au produit du facteur d'émission (en g/km) par le coût marginal (en €/g) des impacts sanitaires et environnementaux des émissions du polluant considéré.

$$Valeur\ Tutélaire_v = \sum_p^n (F_{vp} * C_p) \quad \text{Équation 7}$$

Avec :

v : type de véhicule

p : polluant considéré

F_{vp} : facteur d'émission d'un type de véhicule *v* pour le polluant *p* (en g/km)

C_p : coût marginal du polluant *p* (en €/g)

Valeur tutélaire : valeur tutélaire du type de véhicule *v* (en €/km)

Les effets sanitaires étant intrinsèquement liés à la présence ou non de population, les valeurs tutélaires sont ensuite modulées en fonction de la densité. Le tableau ci-dessous reprend les facteurs associés et les densités de population considérées.

Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain dense	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
*3	*3	*3	*10

Figure 67 : Facteurs multiplicatifs de densité de population pour le calcul des coûts sanitaires lorsque l'infrastructure passe d'une zone à une autre

hab/km ²	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette	< 37	37-450	450-1 500	1500 -4 500	> 4500
Densité	25	250	750	2250	6750

Figure 68 : Densité de la population des zones traversées par l'infrastructure

Afin d'intégrer la variabilité des émissions en fonction de la vitesse de circulation, les facteurs d'émission de chaque polluant sont pondérés par un coefficient dépendant des classes de densité précédemment décrites. Il est en effet considéré que la vitesse décroît en fonction de l'augmentation de l'urbanisation (et donc de la densité de population). Le tableau suivant reprend les différents coefficients. Ces ajustements sont basés sur les facteurs d'émission COPERT V.

	Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain dense	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
VL NO _x	/1,5	/1,3	*1	*1,5
VL PM2.5	/1,5	/1,7	*1	*1,3
PL NO _x	*1,1	*1,2	*1	*1,6
PL PM2.5	*1	*1,2	*1	*2

NB : les facteurs des VP sont également appliqués aux deux roues et VUL ; de même, les facteurs PL sont appliqués aux bus également

Figure 69 : Coefficients de vitesse pour le calcul des facteurs d'émissions lorsque l'infrastructure passe d'une zone à l'autre

Afin d'associer à chaque axe la densité de la population à leur proximité, la densité de la population a été calculée sur un maillage de 100 mètres.

Les valeurs tutélaires sont estimées en euro 2015 sur la base d'un parc roulant de 2010. La variation annuelle des valeurs tutélaires au-delà de 2010 correspond à la variation du parc roulant et du PIB par tête. La variation du PIB par tête est issue de France Stratégie.

2.5.9.1.2. Les effets amonts aval

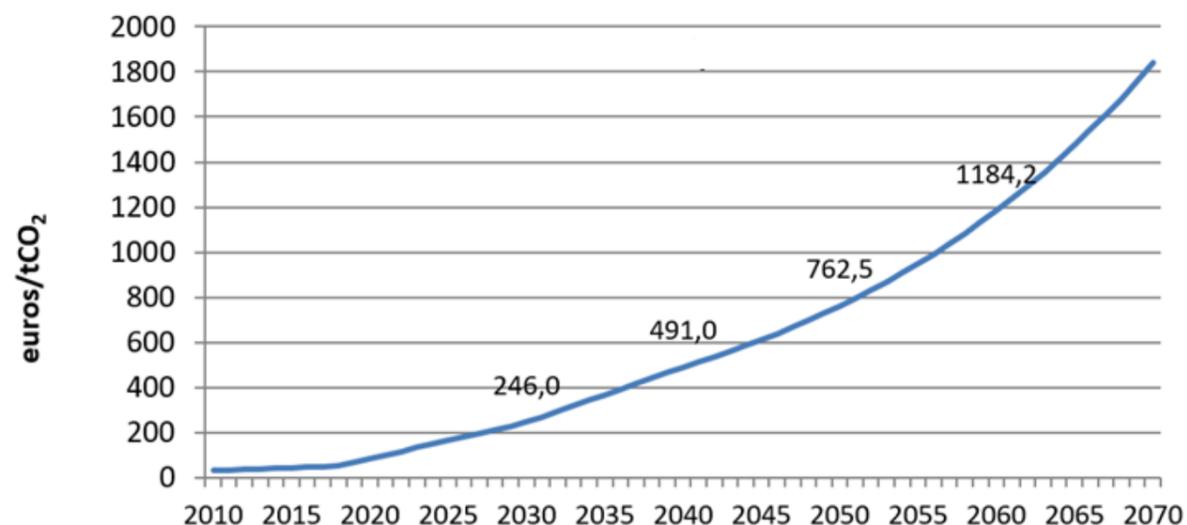
Les effets amont aval intègrent le coût d'approvisionnement de l'énergie utilisée par les véhicules ainsi que la gestion de l'infrastructure routière.

2.5.9.1.3. Les émissions de gaz à effet de serre

Le coût des émissions de gaz à effet de serre (exprimé en équivalent CO₂) est issu d'un arbitrage cherchant à concilier des enjeux environnementaux, énergétiques et économiques. Divers modèles macroéconomiques ont été utilisés et ont abouti à une forte volatilité du coût de la tonne de CO₂. Le choix s'est donc orienté vers un prix à l'horizon 2030 de 246 €₂₀₁₅ la tonne de CO₂, suivi d'une évolution linéaire jusqu'en 2040 pour atteindre 491 €₂₀₁₅ la tonne de CO₂ (« la valeur de l'action pour le climat », mission présidée par Alain Quinet en 2019).

Pour les évolutions post-2040, la règle de Hotling ajustée est utilisée. Cette règle issue de l'économie de l'environnement considère que le changement climatique peut être ramené aux règles de gestion dans le temps d'une ressource rare. Les engagements français en termes de plafond d'émission constituent la réserve de CO₂ et un taux de 4,5 % par an est retenu.

2.5.9.1.4. Évolution de la valeur tutélaire de la tonne carbone en €₂₀₁₅



2.5.9.2. Valeurs tutélaires

2.5.9.2.1. Coûts liés à la qualité de l'air

Le tableau suivant présente les valeurs tutélaires liées aux émissions polluantes du transport routier.

€ ₂₀₁₅ /100 véh.km	2019					2025				
	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
Véhicule particulier	17,9	4,9	1,9	1,5	1,0	19,1	5,2	2,1	1,6	1,1
VP diesel	23,2	6,2	2,5	1,8	1,2	24,7	6,7	2,7	1,9	1,3
VP essence	5,1	1,5	0,7	0,6	0,6	5,4	1,6	0,7	0,6	0,6
VP GPL	4,1	1,1	0,5	0,3	0,2	4,4	1,2	0,5	0,4	0,2
Véhicule utilitaire léger	36,7	9,9	3,9	2,7	1,8	39,1	10,5	4,1	2,9	1,9
VU Diesel	38,3	10,3	4,0	2,8	1,8	40,8	11,0	4,2	3,0	1,9
VU essence	7,2	2,2	1,0	0,9	0,9	7,6	2,3	1,1	1,0	1,0
PL diesel	212,0	42,0	20,1	10,7	7,3	225,6	44,7	21,4	11,4	7,7
Deux roues	9,9	2,8	1,1	0,9	0,6	10,5	3,0	1,2	1,0	0,6
Bus	142,5	28,2	13,5	7,2	4,8	151,6	30,0	14,4	7,6	5,1
€ ₂₀₁₅ /100 véh.km	2045									
	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain					
Véhicule particulier	24,2	6,6	2,6	2,0	1,4					
VP diesel	31,3	8,4	3,4	2,5	1,7					
VP essence	6,9	2,0	0,9	0,8	0,8					
VP GPL	5,5	1,5	0,6	0,5	0,3					
Véhicule utilitaire léger	49,5	13,3	5,2	3,7	2,5					
VU Diesel	51,7	13,9	5,4	3,8	2,5					
VU essence	9,7	2,9	1,4	1,2	1,2					
PL diesel	286,0	56,7	27,1	14,4	9,8					
Deux roues	13,3	3,8	1,5	1,2	0,8					

Bus	192,2	38,0	18,2	9,7	6,4
-----	-------	------	------	-----	-----

Figure 70 : Valeurs tutélaires (en €2015/100véh.km) déclinées par type de véhicule

Les valeurs tutélaires, faisant une distinction entre la motorisation des VP et VUL (essence, diesel ou GPL), ont été pondérées en fonction de la répartition du parc roulant des années étudiées et de la typologie du parc (urbain, rural ou autoroutier). Les données sont regroupées dans le tableau suivant. Les véhicules électriques et hybrides sont regroupés dans la catégorie VP faute de valeur tutélaire appropriée.

2.5.9.2.2. Répartition du type de motorisation en fonction de l'année et de la typologie de l'axe routier

Parc	Urbain			Rural			Autoroutier		
	2019	2025	2045	2019	2025	2045	2019	2025	2045
VP essence	32,0%	32,4%	16,1%	27,9%	29,5%	14,8%	22,8%	21,6%	11,2%
VP diesel	64,7%	55,5%	18,8%	69,0%	58,7%	20,3%	74,0%	67,3%	24,6%
VP GPL	3,3%	12,1%	65,1%	3,1%	11,8%	64,9%	3,2%	11,1%	64,3%
VUL essence	0,9%	2,2%	14,3%	0,9%	3,0%	18,6%	1,2%	2,5%	16,0%
VUL diesel	99,1%	97,8%	85,7%	99,1%	97,0%	81,4%	98,8%	97,5%	84,0%

Les valeurs sont recalculées et présentées dans le tableau suivant pour les VP et VUL.

2.5.9.2.3. Valeurs tutélaires (en €₂₀₁₅/100véh.km) déclinées par type de véhicule par année et par typologie de voie

Catégorie	Année	Typologie	Urbain Très dense (€/100 véh.km)	Urbain dense (€/100 véh.km)	Urbain (€/100 véh.km)	Urbain diffus (€/100 véh.km)	Interurbain (€/100 véh.km)
VP	2019	Urbain	16,8	4,6	1,9	1,4	1,0
		Rural	17,5	4,8	1,9	1,4	1,0
		Autoroutier	18,5	5,0	2,0	1,5	1,1
VUL		Urbain	38,0	10,3	4,0	2,8	1,8
		Rural	38,0	10,3	3,9	2,8	1,8
		Autoroutier	37,9	10,2	3,9	2,8	1,8
VP	2025	Urbain	16,0	4,3	1,8	1,3	1,0
		Rural	16,6	4,5	1,8	1,4	1,0
		Autoroutier	19,6	5,3	2,2	1,6	1,1

Catégorie	Année	Typologie	Urbain Très dense (€/100 véh.km)	Urbain dense (€/100 véh.km)	Urbain (€/100 véh.km)	Urbain diffus (€/100 véh.km)	Interurbain (€/100 véh.km)
VUL		Urbain	40,0	10,8	4,2	3,0	1,9
		Rural	39,8	10,7	4,1	3,0	1,9
		Autoroutier	39,9	10,8	4,2	3,0	1,9
VP	2045	Urbain	10,6	2,9	1,2	0,9	0,6
		Rural	10,9	3,0	1,2	0,9	0,7
		Autoroutier	24,9	6,7	2,7	2,0	1,4
VUL		Urbain	45,7	12,4	4,8	3,5	2,3
		Rural	43,9	11,9	4,6	3,3	2,2
		Autoroutier	44,9	12,2	4,7	3,4	2,3

2.5.9.2.4. Coût tutélaire lié à l'effet de serre additionnelle

Les valeurs tutélaires de la note méthodologique de 2019 réactualisée sont récapitulées ci-dessous :

	T CO ₂ en € ₂₀₁₅
2010	33,5
2019	70,3
2025	168,3
2045	611,9

Figure 71 : Valeurs tutélaires de la tonne de CO₂

Les émissions de CO₂ du projet sont estimées à partir des facteurs d'émissions de COPERT V.

- Les observateurs fixes et permanents, soit les riverains et les villégiateurs, sont souvent très intéressés à la qualité du paysage qui les entoure. Ce paysage constitue un environnement quotidien. Il peut être un facteur déterminant du choix du lieu de résidence. De plus, ils peuvent porter attention à une grande quantité d'éléments du paysage. Ainsi, la sensibilité des observateurs fixes et permanents (riverains, villégiateurs) est généralement forte ;
 - Les observateurs fixes et temporaires, soit les adeptes d'activités récréatives, les utilisateurs de chemins de randonnées, etc., sont également intéressés à leur environnement visuel. Il s'agit souvent d'un critère de choix du lieu de pratique de leurs activités. Cependant, ils observent le paysage de façon moins prolongée et moins régulière que les observateurs permanents.
 - Les observateurs mobiles, comme les automobilistes, perçoivent principalement les grandes composantes ou les traits dominants du paysage et ce, pendant une courte durée. Ainsi, la sensibilité des observateurs mobiles (automobilistes) est généralement plus faible.
- **Le rayonnement de l'impact.** Le degré de perception tient également compte de l'envergure des populations pouvant être concernées par la présence de l'aménagement, selon le rayonnement spatial de l'impact. Ce rayonnement est évalué en fonction de la proportion de la population qui sera touchée. Trois niveaux de rayonnement sont possibles :
- Un rayonnement régional ;
 - Un rayonnement local ;
 - Un rayonnement ponctuel.

2.6.2.4. La mise en relation des trois critères

La mise en relation de ces trois critères d'analyse permet de définir, **quatre degrés de perception de l'aménagement ou de portée de l'impact** :

- **Une perception très forte** : le degré d'exposition visuelle des observateurs est élevé, leur sensibilité face aux composantes touchées est importante et l'impact est ressenti par l'ensemble ou par une proportion significative du champ visuel ;
- **Une perception forte** : plusieurs cas,
 - Le **degré** d'exposition visuelle est fort, la sensibilité de l'observateur face au paysage touché peut être fort, mais la proportion d'individus pouvant ressentir l'impact est modérée ;
 - Ou, le **degré** d'exposition visuelle est fort, ainsi que le nombre d'observateurs pouvant ressentir l'impact, mais la sensibilité des observateurs face aux composantes touchées est limitée.
- **Une perception moyenne** : le degré d'exposition visuelle est limité, la sensibilité de l'observateur face au paysage touché est modérée et ce, même si la proportion d'observateurs pouvant ressentir l'impact est fort.
- **Une perception faible** : le degré d'exposition visuelle de l'observateur face à l'aménagement est faible, la sensibilité de l'observateur face aux composantes touchées est faible et l'impact visuel est ressenti par un groupe restreint d'individus.

Impacts visuels sur le territoire vis-à-vis du paysage actuel	
Impact	Commentaires
Très fort	Il existe une co-sensibilité forte entre le point de vue et le projet.
Fort	Il existe une co-sensibilité entre le point de vue et le projet. Le projet modifiera les perceptions existantes.
Assez fort	Il existe une co-sensibilité limitée entre le point de vue et le projet. Le projet ne modifiera pas ou peu les perceptions existantes.
Moyen	Le point de vue est compris dans l'aire d'étude d'impact, mais il n'est quasiment pas concerné par le projet.
Faible à nul	Le point de vue est compris dans l'aire d'étude d'impact du projet, mais il reste indifférent à ce dernier.

Figure 73 : Tableau d'évaluation des impacts visuels sur le territoire vis-à-vis du paysage local (Source : Ingérop)

2.7. Bilan GES

2.7.1. Méthodologie d'évaluation

L'approche globale de l'évaluation GES des infrastructures est basée sur la méthode *Bilan Carbone*®. Initialement conçue pour les organisations, elle permet de quantifier les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la consommation des ressources nécessaires au déroulement de leurs activités dans un périmètre établi. Ainsi, un projet routier n'existe que parce que des usagers y circulent. Ces mêmes usagers ne peuvent utiliser leur véhicule que si de l'énergie est disponible (carburant, électricité).

Afin d'identifier la provenance des émissions GES, la comptabilité carbone effectuée suivant la méthode *Bilan Carbone*® permet de faire la différence entre :

- les émissions de gaz à effet de serre qui prennent place au sein du périmètre de l'entité, issues des sources détenues ou contrôlées par l'organisation en question (Scope 1),
- les émissions qui prennent place à l'extérieur de ce périmètre, mais qui sont tout de même nécessaires au déroulement des activités (Scope 2 et 3). Ces émissions concernent notamment la production et distribution d'énergie ainsi que celles liées aux phases du cycle de vie autres que la fabrication (transport, utilisation, fin de vie)

Les émissions qui figurent dans un Bilan GES ne sont donc pas uniquement celles dont l'entité est directement responsable, mais également celles dont elle dépend pour exister. Le degré de responsabilité s'appréciera en fonction des émissions considérées, du contexte d'ensemble et également de ses propres critères. Ainsi, l'analyse ne s'arrête pas à la détermination du degré de responsabilité de l'entité évaluée.

2.7.1.1. Gaz-à-effet de serre pris en compte

Pour l'heure, toutes les méthodes standardisées ou officielles d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre partagent quelques caractéristiques :

- seuls sont comptabilisés les gaz émis, et non ceux qui apparaissent dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques ou photochimiques grâce à des émissions de précurseurs (cas de l'ozone troposphérique),
- seuls sont comptabilisés les gaz émis dans la troposphère, et non ceux émis dans la stratosphère (cas d'une partie des émissions des avions en vol).

Les gaz à effet de serre qui correspondent à cette définition sont essentiellement ceux qui sont repris dans le cadre du protocole de Kyoto - initiative internationale phare en matière de réduction des gaz à effet de serre :

- le gaz carbonique (CO₂) d'origine fossile, dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- le méthane (CH₄), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de la décennie,
- le protoxyde d'azote (N₂O), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- les hydrofluorocarbures (CnHmFp), dont la demi-vie dans l'atmosphère s'échelonne de quelques semaines à quelques siècles,
- les perfluorocarbures (CnF_{2n+2}), dont demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires,
- l'hexafluorure de soufre (SF₆), dont demi-vie dans l'atmosphère est de quelques milliers d'années.

2.7.1.2. Principes de l'évaluation

Afin d'assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, plusieurs principes guident la réalisation du bilan :

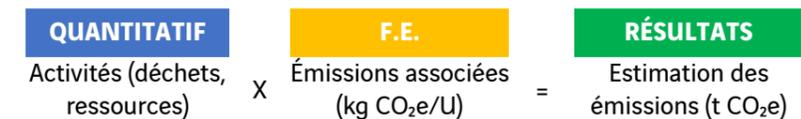
- Exhaustivité : il inclut toutes les informations dimensionnantes concernant les activités entraînées par le projet sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Pertinence : l'évaluation carbone est approfondie et des mesures de réduction sont proposées pour les activités responsables des émissions GES majorantes.
- Consistance : les calculs des émissions sont réalisés en utilisant les mêmes critères et hypothèses ce qui assure la comparabilité des résultats.
- Transparence : les données d'entrée (données d'activité du projet, facteurs d'émission) et hypothèses sont introduites et annexées dans le bilan GES et ses sources citées.

- Prudence : le calcul des émissions GES est prudent quant aux hypothèses et valeurs prises en compte dans l'évaluation en se basant sur les situations le plus vraisemblables.
- Précision : toute évaluation carbone est approximative c'est pourquoi elle inclut les incertitudes associées aux calculs des GES.

2.7.1.3. Principe de calcul

Le principe de calcul utilisé est basé sur une méthode d'estimation indirecte des GES engendrés par les activités évaluées (pas de mesure directe). En effet, les activités (quantifiées suivant l'unité choisie) combinées à leurs facteurs d'émission (kg CO₂e/unité) permettent d'estimer les GES émis. Le principe de calcul est montré dans la **Figure 74**.

Figure 74 : Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure



2.7.1.4. Périmètre de l'évaluation

Pour périmètre temporelle plusieurs approches peuvent être utilisées. Le choix dépendra des données disponibles et de sa pertinence par rapport au projet :

- La période de concession ;
- Le périmètre temporel de l'évaluation socio-économique (qui en théorie s'étale jusqu'en 2140) ;
- La durée d'évaluation des études air et santé fixée à 20 ans (sans autre données il permet d'évaluer l'impact du projet des usagers sur cette période) ;
- La recommandation du CEREMA de 50 ans (mais qui peut entraîner des problèmes sur la projection des usages du projet).

Quant au périmètre spatial de l'évaluation, il est décomposé en deux. Le premier concerne le périmètre des travaux qui, dans le cadre de cette évaluation se limite aux emprises du projet ainsi que des ouvrages annexes. Les installations temporaires telles que les cantonnements, la base de vie et les dépôts doivent être aussi considérés dans ce périmètre.

Le second est défini par l'aire d'influence du projet sur les usagers. Il est à noter que le total des émissions véhiculaires n'est pas comptabilisé dans ce périmètre mais plutôt la différence entre les scénarii référence et projet. L'objectif est de prendre en compte l'impact du projet sur la circulation afin d'évaluer les effets sur la consommation énergétique. Cette distinction permet une approche cohérente vis-à-vis de l'esprit de la méthodologie *Bilan Carbone*®. Ainsi, ce périmètre s'apparente à celui d'une évaluation socio-économique et reprend souvent les emprises relevées par l'étude de trafic.

2.7.1.5. Les données d'activité

Les données d'activité comprennent l'ensemble des consommations de ressources telles que les matériaux, l'énergie, mais aussi la production de déchets. L'ensemble de ces flux est établi à partir des estimations, projections et relevés des activités menées dans le périmètre spatio-temporel défini pour l'évaluation environnementale de l'infrastructure.

Ces données sont issues des informations contenues dans les plans du projet, les détails quantitatifs estimatifs, la consommation énergétique des équipements ainsi que d'autres informations et hypothèses renseignées par les équipes de conception. Ainsi, chacun des travaux renseignés dans le DQE fait l'objet d'une décomposition permettant d'établir les inventaires de cycle de vie du projet (voir exemple dans le **Tableau 1**)

Afin de structurer l'évaluation, les ICV sont établis par élément fonctionnel. En effet, les éléments fonctionnels représentent les sous-ensembles qui constituent une infrastructure et qui assurent son fonctionnement. Par exemple, dans le cas d'un projet urbain, la signalisation des voiries est constituée de plusieurs éléments fonctionnels tels que le marquage au sol, la signalisation verticale statique et dynamique. Chacun de ces éléments fonctionnels requièrent des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (p.ex. dans le cas de la signalisation dynamique ou la SLT).

Tableau 1 : Exemple simplifié d'un inventaire de cycle de vie pour des travaux de démolition

Travaux préparatoires				
Dégagement d'emprises				
Démolition				
Inventaire E1	Inventaire E2	Inventaire E3	Qté.	UF.
Fret	Routier entrant	Ensemble articulé porte voitures, PTR A 40T	19 800	tonne.km
Énergie	Combustibles	Gasoil non routier	3 126	litre
Fret	Routier sortant	Ensemble articulé benne TP, PTR A 40T	31 779	tonne.km
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets inertes en mélange	794	tonne

2.7.1.6. La base de données

Les facteurs d'émissions (FE) s'expriment en kgCO₂e par unité (e pour équivalent) et permettent de retranscrire l'impact carbone d'un matériau, d'une activité ou d'une consommation énergétique. Ils sont majoritairement issus de la base ADEME mais peuvent également être complétés par des bases externes lorsque les informations manquent (Base INIES, DIOGEN, Ecoinvent ou directement les FDES des fournisseurs).

Le choix des FE utilisés a été hiérarchisé de la façon suivante selon les disponibilités :

- Base ADEME
- Base INIES
- FDES de fournisseurs et autres bases génériques (DIOGEN, CERIB, BETie, etc.)
- Ecoinvent
- Construction du FE en considérant le FE du matériaux principal (exemple : Pour une armoire électrique en acier, il sera considéré le poids de l'armoire auquel sera associé le FE de l'acier)

De même, certains facteurs d'émission sont construits à partir de l'outil *Bilan Produit* faisant partie de la Base Impacts® de l'ADEME. Cet outil sert à estimer les émissions engendrées par la production de certains équipements dont les processus de fabrication est plus important que celui du matériau principal. Tel est le cas des glissières métalliques et des panneaux de signalisation routière par exemple. Ces équipements comportent des traitements de surface non négligeables (respectivement galvanisation et thermolaquage).

Pour s'adapter aux avant-métrés des différents travaux, les FE sont convertis à l'unité du métier, appelée *unité fonctionnelle*. Par exemple : si un métier indique une quantité de béton en m³ alors que le FE est exprimé en kg CO₂e/tonne, le FE est alors converti en kg CO₂/m³ à partir de la masse volumique ~2,35 tonne/m³.

2.7.1.7. Incertitudes des données

Toutes les données sont assorties d'une incertitude représentant la variabilité des valeurs estimées. Elles sont déterminées en fonction :

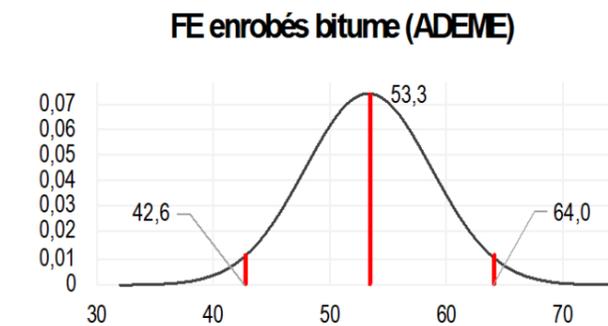
- d'hypothèses sur des données qui ne peuvent à cette phase être définies (origine des matériaux, lieux d'évacuation, études en cours d'élaboration...);
- des évolutions probables du projet (déblais, remblais, structure de la voie...);
- de la difficulté à estimer une variable (consommation énergétique du chantier, distance parcourue par le personnel...);
- des facteurs d'émissions associés à partir des indicateurs statistiques renseignés dans les bases de données.

Les incertitudes sont représentées par un pourcentage qui indique la variabilité associée à la valeur moyenne employée. Ce pourcentage est calculé à partir de l'intervalle de confiance à 95% résultant de la distribution des valeurs recueillies. Ainsi, l'exemple présenté dans la **Figure 75**, montre la distribution des FE des enrobés bitume (en kg CO₂e/tonne) calculés par l'ADEME sur la base des données recueillies auprès des fabricants.

À partir de cette distribution, l'intervalle de confiance à 95% (délimité en rouge) permet de calculer l'incertitude associée. Ainsi, le FE des enrobés bitume est de 53,3 kg CO₂e/tonne, avec une incertitude de 20%. Cela indique que la valeur attendue se trouve entre 42,6 et 64 kg CO₂e/tonne, avec une haute probabilité qu'elle soit autour de 53,3 kg CO₂e/tonne.

Afin de donner un ordre de grandeur de la variabilité des émissions estimées, la superposition des incertitudes liées aux FE et aux données d'activité est faite en appliquant la méthode de calcul du *Bilan Carbone*®. Cette méthode permet d'estimer l'incertitude totale pour chaque émission calculée ainsi que d'agréger les données afin d'obtenir l'incertitude totale pour l'ensemble de l'évaluation.

Figure 75 : Distribution de probabilité du facteur d'émission des enrobés bitume calculé par l'ADEME



2.7.1.8. Axes de l'évaluation

En plus de la méthode de calcul *Bilan Carbone*®, l'évaluation des GES suit une approche ascendante (*bottom-up*), inspirée de l'analyse du cycle de vie (ACV). En effet, il s'agit d'un exercice d'exhaustivité visant à modéliser de la façon la plus représentative possible l'ensemble de flux de matière et d'énergie induits par les activités qui prennent place dans le périmètre d'évaluation de l'infrastructure.

Les données d'activité permettent de modéliser les flux engendrés par chacun des éléments fonctionnels de l'infrastructure. Cette modélisation prend la forme d'un inventaire de cycle de vie qui récapitule l'ensemble des consommations et des sous-produits générés. Ces inventaires sont structurés suivant trois axes principaux : le cycle de vie de l'infrastructure, les éléments fonctionnels mis en service par les différents métiers et leur décomposition suivant les postes d'émission évalués.

2.7.1.8.1. Le cycle de vie des infrastructures

Dans le cas des infrastructures de transport, l'ensemble du cycle de vie est décomposé en 5 phases : construction, utilisation, maintenance, exploitation et fin de vie. Chacune d'entre elles regroupe les différentes phases du cycle de vie allant du A1 au C4 :

- Construction (A1-A5) : cela comprend le contenu carbone des intrants (A1-A3), l'acheminement au chantier (A4) et la mise en œuvre (A5). Les émissions liées aux travaux de démolition et dégagements des emprises existantes sont comprises dans la phase A5 car elles font partie des travaux nécessaires à la mise en œuvre des éléments du projet.
- Utilisation (B1) : cela inclut les émissions des usagers par type de véhicule (VL, PL) et par tranche de vitesse. L'évaluation de ces émissions peut être effectuée en appliquant les facteurs d'émission de combustion de *COPERT IV* ou les FE de la base ADEME.
- Maintenance (B2-B5) : cette évaluation suit la même logique travaux de la phase construction. Cette phase inclut les travaux de remplacement, de réparation et de réfection des emprises du projet selon la durée de vie (ou jouvence) définie pour chacun des éléments fonctionnels du projet. Par exemple, la période moyenne de renouvellement de la couche de roulement d'une chaussée est de 10 ans. En plus de travaux de mise en œuvre, les travaux de démolition de l'existant sont inclus dans cette phase.
- Exploitation (B6) : les émissions liées aux consommations énergétiques des équipements d'exploitation (éclairage, signalisation, péages) ainsi qu'aux déplacements du personnel de service sont incluses dans cette phase.
- Fin de vie (C1-C4) : en pratique, les projets d'infrastructure n'ont pas pour objet à être démantelés, la fin de vie est souvent exclue du périmètre. Néanmoins, ces travaux sont abordés comme les travaux préalables en phase construction : démantèlement, démolition, dépose et la remise en état des anciennes emprises de l'infrastructure.

2.7.1.8.2. Les corps de métier

Afin de faciliter l'évaluation de l'empreinte carbone, la préconisation des mesures de réduction et le suivi des émissions GES du projet étudié, l'évaluation carbone est aussi structurée autour de la nature des travaux réalisés par corp de métier.

En effet, chaque corps de métier assure la mise en œuvre des éléments constituant l'infrastructure. Par exemple, la signalisation routière est constituée de plusieurs éléments tels que le marquage au sol, les panneaux de signalisation statique et dynamique. Chacun de ces éléments requiert des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (électricité dans le cas de la SLT et les PMV par exemple).

De plus, chaque élément a une durée de vie déterminée après laquelle il doit être rénové ou refait. Ainsi, à chaque élément fonctionnel lui est associée une jouvence, c'est-à-dire, un chiffre correspondant au nombre de fois que cet élément est remplacé dans la période étudiée. Par exemple, pour le marquage au sol dont la durée de vie est de 10 ans et pour une période d'évaluation de 30 ans, la jouvence attribuée est de 3.

Chaque élément est caractérisé par une **unité fonctionnelle** définie suivant la fonction d'usage accomplie par l'élément en question. Par exemple, dans le cas d'une glissière, l'unité fonctionnelle retenue est le ml.

2.7.1.8.3. Postes d'émissions GES et méthodologie de calcul

Les émissions totales produites par un projet d'infrastructure sont décomposées en différents postes. Les postes d'émissions représentent les flux principaux engendrés par le projet évalué. Brièvement, les postes d'émission principaux retenus dans la méthodologie d'évaluation sont :

- les intrants, matériaux, dispositifs et appareils intégrés aux éléments fonctionnels de l'infrastructure ;
- l'énergie, d'une part celle utilisée lors des travaux de construction et maintenance et d'autre celle consommée par l'exploitation et l'utilisation de l'infrastructure ;
- les déchets, engendrés par les travaux préparatoires (démolition, dégagement des emprises et terrassement), les travaux de mise en œuvre (chutes et emballages) et les installations de chantier (base de vie) ;
- le fret, pour le transport dans les emprises du projet (interne), l'amené des intrants et des engins (entrant) et l'évacuation des déchets (sortant) ;
- les déplacements, correspondant aux trajets effectués par les employés lors des travaux et pour le fonctionnement de l'infrastructure ;
- les immobilisations, correspondant à l'amortissement du matériel utilisé pendant les travaux tels que les engins de chantier ou les installations provisoires (base de vie).

2.7.1.9. Émissions des travaux

Pour le calcul des émissions des travaux, les données d'entrée (plan, quantitatifs, estimatifs) doivent permettre de répertorier l'ensemble des éléments fonctionnels à réaliser dans le cadre de la construction de l'infrastructure. Par exemple, dans le cas d'une route, les éléments fonctionnels principaux sont : les couches de fondations, les couches de roulement, les réseaux d'assainissement, la signalisation horizontale et verticale, etc.

Lorsque les éléments fonctionnels ont été identifiés, les inventaires de cycle de vie pour chacun sont établis. Ces inventaires prennent en compte les flux induits par les travaux de construction et de maintenance suivant les six postes d'émission présentés. La méthodologie générale d'évaluation de ces postes est présentée dans les sous-sections suivantes.

2.7.1.9.1. Intrants

Les émissions GES des intrants correspondent à leur contenu carbone, c'est-à-dire, la quantité de GES émise lors de l'extraction des matières premières, leur transport à l'usine et le processus de fabrication (phases A1-A3 du cycle de vie).

Ces émissions ne sont pas calculées dans le cadre de l'évaluation carbone des infrastructures. Elles sont obtenues soit à partir des FE communiqués par les fabricants, soit à partir des FE compilés dans les bases de données carbone (ADEME, INIES, Ecoinvent®).

Les quantités d'intrants sont directement obtenues des métrés et des détails estimatifs des travaux. D'autres fournitures associées sont aussi intégrées dans l'évaluation lorsqu'elles sont pertinentes sur le plan carbone. Par exemple, pour la réalisation des chaussées en enrobé bitumineux, la couche d'imprégnation doit être aussi prise en compte.

2.7.1.9.2. Énergie

Quantifier les émissions issues de l'exécution des travaux requière la définition des engins qui constituent les ateliers de construction. Ainsi, leur consommation de carburant doit être estimée avant le calcul des émissions GES. Dans le cas où la consommation de carburant n'est pas connue par les équipes de travaux, la méthodologie EMEP - CORINAIR de l'European Environment Agency (EEA) peut être appliquée. Le document méthodologique concerné est : « *air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.4 - Non-road mobile sources and machinery* ».

L'approche Tier 3 de la méthode permet de déterminer la consommation horaire de carburant en fonction de la puissance des engins de chantier. Par exemple, pour des travaux de terrassement, un bulldozer de 131 kW est utilisé pendant 10 jours, 8 heures par jour. Le facteur de consommation (FC) est de 250 g/kWh. En partant d'une hypothèse d'utilisation de 75 %, la puissance moyenne en utilisation de l'engin est de 131*0,75 soit 98,25 kW. Il fonctionne pendant 80 heures soit une consommation de 1,97 tonnes de carburant (98,25*80*250*10⁻⁶). Avec une masse volumique de 860 kg/m³, 22 800 litres de diesel ont été consommés. Ensuite, l'ADEME indique un FE de 3,17 kgCO₂e par litre de gazole consommé. Ainsi, le total émis par le bulldozer est de 72,3 tCO₂e.

Tableau 2 : Consommation de carburant par puissance d'engin de Type Stage V. Source EMEP - EEA

Puissance maximale (kW)	0 - 19	20 - 36	37 - 55	56 - 74	75 - 129	130 - 559	> 560
Consommation diesel (g/kWh)	270	262	260	260	255	250	250

Tableau 3 : Consommation de carburant par cylindrée 2T essence de Type Stage V. Source EMEP - EEA

Cylindrée 2 T (cm3)	Consommation essence (g/kWh)
20-65	500
>65	652

2.7.1.9.3. Fret

Afin de distinguer l'impact du fret des intrants et des déchets évacués, le fret est divisé entre le fret entrant, sortant et interne. L'approche retenue pour l'estimation du fret est celle du volume transportée en *tonne.km*. Cette approche est mieux adaptée pour le fret lourd car au contraire de l'approche déplacement (en *véh.km*), elle ne nécessite pas d'hypothèse de foisonnement.

Les distances d'approvisionnement doivent être détaillées pour chacun des engins, matériels, matériaux et déchets concernés. Les distances sont essentiellement choisies en fonction de :

- la disponibilité de la ressource, plus elle est disponible plus elle est considérée comme proche ;
- la distance vers les sites d'approvisionnement (matériaux) et d'évacuation (déchets).

Lorsqu'il s'agit d'une évaluation GES en phase de conception en amont, des hypothèses récurrentes des distances de transport sont à établir, parmi elles on retrouve :

- la distance d'évacuation des déchets par défaut,
- la distance au stockage temporaire (concernant les mouvements de terre).

Tableau 4 : Hypothèses pour les distances de fret d'évacuation/approvisionnement

Inv. E1	Inv. E2	Distance (km)
Intrants	Acier	100; 300; 500

	Aluminium	300
	Asphalte	100
	Autres métaux	500
	Bois	200
	Béton hydraulique	50
	Béton préfabriqué	100
	Céramique/terre cuite	300
	Enduits/revêtements résine	1000
	Enrobés bitume	100
	Graviers/granulats	50; 200
	Liant hydraulique	100
	Matériel électronique	500; 1000
	Plastiques/polymères	300
	Ratios	1200
	Verre	500
	Végétation	50
Immobilisations	Bâtiments/EP	200
	Véhicules, Machines et Outils	200
Déchets	Déchets bâtiment	5; 40
	Déchets dangereux	100
	Déchets plastiques	40
	Ordures ménagères	40; 200

Dans le cas du transport routier, les engins retenus pour le calcul des émissions GES varient en fonction des objets transportés. La liste des engins utilisés pour l'évaluation GES et ses facteurs d'émission est détaillée dans le **Tableau 5**.

Quant aux autres modes de transport, en particulier du fret ferroviaire et fluvial, des études logistiques spécifiques sont nécessaires. En effet, ces modes de transport requièrent une analyse préalable concernant l'existence des infrastructures ainsi que des pôles d'échange nécessaires aux derniers kilomètres parcourus.

Tableau 5 : Émissions GES (kg CO₂e/t.km) par engin de transport. Source : base ADEME

Engins de transport	Total GES (kg CO ₂ e/t.km)
Ens. art. PTR A 40T, benne TP [1]	0,117
Ens. art. PTR A 40T, marchandises diverses, longue distance [1]	0,096
Ens. art. PTR A 40T, citerne [1]	0,098
Ens. art. PTR A 40T, porte voitures [1]	0,220
Toupie béton 8 m3	0,070

2.7.1.9.4. Déchets

La production de déchets lors de phases de construction et de maintenance est gérée suivant deux schémas. Le premier concerne les déchets générés par les travaux de démolition et de dégagement des emprises (débroussaillage, déboisement, etc.). Ces déchets sont considérés comme étant directement évacués et ainsi comptabilisés dans les métiers qui les produisent. Par exemple, la démolition d'une couche de roulement est comptabilisée dans le métier « chaussées ».

Le deuxième concerne les déchets engendrés par les intrants : les emballages, les chutes et les pertes qui sont imputés aux installations temporaires (benne déchets en base vie). Les quantités de déchets sont estimées à partir d'un pourcentage de la masse de l'unité fonctionnelle concernée. En prenant comme exemple une tonne de béton préfabriqué, les déchets générés sont : 56 kg de béton hydraulique (liés à la mise en œuvre) et 50 kg d'emballages (bois, carton et film plastique). Ces pourcentages pris en compte sont issus des FDES de l'INIES et des données métiers. Un extrait de ces pourcentages est présenté dans le **Tableau 6**.

Les emballages et chutes ainsi que les déchets ménagers et les eaux usées sont attribués au chantier et la base vie.

Tableau 6 : Matrice de production des déchets issus des fournitures (chutes et emballages)

Matériaux	Métaux	Déchets non dangereux	Déchets inertes	Bois B	Plastique moyen
Acier	0,025	0	0	0,004	0,003
Aluminium	0,025	0	0	0,004	0,003
Asphalte	0	0,015	0	0,0375	0,0125
Béton hydraulique	0	0	0,003	0	0
Béton préfabriqué	0	0	0,056	0,0375	0,0125
Bois	0	0	0	0,0375	0,0125
Enduits/revêtements résine	0	0	0	0,0375	0,0125
Enrobés bitume	0	0,015	0	0	0
Liants hydrauliques	0	0	0	0,0375	0,0125
Matériel électronique	0	0	0	0,0375	0,0125
Plastiques/polymères	0	0	0	0,0375	0,0125
Végétation	0	0	0	0	0,01

2.7.1.9.5. Déplacements

Pour le déplacement du personnel il n'a été considéré que des trajets routiers dans le cas des projets d'infrastructure. Les distances domicile-travail tout comme la répartition modale des trajets peuvent être prises des enquêtes ménages déplacements de la zone du projet. S'il s'agit d'une zone périurbaine rurale, peu desservi par des lignes de transports en commun réguliers, la part modale peut être assimilée intégralement à des déplacements en voiture particulière.

Le nombre de déplacements domicile/travail est estimé par phase de vie du projet. Ce nombre est donné par la durée des travaux et les cadences de production (phase construction et maintenance), ainsi que par le personnel d'exploitation prévisionnel. Les FE retenus sont ceux de l'ADEME. Par exemple, les trajets en voiture particulière en périphérie urbaine émettent 0,3254 kgCO₂e/véh.km.

En phase d'exploitation, le nombre de employés nécessaires à l'opération des installations est obtenu à partir du retour d'expérience de la société en charge. À partir de ce nombre et des horaires de présence prévisionnels, le nombre de déplacements (en passagers.km) est déterminée sur la période d'évaluation concernée.

2.7.1.9.6. Immobilisations

Les immobilisations correspondent à l'ensemble des moyens matériels et aux installations temporaires qui sont nécessaires à la réalisation du projet. Dans les immobilisations du projet sont considérés les engins de chantier et d'entretien ainsi que la base vie et les cantonnements du chantier. Afin de tenir compte de l'empreinte carbone générée par leur fabrication, le total des émissions est amorti sur la durée d'utilisation dans le cadre du projet.

Les facteurs d'émission utilisés sont calculés sur la base de données de l'ADEME. Ainsi, on retient le FE des machines (3 670 kgCO₂e/t) pour les engins de chantier et d'entretien, et le FE des bureaux en métal (158 kgCO₂e/m²) pour les cantonnements et la base vie.

Pour pouvoir adapter ces FE à l'utilisation réelle des engins, ils ont été convertis en kgCO₂/(tonne.jour) en considérant une durée de vie de 20 ans pour les engins et une utilisation annuelle de 251 jours (équivalent jours ouvrés). Le FE initial est donc divisé par 5020 (20*251) ce qui correspond à 0,73 kgCO₂e/(tonne.jour). De la même façon, on obtient le FE des cantonnements qui correspond à 0,032 kgCO₂e/(t.m²).

2.7.1.10. Émissions hors travaux

2.7.1.10.1. Études de conception et contrôle technique

La quantification des émissions liées aux études de conception et aux contrôles techniques est faite sur une approche macroéconomique. L'ADEME définit des ratios monétaires pour différents secteurs d'activités en tenant compte des émissions consignées dans les Bilan Carbone® des entreprises. Ainsi, en phase conception un ratio monétaire est appliqué au montant des études : 110 kgCO₂e/k€ (ratio monétaire pour une activité de conseil). Quant aux contrôles techniques, le ratio appliqué est de 170 kgCO₂e/k€ (ratio monétaire pour une activité de service d'architecture et d'ingénierie).

2.7.1.10.2. Changement d'affectation du sol

Une modification dans l'affectation du sol engendre l'émission de GES ainsi qu'un changement dans les capacités de captation de carbone. Pour tenir compte de cet impact, l'ADEME propose une méthode d'évaluation sur la base des dynamiques de stockage carbone en fonction du type de sol étudié. Par exemple les FE proposés par l'ADEME pour un changement d'affectation d'un sol *Cultivé* vers un sol *imperméabilisé* est de 190 t CO₂e/ha.

Tableau 7 : Facteurs d'émissions pour les changements d'affectation du sol proposés par l'ADEME (en t CO₂/ha.an et en t CO₂/ha)

	Cultures	Prairies	Forêts	sols non imperm.	sols imperm.
Cultures en terres arables		-1,80	-1,61	0	190
Prairies permanentes	3,48		-0,37	0	290
Forêts	2,75	0,37		0	290

2.7.1.10.3. Consommation d'énergie des équipements

Mis à part la consommation de carburant des engins de chantier, d'autres postes de consommation directe d'énergie sont identifiés dans le cycle de vie du projet. En particulier, la consommation des équipements techniques d'exploitation de l'infrastructure ne doit être pas négligée. Les consommations d'énergie de ces derniers sont estimées à partir du bilan puissance réalisé pour le dimensionnement des installations.

À la puissance nécessaire, un temps d'utilisation annuel est attribué à chacun des équipements en fonction de leur usage (en supplément des coefficients de simultanéité et d'utilisation). Le produit de ces données permet de calculer l'électricité consommée en kWh. D'autres consommations, telles que le chauffage ou l'ECS sont aussi à intégrer. Ainsi, toute consommation d'énergie (gaz, bois, essence) doit être identifiée. Les FE utilisés sont ceux de l'ADEME qui répertorie l'intégralité des sources d'énergie en France et propose différentes unités de mesure (tep, GJ, kWh, kWh PCI, kWh PCS, etc.)

2.7.2. Note de Calcul du gisement d'économies GES

2.7.2.1. Analyse des émissions majoritaires

À l'issue du bilan GES effectué pour les différentes phases du cycle de vie de l'infrastructure, les éléments les plus émetteurs du projet ont été identifiés. En prenant en compte les émissions de ces postes ainsi que leur potentiel de réduction de GES, six corps de métiers ont été retenus pour effectuer une analyse détaillée. Cette analyse vise à apporter les sous-détails des émissions calculées afin de proposer des mesures de réduction.

Les mesures de réduction sont accompagnées d'une estimation du potentiel de réduction calculée pour chacun de ces corps de métier. À ce stade de l'étude ces calculs incorporent des fortes incertitudes et les émissions réduites calculées correspondent au gisement d'économies carbone. Il est à noter que la notion de gisement correspond à des économies futures si les prescriptions sont respectées en phase chantier.

Cependant, l'exploitation de tout ou partie de ce gisement nécessite la validation d'un certain nombre d'hypothèses qui peuvent évoluer suivant l'avancement des études dans la phase de conception. Ainsi, les résultats présentés ne sont pas définitifs et constituent une première estimation qui sera affinée, approfondie et complétée avec le reste de mesures comprises dans le dossier environnemental.

2.7.2.2. Démarche et axes de réduction

Les mesures de réduction des émissions GES suivent deux axes principaux. Le premier consiste à privilégier les matériaux à contenu carbone bas. En effet, du fait de leur énergie grise, les intrants sont souvent le poste GES majoritaire des projets d'infrastructures. Ainsi, les matériaux constituent le principal levier de réduction des émissions GES. Le recours à des matériaux recyclés et alternatifs permet de réduire de façon substantielle l'impact du projet. En plus, privilégier l'approvisionnement local des fournitures diminue la quantité de fret nécessaire et donc l'empreinte carbone globale.

Le second axe consiste à revaloriser et réutiliser les déchets produits par le projet. En effet, une partie importante des déchets des travaux de construction et maintenance des infrastructures peuvent être revalorisés sur site. Tel est le cas des gravats de démolition réutilisables dans les fondations mais aussi des matériaux recyclables triés et envoyés vers les filières correspondantes. En plus de la quantité des déchets à traiter, le fret d'évacuation est aussi réduit améliorant, ainsi le bilan GES de l'opération.

Ensuite, la démarche de maîtrise de l'empreinte carbone devra inclure un suivi des GES le long des étapes du projet assurant ainsi le respect des objectifs carbone qui font partie des engagements du MOA auprès des différentes parties prenantes. Enfin, le suivi assurera la compréhension et l'engagement des acteurs de la chaîne valeur dans la démarche de réduction des GES du projet.

2.7.2.2.1. Matériaux à contenu carbone réduit

Dans cette section sont abordées les mesures de réduction correspondant à l'utilisation des matériaux bas carbone dans les différents corps de métier. En plus de privilégier les matériaux bas-carbone, la démarche d'approvisionnement devra privilégier les fournitures auprès des entreprises locales afin de réduire les émissions du fret de livraison.

Concernant les corps de métier analysés, ils correspondent à des travaux dans lesquels le choix des matériaux alternatifs et recyclés est plausible vis-à-vis des contraintes techniques et des options bas-carbone existantes dans le marché.

D'autre part, les matériaux retenus pour l'analyse correspondent à ceux pour lesquels des alternatives connues existent et sont commercialisées. En ce sens, les fournitures telles que les équipements électroniques ou les enduits et revêtements ne sont pas pris en compte. Le **Tableau 8** récapitule l'ensemble des corps de métier et de matériaux faisant l'objet de mesures de réduction.

Tableau 8 : Récapitulatif des corps de métier, de la quantité et du contenu carbone des matériaux analysés

inv_n2	métier	masse (tonne)	GES (tCO ₂ e)
Acier	Bâtiments	6,97	8,57
	Chaussées et voiries	2,43	2,99
	Équipements	199	580
	Génie civil	1,16	1,53

Aluminium	Bâtiments	1,12	8,75
	Équipements	1,13	13
Béton hydraulique	Assainissement	62	2,70
	Bâtiments	130	14
	Chaussées et voiries	1 025	111
	Équipements	430	32
	Génie civil	1 000	46
Béton préfabriqué	Assainissement	62	8,55
	Bâtiments	32	1,82
	Équipements	358	42
Enrobés bitume	Chaussées et voiries	14 117	694
	Équipements	0,09	0,00
Graviers/granulats	Aménagements paysagers	73	1,47
	Assainissement	19	0,05
	Bâtiments	4,77	0,05
	Chaussées et voiries	25 632	66
	Équipements	2,87	0,01
	Génie civil	342	3,11
	Terrassement	5 994	15
Liant hydraulique	Chaussées et voiries	151	42
	Équipements	27	7,43
Plastiques/polymères	Assainissement	0,62	2,18
	Bâtiments	0,13	0,31
	Chaussées et voiries	171	210
	Équipements	0,56	8,19
Génie civil	5,34	75	

Le premier des matériaux abordé par l'analyse est le béton. En effet, sur l'ensemble du cycle de vie, les métiers retenus consomment un total de 3 922 tonnes, ce qui représente environ 384 tCO_{2e}. Dans ce cas, la mesure préconisée consiste à privilégier le béton à base de laitier de haut fourneau, ce qui réduit l'utilisation de clinker dont l'énergie grise est nettement plus élevée.

L'évaluation de cette mesure est faite en remplaçant le facteur d'émission ciment CEM II utilisé dans les bétons conventionnels par celui du ciment incorporant du laitier (CEM III/A). Un dosage moyen de 300 kg/m³ de béton est utilisé ce qui résulte en une consommation d'environ 490 tonnes de ciment. Le gisement de réduction attendu pour cette mesure devrait atteindre les **135 tCO_{2e}**, suivant les résultats présentés dans le **Tableau 9**.

Concernant les travaux de chaussée, les enrobés bitume sont la ressource la plus utilisée avec environ 16 231 tonnes sur l'ensemble du cycle de vie. Pour réduire son empreinte carbone, l'utilisation de béton bitumineux incorporant des taux de recyclage est préconisée. Sur la base des retours d'expérience, l'hypothèse de taux de recyclage moyen des enrobés peut atteindre le 30% d'incorporation d'AER dans les formulations. Suivant cette hypothèse, cette mesure permettrait d'économiser jusqu'à **26 tCO_{2e}** d'après les estimations présentées dans le **Tableau 9**.

Ensuite, l'ensemble de consommations de métaux est d'environ 210 tonnes d'acier et 2 tonnes d'aluminium. Dans ce cas, la mesure de réduction consiste à privilégier les équipements (panneaux, poteaux, etc.) en métal recyclé. En effet, le choix de métaux recyclés représente un fort levier de réduction des GES sans pour autant nécessiter une réévaluation technique préalable. L'évaluation des réductions est faite à partir de la différence entre les FE pour les métaux neufs et les FE pour ceux issus du recyclage. D'après les estimations présentées dans le **Tableau 9**, la réduction de GES pourrait atteindre le **275 tCO_{2e}**.

En plus des métaux, le projet nécessite des matières plastiques. Les postes les plus importants d'utilisation sont l'assainissement et les géotextiles qui comptent un total de 178 tonnes. La démarche de réduction devra privilégier les fabricants incorporant des plastiques recyclés. Cela permettrait de réduire de **387 tCO_{2e}** le bilan GES du projet.

Tableau 9 : Détails de calcul des mesures de réduction préconisées concernant les matériaux

Inv. E3	U.F.	Quantité	F.E. (kg CO _{2e})	GES (t CO _{2e})	Nature
Aluminium [neuf]	tonne	2,25	7 803	18	Réduites
Aluminium [recyclé]	tonne	2,25	562	1,27	Mesures
Acier ou fer blanc [neuf]	tonne	177	2 211	392	Réduites
Acier ou fer blanc [recyclé]	tonne	177	938	166	Mesures
Aciers HA [ArcelorMittal]	tonne	23	1 230	29	Réduites
Aciers HA Xcarb [ArcelorMittal]	tonne	23	300	6,98	Mesures
Acier structurel : profilés et tôles	tonne	4,81	1 130	5,44	Réduites
Acier structurel Xcarb [ArcelorMittal]	tonne	4,81	333	1,60	Mesures
Aciers de tôles fortes [ArcelorMittal]	tonne	4,59	2 600	12	Réduites
Acier laminé à chaud, 100% recyclé	tonne	4,59	967	4,44	Mesures
Ciment CEM II	tonne	490	736	361	Réduites
Ciment CEM III/A	tonne	490	461	226	Mesures
Chaux	tonne	0,00	1 041	0,00	Réduites
Liant hydraulique routier S50	tonne	0,00	395	0,00	Mesures
Grave, bitume 3	tonne	6 437	47	299	Réduites
Grave bitume, avec 30% REC	tonne	6 437	42	273	Mesures
Enrobés bitumineux	tonne	1 920	53	102	Réduites
Enrobés bitumineux, avec 30% REC	tonne	1 920	42	80	Mesures
Plastique, moyenne [neuf]	tonne	178	2 383	423	Réduites
Plastique, moyenne	tonne	178	202	36	Mesures

[recyclé]

2.7.2.2.2. Revalorisation en filière

Cette section est dédiée à l'analyse des mesures de réduction concernant la réutilisation sur site des déchets et la revalorisation de ceux qui sont évacués. En plus de déchets, les mesures évaluées modifient les distances et les volumes transportés. Le **Tableau 10** montre la liste de corps de métier abordés, les quantités de déchets et de fret produit ainsi que les émissions GES associées.

Tableau 10 : Récapitulatif des corps de métier, des déchets, du fret d'évacuation et des émissions GES

inv_n3	inv_u	métier	quantité	GES (tCO2e)
Articulé, 34 à 40 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km	Aménagements paysagers	2	0,00
		Assainissement	22 740	1,87
		Équipements	14 173	1,17
		Installations temporaires	9 271	0,76
		Travaux préparatoires	383 819	32
Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km	Aménagements paysagers	960	0,07
		Assainissement	25 927	1,84
		Équipements	82 914	5,90
		Installations temporaires	16 398	1,17
		Travaux préparatoires	41 597	2,96
Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	Équipements	1,16	0,01
		Travaux préparatoires	123	1,36
Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	Aménagements paysagers	0,02	0,00
		Assainissement	647	4,09
		Équipements	298	2,51
		Travaux préparatoires	670	4,08
		Équipements	3,20	0,07
Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	Travaux préparatoires	6 020	138
		Travaux préparatoires	916	41
Déchets putrescibles [incinération]	tonne	Travaux préparatoires	916	41
		Travaux préparatoires	916	41
DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]	tonne	Installations temporaires	0,63	1,26
		Travaux préparatoires	1,03	2,05
Métaux [hors recyclage]	tonne	Travaux préparatoires	153	1,23
Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	Travaux préparatoires	1,31	0,01
Plastique moyen [moyenne]	tonne	Installations temporaires	6,94	6,09
		Travaux préparatoires	1,72	1,51

inv_n3	inv_u	métier	quantité	GES (tCO2e)
Résiduelles [incinération]		Installations temporaires	9,79	3,66

Les corps de métier retenus correspondent à ceux dont les déchets produits peuvent être revalorisés lors des travaux de construction et de maintenance. Ainsi, la génération des déchets et leur réutilisation correspondent à la même période de travaux. Afin de montrer la totalité du gisement de réduction, les matériaux revalorisables sont comptabilisés dans leur totalité. Cependant, il est possible qu'une partie des déchets considérés ne puissent pas être revalorisés.

Les travaux de dégagement d'emprises (déboisement, débroussaillage) produisent 916 tonnes, soit **41 tCO₂e**. Les déchets verts ainsi engendrés peuvent faire l'objet d'une valorisation thermique en cogénération par exemple.

Pour les déchets verts, les émissions GES évitées sont calculées en prenant un PCI de 4 600 kWh/tonne de déchet et un rendement électrique et thermique de 35 et 53% respectivement. Du fait de sa proximité, le réseau de chaleur de la ville de Tours est retenu. À défaut d'informations plus précises, la distance d'évacuation prise en compte lors de l'évaluation reste inchangée. Au total, les émissions évitées pour l'électricité et le réseau de vapeur et chaleur sont de 84 et 42 tCO₂e respectivement.

Ensuite, les déchets produits par les travaux de réfection des chaussées et la dépose des équipements (y compris glissière existante) et signalisation sont aussi intégrés. Concernant les gravats d'enrobés bitumineux, l'évacuation vers des centrales à enrobé pour être incorporés dans la formulation d'enrobés recyclés est à privilégier. Bien qu'à ce stade de l'étude les distances d'évacuation exactes restent variables, il est possible de réduire les émissions GES du traitement des déchets.

De la même façon, l'évacuation vers des filières de recyclage des déchets métalliques (équipements et signalisation) diminue le bilan GES du projet.

Ainsi, grâce au recyclage de ces déchets, il est possible de réduire les émissions GES de **180 tCO₂e** et d'en éviter 129 tCO₂e (voir **Tableau 11**).

Tableau 11 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des déchets

Inv. E3	U.F.	Quantité	F.E. (kg CO2e)	GES (t CO2e)	Nature
Aluminium [hors recyclage]	tonne	0,00	8,00	0,00	Réduites
Aluminium	tonne	0,00	- 7803,00	0,00	Évitées
Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	1,31	8,00	0,01	Réduites
Métaux ferreux	tonne	1,31	- 2211,00	2,89	Évitées
Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	6 024	23	139	Réduites
Déchets putrescibles [incinération]	tonne	916	45	41	Réduites
37, TOURS, Réseau DBT 2021	kWh	2 233 939	0,02	42	Évitées
2021 - mix moyen	kWh	1 475 243	0,06	84	Évitées

2.7.2.3. Revalorisation sur site

Concernant les travaux de démolition des emprises et ouvrages existants produisent 17 038 tonnes de gravats qui pourraient aussi être valorisés et réduire les besoins en matériaux d'apport. Pour ce faire, la mesure préconisée consiste à effectuer un concassage des gravats de béton pour son incorporation dans les couches de fondation.

L'application de cette mesure permettrait de réduire :

- Les émissions liées aux opérations de mise en dépôt et de fonctionnement des ISDI.

- Les émissions issues de la production des granulats.
- Le fret d'évacuation des déchets et d'apport des matériaux. Cependant, une part de ce fret est conservée car attribuée au transport interne pour le stockage provisoire sur place.

Ce concassage peut être soit réalisé sur site ou bien dans un centre spécialisé en appliquant le principe du double fret. Compte tenu des volumes estimés et de l'emplacement des travaux, la solution du double fret serait la mieux adaptée. Ainsi, le calcul du gisement d'économies de cette mesure prend en compte les hypothèses suivantes :

- Distance de double fret de 40 km (dont l'aller est déjà comptabilisé dans le fret d'évacuation) ;
- Consommation en carburant pour concassage de 83 litre/h avec un rendement de 300 tonne/h ;
- Consommation en carburant pour manutention de 0.6 litre/m³.

Les travaux de revalorisation des gravats de démolition devraient émettre environ 0,6 tCO₂e mais permettrait d'éviter 1,69 tCO₂e, soit une économie de **1,09 tCO₂e**. Les détails de calcul sont montrés dans le **Tableau 12**.

Tableau 12 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des gravats de démolition sur site

Inv. E3	U.F.	Quantité	F.E. (kg CO2e)	GES (t CO2e)	Nature
Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	125	11	1,37	Réduites
Gazole non routier	litre	34	3,16	0,11	Mesures
Gazole non routier	litre	44	3,16	0,14	Mesures
Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km	4 981	0,07	0,35	Mesures
Granulats, roche massive [sortie carrière]	tonne	125	2,56	0,32	Réduites

3. AUTEURS DE L'ÉTUDE D'IMPACT DU PROJET



Coordination générale : Audrey BRIDONNEAU

Responsable environnement : Sophie FINET

Responsable milieu naturel – Volet D : Paul CASSAGNES

Responsable eau : Jean-Paul BORG

Responsable contexte sonore : Thomas BOURDIN

Responsable air et santé : Vincent TESSAURO

Responsable paysage : Gaëtan COTREUIL



Responsable trafic : THAI PHU NGUYEN



Responsable Inventaire naturalistes : C. SALVAUDON

4. CONCLUSION

L'évaluation des impacts du projet a fait appel aux méthodes éprouvées pour les études de ce type (circulaires, guides...) et qui sont reconnues par les différents ministères et les services intéressés.

Ces méthodes permettent aujourd'hui une estimation correcte de l'impact du projet et des mesures à prendre.

Le processus d'élaboration de l'étude d'impact est conforme à l'article R122-5 du Code de l'environnement.

Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et la nature des travaux, installations, ouvrages, ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine.