



PROJET DE CONSTRUCTION DE L'ÉTABLISSEMENT PENITENTIAIRE D'ANGERS LES LANDES

BILAN DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS LE CADRE DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Version complémentaire – accès routier NORD

18 décembre 2023

Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s) K.TAOUSSI
Fonction Ingénieure Etudes Carbone
Version V2

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérfié par	Fonction	Signature
V0	03/03/2023	K.TAOUSSI	Ingénieure d'études carbone et climat	
V1	21/04/2023	K.TAOUSSI	Ingénieure d'études carbone et climat	
V2	18/12/2023	K.TAOUSSI	Ingénieure d'études carbone et climat	

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Christophe LAMBERT	L'Agence Publique pour l'Immobilier de la Justine (APIJ)

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	5
1.1 - Contexte et description du projet.....	5
1.2 - Méthodologie	7
1.2.1 - Présentation de la méthodologie.....	7
1.2.2 - Principe de calcul.....	8
1.2.3 - Traitement des incertitudes.....	9
2 - PERIMETRE, POSTES D'EMISSIONS ET HYPOTHÈSES	10
2.1 - Périmètre de l'évaluation	10
2.1.1 - Phases de vie du projet.....	10
2.1.2 - Périmètre temporel.....	10
2.1.3 - Périmètre spatial	10
2.1.4 - Périmètre opérationnel.....	11
2.2 - Postes d'émissions et hypothèses.....	12
2.2.1 - Phase construction – travaux	12
2.2.2 - Phase exploitation.....	16
2.2.2.1 - Consommation de l'établissement pénitencier.....	16
2.2.2.2 - Evaluation du trafic routier.....	20
3 - RESULTATS DES ÉMISSIONS DE GES AVEC ET SANS PROJET	24
3.1 - Evaluation des émissions de GES avec projet (hors trafic)...	Erreur ! Signet non défini.
3.1.1 - Emissions de GES de la phase construction.....	24
3.1.2 - Evaluation des émissions de GES de la phase exploitation.....	25
3.1.3 - Emissions de GES compensées	27
3.2 - Comparaison des émissions de GES avec et sans projet.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2.1 - Evaluation du trafic routier avec et sans projet.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2.2 - Comparaison finale des scénarios avec et sans projet	Erreur ! Signet non défini.
4 - CONCLUSIONS ET MESURES ERC.....	28
4.1 - Bilan de l'étude des émissions de GES du projet.....	28
4.2 - Pistes pour la mise en place de mesures ERC	28
4.2.1 - Phase construction – travaux	28
4.2.2 - Phase exploitation – établissement uniquement.....	29
4.2.3 - Phase exploitation – trafic routier	29

GLOSSAIRE

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ASTEE : Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement

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

DUP : Déclaration d'Utilité Publique

ERC : Eviter Réduire Compenser

FE : Facteur d'Emission

FEDEREC : Fédération professionnelle des entreprises du recyclage

GES : Gaz à Effet de Serre

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

PL : Poids Lourd

VL : Véhicule Léger

TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Incertitude des données d'activité	9
Tableau 2. Phase de vie du projet.....	10
Tableau 3. Evolution des trafics journaliers en 2030 par rapport à la situation actuelle	22
Tableau 4. Evolution des trafics journaliers en situation de projet en 2030 par rapport a la situation de reference en 2030.....	23
Tableau 5. Résultats des émissions dues au trafic routier avec et sans projet	26
Tableau 6. Bilan de l'étude.....	28
Figure 1. localisation du Site d'implantation de l'établissement pénitentiaire	5
Figure 2. Schéma d'aménagement du projet d'établissement pénitentiaire.....	6
Figure 3. Périmètre DUP	10
Figure 4. Représentation schématique du changement d'affectation des sols.....	12
Figure 5. Localisation du perimetre d'étude	21
Figure 6. Répartition des émissions de GES de la phase construction par poste	24
Figure 7. Répartition des émissions de GES de la phase exploitation par poste	25
Figure 8. Emissions de GES générées par les consommations énergétiques de l'établissement sur 50 ans	26

1 - INTRODUCTION

L'objet de cette étude est d'évaluer l'impact sur le réchauffement climatique et donc les émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par le projet de construction d'un centre pénitentiaire sur les territoires des communes de Trélazé et Loire-Authion.

Cette évaluation prend en compte les émissions de GES générées par la phase construction-travaux ainsi que la phase d'exploitation. Ne seront pas pris en compte les émissions générées et/ou évitées en phase de fin de vie (déconstruction potentielle de l'infrastructure).

Dans le cadre de cette étude nous évaluerons l'écart entre une situation sans projet (situation de référence) et la situation avec projet sur la durée d'utilisation de l'infrastructure (fixée à 50 ans pour les bâtiments).

L'étude permet alors d'évaluer l'incidence du projet en termes d'émissions de GES et de définir et mettre en œuvre des mesures d'évitement, de réduction ou à défaut de compensation (ERC).

1.1 - Contexte et description du projet

Le projet de construction de l'établissement pénitentiaire d'Angers les Landes est porté par l'APIJ, mandatée par le ministère de la Justice. Le projet consiste à concevoir et à construire un établissement d'environ 850 places à la limite des communes de Loire-Authion et de Trélazé, à proximité de Saint-Barthélemy d'Anjou.

Périmètre DUP

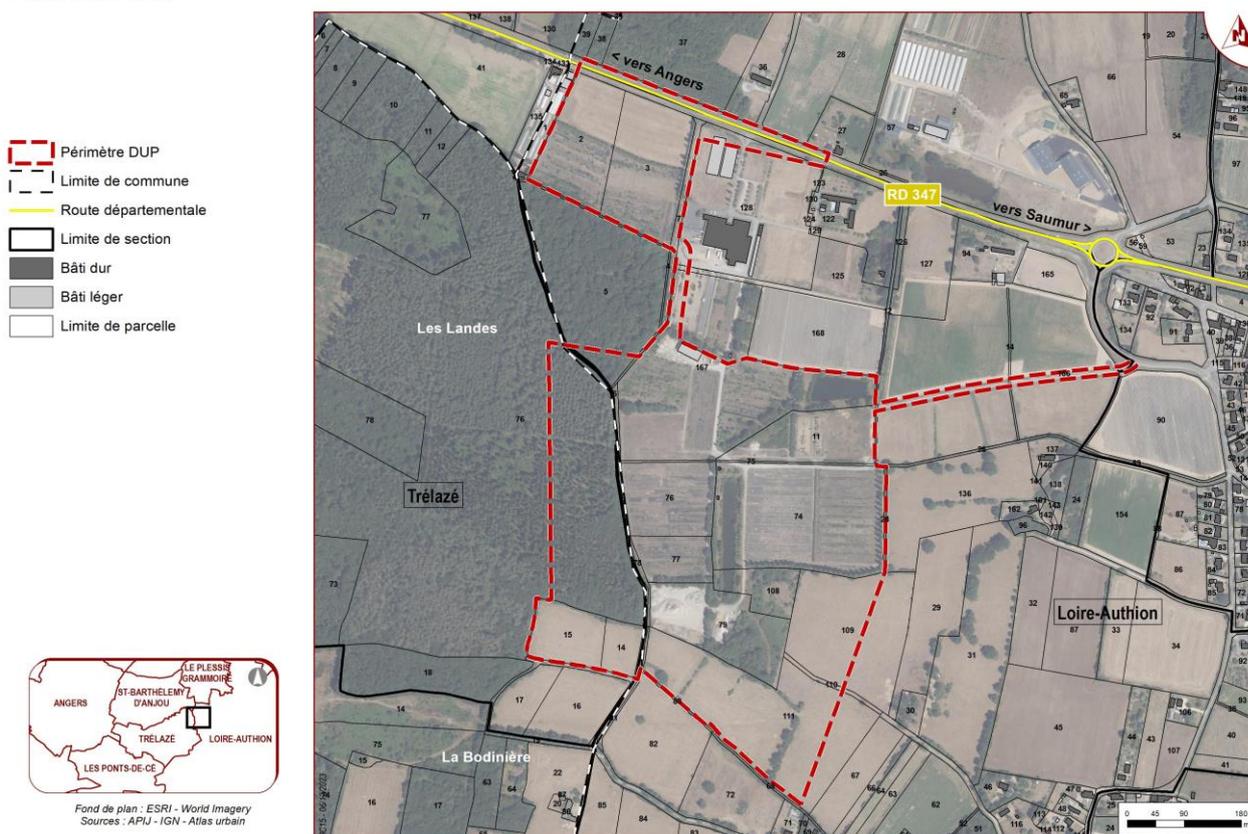


FIGURE 1. LOCALISATION DU SITE D'IMPLEMENTATION DE L'ÉTABLISSEMENT PENITENTIAIRE

La construction de ce site pénitentiaire s'inscrit dans le programme immobilier pénitentiaire, initié par le Président de la République en octobre 2018 appelé « plan 15 000 places ». Ce plan vise une création de 15 000 places supplémentaires en détention d'ici 2027 afin de lutter contre la surpopulation carcérale.

L'établissement pénitentiaire actuel dans l'agglomération d'Angers est celui de la maison d'arrêt d'Angers comptant 266 places de détention.

Le projet de ce nouveau centre porte sur une superficie de 36,1 hectares et une surface de plancher pour les bâtiments de 48 831 m². Ce projet implique le déboisement de 4,8 hectares de bois classés et l'imperméabilisation des surfaces d'emprises (bâtiments, parking et voirie) de 14,4 hectares.

Le site est construit en deux zones distinctes :

- La zone hors enceinte comprenant :
 - Les locaux : les locaux du personnel, l'accueil des familles, le pôle de rattachement d'extraction judiciaire ;
 - Les espaces extérieurs : parking, cour de livraison.
- La zone en enceinte comprenant :
 - La zone en enceinte hors détention : portes, miradors, locaux du personnel, administration, etc. ;
 - La zone en enceinte en détention : locaux d'interface ;
 - La zone en enceinte en détention : quartiers d'hébergements ;
 - La zone en enceinte en détention : fonctions communes ;
 - Les espaces extérieurs : terrains de sport, cours.

Schéma d'aménagement

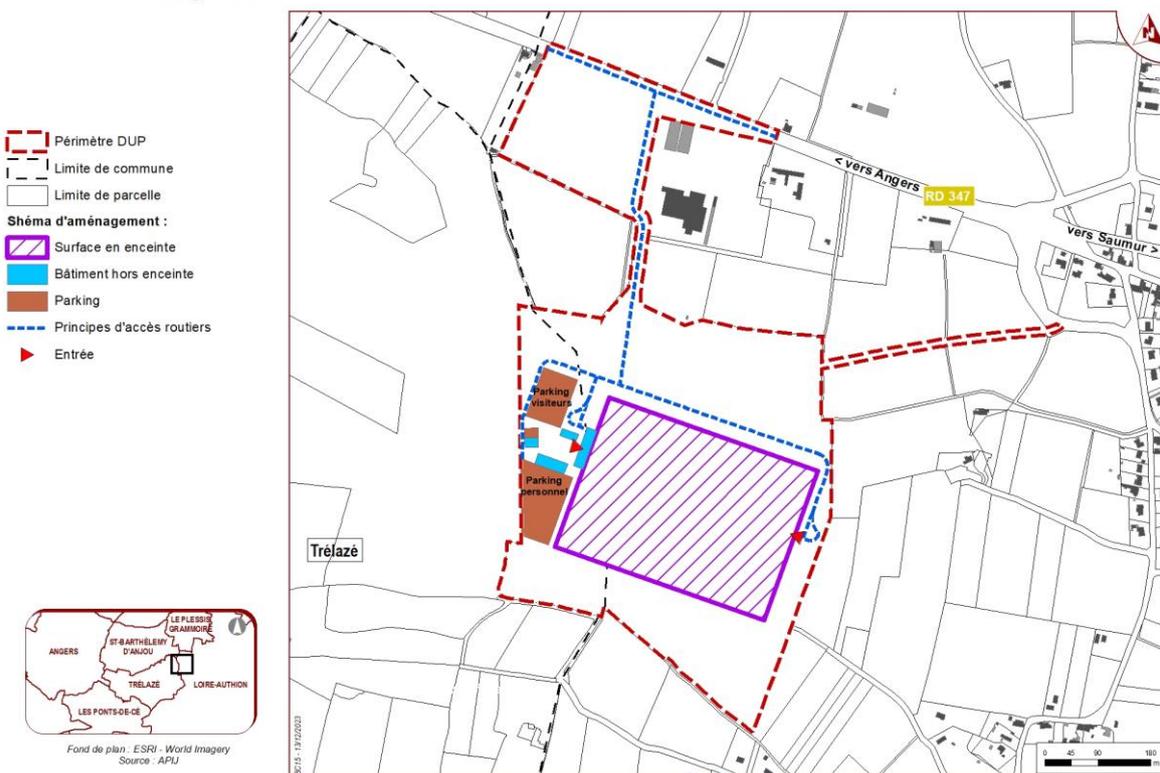


FIGURE 2. SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT DU PROJET D'ETABLISSEMENT PENITENTIAIRE

1.2 - Méthodologie

Dans le cadre de l'évaluation de l'incidence des projets sur les émissions de gaz à effet de serre dans les études d'impact, nous appliquons la méthodologie publiée par le Ministère de la Transition Ecologique en février 2022 : « Guide méthodologique pour la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans les études d'impact ».

Cette méthodologie donne aux porteurs de projet des recommandations et orientations sur la façon de prendre en compte l'impact de leur projet sur le changement climatique tel que défini par le code de l'environnement. Cette méthode propose une approche fondée sur les grands principes des méthodologies existantes et reconnues : le Bilan Carbone développé par l'ADEME et la méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) appliqués aux projets d'infrastructure.

1.2.1 - Présentation de la méthodologie

L'empreinte carbone ou bilan GES d'un projet permet d'évaluer, en ordre de grandeur, les émissions de GES engendrées par l'ensemble des processus physiques nécessaires à l'existence de cette activité.

L'empreinte carbone d'un projet repose sur les principes suivants :

- **Approche multi-étape** : on évalue le projet sur l'ensemble de son cycle de vie de l'extraction des matières première jusqu'à la fin de vie. Cette approche peut être restreinte par l'exclusion de certaines étapes définies dans le périmètre de l'étude.
- **Approche monocritère** : le seul indicateur évalué est l'impact sur le changement climatique. Ne sont pas évalués d'autres indicateurs environnementaux tel que l'eutrophisation, la toxicité, l'épuisement des ressources, etc.
- **Unité fonctionnelle et périmètre** : la comparaison de différents scénarios doit se faire sur le même périmètre et à service rendu équivalent

L'empreinte carbone consiste à traduire des données d'activité observables en émissions de gaz à effet de serre grâce à l'application de coefficients de conversion, également appelés Facteurs d'Emissions (FE).

L'intérêt de l'empreinte carbone est de prendre en compte les 7 gaz à effet de serre listés dans le Protocole de Kyoto :

- **Le dioxyde de carbone (CO₂)**, issu de la déforestation et de l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz). Les émissions de CO₂ organiques sont responsables de 69% de l'effet de serre induit par les activités humaines.
- **Le méthane (CH₄)**, généré par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène (marais, rizières...) mais aussi par les fuites liées à l'utilisation d'énergies fossiles comme le gaz naturel ou le charbon, ou encore par l'élevage. Il est responsable de 18% de l'effet de serre induit par les activités humaines.
- **Le protoxyde d'Azote (N₂O)**, il résulte de l'oxydation dans l'air de composés azotés et ses émissions sont dues pour 2/3 à l'usage de fumier et d'engrais. Il est également utilisé comme gaz propulseur dans les aérosols. Il est responsable de 5% de l'effet de serre induit par l'activité humaine.
- **Les gaz dits « industriels » (HFC, PFC, SF₆, NF₃)**, car n'existant pas à l'état naturel mais produits par l'homme. Ils sont utilisés pour la production de froid, dans les climatiseurs, réfrigérateurs, et autres systèmes industriels. Même s'ils sont présents en très faible concentration dans l'atmosphère, certains d'entre eux ont un pouvoir de réchauffement global (PRG) très important.

Cette méthode permet de couvrir de manière exhaustive l'ensemble des sources d'émissions :

- **Les émissions directes**, émissions provenant des installations fixes ou mobiles situées à l'intérieur du périmètre du projet, c'est-à-dire des émissions provenant des sources appartenant ou étant sous le contrôle du porteur du projet comme : la combustion d'énergie directe sur chantier, la consommation de carburant des engins, etc.
- **Les émissions indirectes**, celles qui découlent des opérations et activités situées à l'extérieur du projet, qui proviennent de sources de GES n'appartenant pas au porteur du projet ou n'étant pas sous son

contrôle, mais qui sont liées à des activités nécessaires à l'existence du projet comme : la fabrication des matériaux, le transport des matériaux, le déplacement des salariés, etc.

Dans le cadre du bilan GES de ce projet l'ensemble des émissions directes et indirectes seront prises en compte indistinctement.

La démarche d'évaluation de l'incidence d'un projet sur les émissions de GES se déroule en 7 étapes clés :

1. **Préparation de l'étude** : définition des objectifs, choix des outils et méthodes utilisés.
2. **Définition du périmètre** : phase de vie du projet, périmètre temporel, périmètre spatial et opérationnel.
3. **Description des scénarios** : état initial de l'environnement, scénario sans projet et scénario avec projet.
4. **Définition des postes d'émissions et collecte des données** : identification des postes d'émissions pour le scénario avec et le scénario sans projet, collecte des données d'activités et des facteurs d'émissions associés.
5. **Calcul et présentation des résultats** : comparaison des scénarios avec et sans projet.
6. **Mesures ERC** : définition et mise en œuvre des mesures ERC et des indicateurs de suivi.
7. **Rapport** : synthèse de la démarche dans un rapport.

1.2.2 - Principe de calcul

Au cours du bilan GES on effectue le calcul des émissions de GES de chaque poste / activité. Pour cela deux données doivent être disponibles :

- **Une donnée d'activité** : consommation de carburant, volume d'acier consommé, etc.
- **Un facteur d'émission associé** : c'est un coefficient permettant de convertir les données d'activité en émission de GES. C'est le taux d'émission moyen d'une source donnée.

Pour une activité donnée, les émissions sont le produit entre une donnée d'activité exprimée dans une unité d'œuvre caractérisant l'activité du poste d'émissions (quantités de matériaux mis en œuvre, les transports de matières premières, les consommations de carburants des véhicules...) et un facteur d'émission qui est l'expression des émissions unitaires par unité d'œuvre.

Autrement dit, les données d'activités sont converties en émissions de GES à partir des facteurs d'émissions (FE), exprimés en équivalent CO₂ par unité de données d'activité.



$$\text{Empreinte carbone}_{\text{projet}} = \sum \text{émissions de l'ensemble des postes}$$

Les facteurs d'émissions sont calculés à partir des inventaires nationaux de chaque filière. Ils correspondent à des procédés élémentaires de fabrication, de transport ou de mise en œuvre et sont assortis d'une incertitude liée à la précision de ces inventaires.

L'intégralité des résultats est présentée en tonne équivalent CO₂ (tCO₂eq), conformément à la méthodologie de l'ADEME, cette unité permet de convertir l'ensemble des émissions de Gaz à Effet de Serre en une unité commune afin de simplifier l'analyse.

1.2.3 - Traitement des incertitudes

Toute évaluation d'émissions de Gaz à Effet de Serre est assortie d'une incertitude irréductible : d'une part, les facteurs d'émissions ont une imprécision inhérente à leur mode de calcul, et d'autre part, les données d'activité ne peuvent pas être rigoureusement exactes.

Les données d'activité seront caractérisées selon leur nature : donnée primaire, secondaire, extrapolé, approché. Pour chaque typologie de donnée, l'incertitude est définie dans une gamme allant de 10% à 50%. Les recommandations de l'ADEME pour l'établissement de l'incertitude des données d'activité est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : appréciation de la qualité/incertitude des données d'activité

Types de données	Incertaince	
	Données primaires	Très faible
Données secondaires ou échantillonnage de bonne représentativité	Faible	10 % à 30 %
Données extrapolées ou échantillonnage de représentativité moyenne	Acceptable	30 % à 50 %
Données approchées ou échantillonnage de faible représentativité	Élevée	≥ 50 %

Source : Ademe, 2014

TABLEAU 1. INCERTITUDE DES DONNEES D'ACTIVITÉ

Les facteurs d'émissions utilisés, issus de sources publiées (CEREMA, INIES et ADEME) ont des incertitudes allant de 10 à 50 %.

L'incertitude totale de notre empreinte carbone est calculée de la façon suivante :

$$Incertaince_{\text{poste d'émission}_1} = U_1 = \sqrt{U_{DA}^2 + U_{FE}^2}$$

$$Incertaince_{\text{TOTALE}} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + \dots + x_n}$$

U_{DA} = Le pourcentage d'incertitude associé à la donnée d'activité

U_{FE} = Le pourcentage d'incertitude associé au facteur d'émission

U_n = Le pourcentage d'incertitude associé au poste d'émission n

x_n = Les émissions de GES du poste d'émission n

2 - PERIMETRE, POSTES D'EMISSIONS ET HYPOTHÈSES

2.1 - Périmètre de l'évaluation

Afin d'évaluer les impacts sur le changement climatique générés par le projet, il est indispensable de définir précisément le périmètre de l'évaluation pour le scénario avec et sans projet.

2.1.1 - Phases de vie du projet

Dans le tableau ci-dessous est présenté les phases qui seront considérés dans notre étude.

Phase du projet	Scénario sans projet	Scénario avec projet
Phase construction – travaux	<i>Non évalué car non existant</i>	Pris en compte
Phase d'exploitation	Pris en compte	Pris en compte
Phase de fin de vie / démantèlement	<i>Non évalué car pas assez d'éléments à notre disposition pour construire une étude robuste</i>	<i>Non évalué car pas assez d'éléments à notre disposition pour construire une étude robuste</i>

TABLEAU 2. PHASE DE VIE DU PROJET

2.1.2 - Périmètre temporel

Pour la phase construction - travaux le périmètre temporel est défini comme la totalité de la durée du chantier jusqu'à la livraison de l'ouvrage. Ce périmètre est applicable au scénario avec projet uniquement.

Pour la phase d'exploitation, l'incidence du projet est étudiée sur une durée de 50 ans. Ce choix s'appuie sur les recommandations du Ministère de l'environnement pour les « structures de bâtiments et autres structures courantes » issus du document d'annexe nationale française NF EN 1990/NA de décembre 2011 à la norme NF EN 1990 : 2003 « Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures » donne des durées indicatives d'utilisation de projet. Ce périmètre est applicable au scénario sans projet et au scénario avec projet.

2.1.3 - Périmètre spatial

Pour la phase construction - travaux le périmètre considéré est celui de la Déclaration D'utilité Publique (DUP) présentée sur la carte ci-dessous.

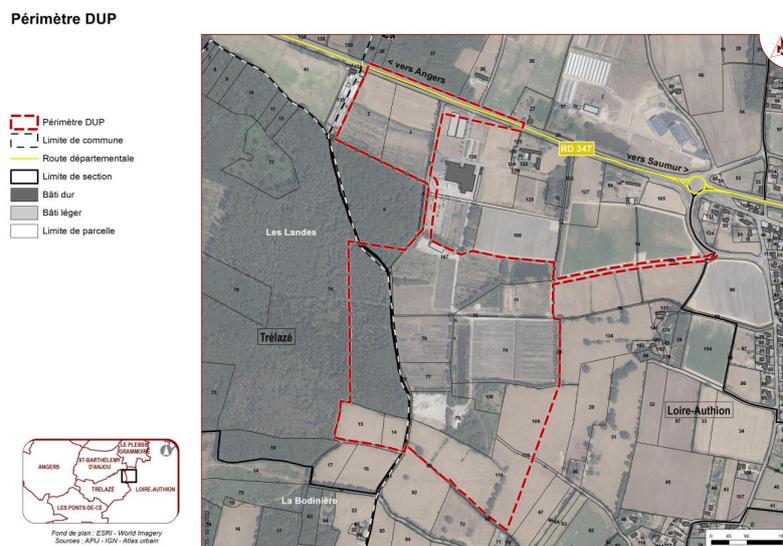


FIGURE 3. PERIMÈTRE DUP

Pour la phase exploitation le périmètre évalué est :

- Pour les consommations (énergie, matériaux, déchets) : l'établissement pénitencier.
- Pour le trafic : le périmètre défini par l'étude « Etude d'impact circulatoire d'un projet de maison d'arrêt », Mars 2022 et l'étude « Analyse d'un scénario complémentaire », Novembre 2023.
Le périmètre comprend donc la RD347, la RD4, la route de la Chesnaie, le nouvel accès NORD et l'accès par la route du Puits Huchet. Ce périmètre sera détaillé dans la partie émissions de GES générées par le trafic.

2.1.4 - Périmètre opérationnel

L'ensemble des émissions directes, indirectes et induites de GES seront considérées. Le périmètre opérationnel précise la typologie de poste d'émissions qui seront considérés dans notre étude.

1. Pour la phase construction – travaux :

Les postes d'émissions inclus dans l'étude :

- ▶ Le changement d'affectation des sols ;
- ▶ La production des matières premières (béton, ciment, acier, etc.) ;
- ▶ Le transport des matériaux ;
- ▶ L'utilisation des engins pour la mise en œuvre.

Les postes d'émissions exclus de l'étude :

- ▶ Les études amonts ;
- ▶ Les consommations énergétiques du chantier (hors engins) ;
- ▶ L'aménagement repli des engins ;
- ▶ Les déplacements de salariés pendant la durée du chantier ;
- ▶ La génération de déchets sur chantier ;
- ▶ L'immobilisation des véhicules, engins et infrastructures ;
- ▶ La fin de vie des infrastructures.

2. Pour la phase exploitation :

Les postes d'émissions inclus dans l'étude :

- ▶ Les consommations énergétiques ;
- ▶ Les consommations en eau potable ;
- ▶ Le trafic routier sur un périmètre défini.

Les postes d'émissions exclus de l'étude :

- ▶ Les achats nécessaires au fonctionnement de l'établissement : alimentation, textile, matériel informatiques, équipements, etc.
- ▶ Les déchets générés par l'établissement ;
- ▶ Les eaux usées générées par l'établissement ;
- ▶ L'entretien des espaces verts.

2.2 - Postes d'émissions et hypothèses

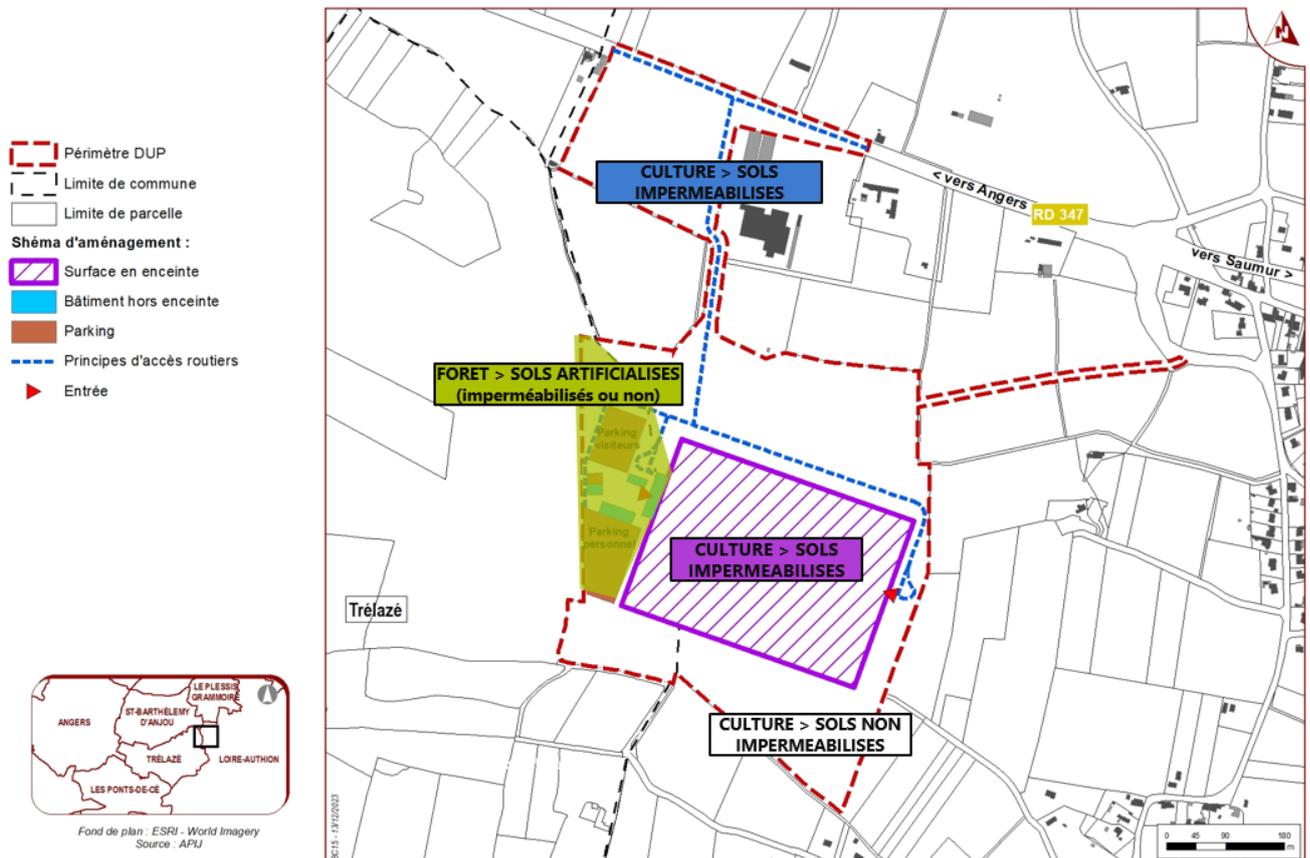
2.2.1 - Phase construction – travaux

Dans le tableau ci-dessous sont présentés l'ensemble des postes d'émissions considérés pour la phase construction – travaux : les données d'activité, les facteurs d'émission et les hypothèses associés. Ces postes ne concernent que le scénario avec projet.

Le changement d'affectation des sols a été calculé de la façon suivante (voir schéma ci-dessous) :

- L'ensemble de la forêt EBC située dans périmètre DUP est déboisée et transformée :
 - o En sols artificialisés - imperméabilisés : pour les zones transformées en parking et bâtiments extérieurs
 - o En sols artificialisés - non imperméabilisés : pour le reste
- L'ensemble de la zone en enceinte ainsi que la voirie sont transformés de sols cultivés en sols artificialisés - imperméabilisés
- Le reste de la surface incluse dans la zone DUP est transformée de sols cultivés en sols artificialisés - non imperméabilisés.

Schéma d'aménagement



Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Libération des emprises et terrassement				
Forêt vers sol imperméabilisés	1,7 ha	Changement d'affectation des sols - forêt vers sols imperméabilisés	ADEME, 2014	<p>Une partie de la forêt EBC contenue dans le périmètre DUP est transformée en parkings et bâtiments donc en surface imperméabilisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parkings : 15 150 m² - Bâtiments hors enceinte : 2121 m² <p>TOTAL = 17 271 m² = 1,7271 ha</p> <p><i>Données issues du document : "Tableau synthèse modélisation 400-1000 places"</i></p>
Forêt vers sol non imperméabilisés	3,1 ha	Changement d'affectation des sols - forêt vers sols non imperméabilisés	ADEME, 2014	<p>Le reste de la forêt EBC contenue dans le périmètre DUP est transformé en surface non imperméabilisée :</p> <p>Surface totale forêt – (parkings + bâtiments) = 4,8 – 1,7 = 3,1 ha</p> <p><i>Données issues du document : "Tableau synthèse modélisation 400-1000 places"</i></p>
Culture vers sols imperméabilisés	12,7 ha	Changement d'affectation des sols – culture vers sols imperméabilisés	ADEME, 2014	<p>Les surfaces en enceinte ainsi que la voirie sont transformées de sols cultivés en sols imperméabilisés :</p> <p>Surface en enceinte : 108 130 m²</p> <p>Voirie : 19 260 m²</p> <p>TOTAL = 127 390 m² = 12,7 ha</p> <p><i>Données issues du document : "Tableau synthèse modélisation 400-1000 places"</i></p>

Culture vers sols non imperméabilisés	12,3 ha	Changement d'affectation des sols – culture vers sols non imperméabilisés	ADEME, 2014	Le reste du périmètre DUP est transformé en sol non imperméabilisé : Surface DUP – Forêt – Zone en enceinte – Voirie = 29,3 – 4,8 – 12,2 = 12,3 ha <i>Données issues du document : "Tableau synthèse modélisation 400-1000 places"</i>
Déboisement	48350 m2	Déboisement - Dessouchage - Débroussaillage - Broyage	EGIS, 2020	Toute la zone forêt EBC contenue dans le périmètre DUP est déboisée/défrichée.
Démolition de bâtiment	650 m2	Démolition de bâtiment métallique type hangar	ADEME, 2014	Hypothèse sur la typologie des bâtiments détruits : bâtiment métallique type hangar.
Voirie				
Voirie d'accès au site	22 284 m2	Chaussée bitume-traffic faible (<50 PL/j/sens)	ADEME, 2019	Voirie d'accès EST : 1160m x 12m Voirie d'accès NORD : 378m x 20m Giratoire : 804m2
Signalisation routière – peinture	1,54 km	Signalisation routière horizontale (peinture)	EGIS, 2020	Marquage de la route, facteur d'émission moyen par km.
Signalisation routière – panneaux	1,54 km	Signalisation routière (panneaux)	EGIS, 2020	Installation des panneaux de signalisation, facteur d'émission moyen par km
Clôtures extérieurs	3156 m	Clôture	INIES, 2018	Hypothèse : le site est clôturé sur l'ensemble du périmètre DUP
Bâtiments				
Bâtiment de l'établissement pénitencier	48 831 m2	Logements collectifs maçonnerie et béton	ADEME, 2014	La surface totale de bâtiments en enceinte et hors enceinte est de 28 226 m2 SU, en appliquant un coefficient de 1,73 on obtient une SDP de 48 831 m2. <i>Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105"</i>

				<i>Coefficient de conversion SU-SDP fourni par l'API.</i>
Aménagements extérieurs en enceinte				
Terrains de sport et parcours santé	2200 m ²	Revêtement de sol - Enrobé	INIES, 2018	Hypothèse : cet espace extérieur est revêtu en enrobés. <i>Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105": somme des surfaces.</i>
Cours de promenade	9714 m ²	Revêtement de sol - Enrobé	INIES, 2018	Hypothèse : cet espace extérieur est revêtu en enrobés. <i>Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105": somme des surfaces.</i>
Enceinte en béton	23850 m ³ de béton	Béton C25/30	INIES, 2019	Mur en béton de 6m de haut : Longueur : 1325 m Hauteur : 6 m Epaisseur : 0.22m Donnée issue du document « Plan Masse » <i>Hypothèse épaisseur enceinte fournie par l'API.</i>
Grillage en enceinte	170,6 tonnes d'acier	Acier neuf	FEDEREC, 2018	Hauteur : 5m Hypothèse : grillage serré en acier fils de diamètre 4mm Densité : 116,5kg pour un panneau de 5m x 2,51 m (d'après fiche technique fournisseur Eurofence, panneaux DENSE)

Aménagements extérieurs hors enceinte				
Parking	15150 m2	Revêtement de sol - Enrobé	INIES, 2018	Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105": somme des surfaces.
Aire de livraison	540 m2	Revêtement de sol - Enrobé	INIES, 2018	Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105": somme des surfaces.
Parvis d'accueil	2900 m2	Revêtement de sol - Enrobé	INIES, 2018	Donnée issue du document Excel "Tableau surfaces Angers 850 230105": somme des surfaces.

2.2.2 - Phase exploitation

2.2.2.1 - Consommation de l'établissement pénitentier

Dans le tableau ci-dessous sont présentés l'ensemble des postes d'émissions considérés pour les consommations de l'établissement : les données d'activité, les facteurs d'émission et les hypothèses associés. Ces postes ne concernent que le scénario avec projet.

Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Consommation d'électricité réseau annuel	1 199 777 kWh = besoin en électricité annuel par m2 x SDP totale bâtiments = 24,57*48831	Electricité - 2021 - mix moyen – consommation France	ADEME, 2022	Evaluation du besoin en électricité de l'établissement annuellement : 24,57 kWh / m2SDP. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>
Consommation chauffage au gaz naturel annuel	799 852 kWh = besoin en chauffage annuel par m2 x SDP totale bâtiments = 16,38*48831	Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation	GRTgaz, 2018	Evaluation du besoin en chauffage de l'établissement annuellement : 16,38 kWh / m2. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies</i>

				<i>renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Consommation ECS (Eau Chaude Sanitaire) au gaz naturel annuel	666 543 kWh = besoin en ECS annuel par m ² x SDP totale bâtiments = 13,65*48831	Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation	GRTgaz, 2018	Evaluation du besoin en ECS de l'établissement annuellement : 13,65 kWh / m ² . <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Consommation d'eau	64617 m ³	Eau de réseau – Hors infrastructures	ASTEE, 2014	Hypothèse : la consommation de l'établissement est égale = la consommation annuelle d'un français x le nombre de détenu et salariés (850 détenus + 340 salariés = 1190)

Les consommations énergétiques présentées dans ce tableau (électricité, chauffage et ECS) s'appuient sur le scénario de référence du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers ». Ce scénario de référence considère que les sources d'énergies sont les suivantes :

- Electricité : électricité provenant du réseau électrique français ;
- Chauffage : à l'aide d'une chaudière à gaz ;
- ECS : à l'aide d'une chaudière à gaz.

Le rapport présente 4 scénarios alternatifs au scénario de référence. Le scénario 4 proposant un système de récupération active (PAC) de la chaleur sur eaux grises n'a pas pu être étudié car nous ne disposons pas des facteurs d'émissions permettant de calculer l'impact de ce type de production d'énergie. Seuls 3 scénarios ont donc été étudiés.

Le tableau ci-dessous présente les 3 scénarios alternatifs : données d'activités, facteurs d'émissions et hypothèse associées. Pour plus de détail sur ces scénarios se référer au document de référence.

SCENARIO 1 : Chaufferie Bois				
Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Consommation d'électricité : réseau électricité français	1 199 777 kWh = besoin en électricité annuel par m ² x SDP totale bâtiments	Electricité - 2021 - mix moyen – consommation France	ADEME, 2022	Dans ce scénario l'électricité reste sourcée dans le réseau. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies</i>

	= 24,57*48831			<i>renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Chauffage et ECS : chaufferie bois	1173116 kWh = 80% des besoins en chauffage et ECS = 80% x 1466394	Plaquettes forestières - Sèches (25% humidité)	ADEME, 2022	80% des besoins thermiques peuvent être alimentés par une chaufferie bois plaquettes. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Chauffage et ECS : chaufferie gaz	293279 kWh = 20% des besoins en chauffage et ECS = 20% x 1466394	Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation	GRTgaz, 2018	Les besoins thermiques sont complétés à 20% par une chaufferie gaz d'appoint. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>

SCENARIO 2 : Chaufferie bois + Solaire thermique

Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Consommation d'électricité : réseau électricité français	1 199 777 kWh = besoin en électricité annuel par m2 x SDP totale bâtiments = 24,57*48831	Electricité - 2021 - mix moyen – consommation France	ADEME, 2022	Dans ce scénario l'électricité reste sourcée dans le réseau. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
ECS : panneaux solaire thermique	399926 kWh = 60% des besoins en ECS = 60% x 666543	Solaire thermique	Etude PEP ACV Capteur Solaire Thermique recommandée par l'ADEME, 2015	Dans ce scénario 60% des besoins en ECS sont assurés par du solaire thermique. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Chauffage et ECS : chaufferie bois	853175 kWh	Plaquettes forestières - Sèches (25% humidité)	ADEME, 2022	80% du reste des besoins thermiques sont alimentés par une chaufferie bois plaquettes.

	$= 80\% \times (40\% \text{ ECS} + 100\% \text{ chauffage})$ $= 80\% \times (40\% \times 666543 + 799852)$			<i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>
Chauffage et ECS : chaufferie gaz	213294 kWh $= 20\% \times (40\% \text{ ECS} + 100\% \text{ chauffage})$ $= 20\% \times (40\% \times 666543 + 799852)$	Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation	GRTgaz, 2018	Les besoins du reste des besoins thermiques sont complétés à 20% par une chaufferie gaz d'appoint. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>

SCENARIO 3 : Chaufferie bois + Solaire thermique + Solaire photovoltaïque				
Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Consommation d'électricité : panneaux photovoltaïque	599889 kWh = 50% des besoins en électricité $= 50\% \times 1\,199\,777$	Électricité - photovoltaïque - Fabrication Chine (Par défaut utilisé en France)	ADEME, France, 2021	50% des besoins en électricité sont alimentés par des panneaux photovoltaïques. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>
Consommation d'électricité : réseau électricité français	599889 kWh = 50% des besoins en électricité $= 50\% \times 1\,199\,777$	Electricité - 2021 - mix moyen – consommation France	ADEME, 2022	50% des besoins en électricité sont alimentés par le réseau électrique français. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>
ECS : panneaux solaire thermique	399926 kWh = 60% des besoins en ECS $= 60\% \times 666543$	Solaire thermique	Etude PEP ACV Capteur Solaire Thermique recommandée par l'ADEME, 2015	Dans ce scénario 60% des besoins en ECS sont assurés par du solaire thermique. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers »</i>

				<i>renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Chauffage et ECS : chaufferie bois	853175 kWh = 80% x (40% ECS + 100% chauffage) = 80% x (40% 666543+799852)	Plaquettes forestières - Sèches (25% humidité)	ADEME, 2022	80% du reste des besoins thermiques sont alimentés par une chaufferie bois plaquettes. <i>Données issues du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>
Chauffage et ECS : chaufferie gaz	213294 kWh = 20% x (40% ECS + 100% chauffage) = 20% x (40% 666543+799852)	Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation	GRTgaz, 2018	Les besoins du reste des besoins thermiques sont complétés à 20% par une chaufferie gaz d'appoint. <i>Donnée issue du rapport « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers"</i>

L'incidence du scénario sur les émissions de gaz à effet de serre en phase exploitation sera présentée dans les résultats de l'étude.

2.2.2.2 - Evaluation du trafic routier

L'ensemble des données sur le trafic routier sont issues de l'étude d'impact circulaire de mars 2022 et de l'analyse d'un scénario complémentaire de novembre 2023.

L'évaluation des émissions de GES générées par le trafic routier est habituellement une étude à part entière reposant sur des méthodes et modélisations adaptées. A ce stade du projet cette typologie d'étude n'a pas été réalisée. Nous présentons donc ci-dessous une étude des émissions de GES **simplifiée** reposant sur plusieurs hypothèses. L'incertitude liée à cette étude de trafic est élevée.

Le périmètre d'étude est présenté sur la carte ci-dessous. Ce périmètre comprend l'étude de 3 axes et des voies d'accès :

- La RD347
- La RD4
- La route de Chesnaie
- Route du Puits Huchet
- Accès route nord

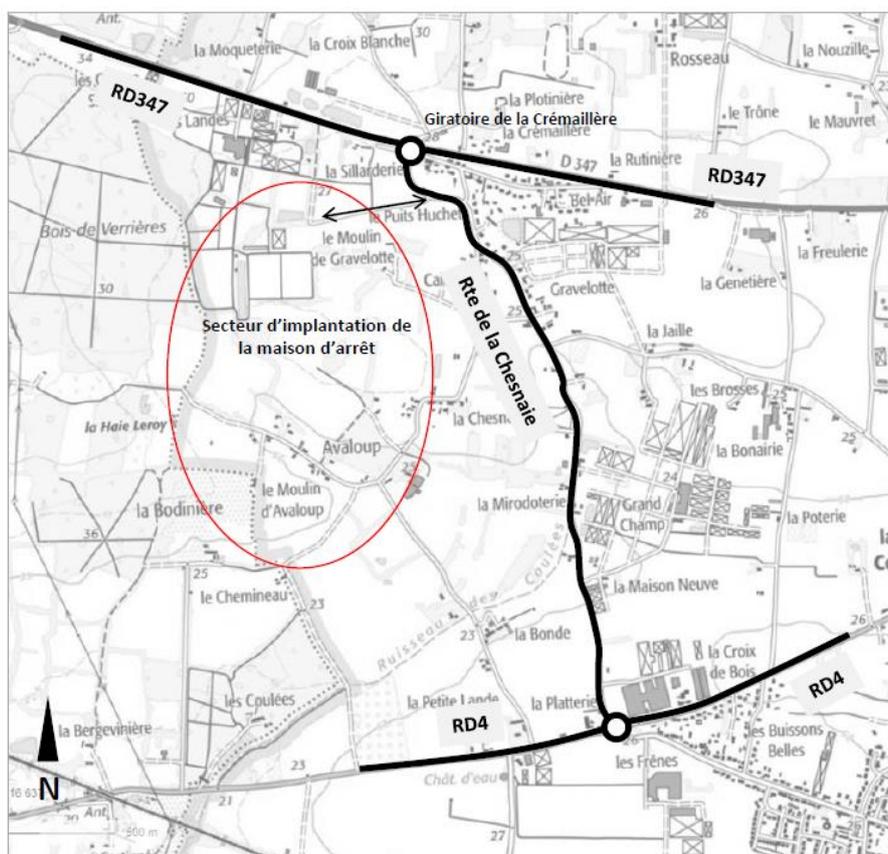


FIGURE 5. LOCALISATION DU PERIMETRE D'ÉTUDE

L'ensemble des hypothèses prises pour les deux scénarios sont les suivantes :

1. Le trafic évolue linéairement +1,1% (donnée issue de l'étude trafic) par an entre 2027 (année d'ouverture de l'établissement) et 2077 (50 ans plus tard).
2. Le % de poids lourd est de 2,8% (donnée issue de l'étude trafic) sur l'ensemble du trafic et n'évolue pas avec le temps pour le scénario de référence. Le % de poids lourd est de 4% (donnée issue de l'étude trafic) sur l'ensemble du trafic et n'évolue pas avec le temps pour le scénario avec projet.
3. Les distances correspondant aux 8 axes (données issues de Google Maps) sont :
 - RD347 Ouest : 1,5 km
 - RD347 Est : 1 km
 - Chesnaie Nord : 1,15 km
 - Chesnaie Sud : 1,15 km
 - RD4 Ouest : 900 m
 - RD4 Est : 950 m
 - Route du Puits Huchets : 1,15km
 - Accès nord : 378m
4. La valeur d'émission d'un véhicule léger prise est de : 0,103 kgCO₂/km (donnée moyenne d'émissions des véhicules particuliers en France en 2022, Car Labelling, ADEME). Dans notre modélisation cette valeur n'évolue pas avec le temps.
5. L'ensemble des poids lourds ont une capacité de 20 tonnes considérés comme toujours chargé (situation majorante).
6. La valeur d'émission d'un poids lourd prise est de : 0,120 kgCO₂eq/t.km (donnée moyenne ADEME, 2020) soit 2,4 kgCO₂eq/km. Dans notre modélisation cette valeur n'évolue pas avec le temps.
7. La vitesse des véhicules n'a pas été prise en considération dans cette modélisation.

Scénario sans projet

Le scénario sans projet constitue la situation de référence. La situation de référence intègre l'évolution des trafics engendrée par le développement du territoire. On suppose dans l'étude une relation linéaire entre la croissance démographique et la croissance des trafics. On obtient alors le tableau suivant représentant l'évolution des trafics journaliers entre 2021 et 2027.

Axe	Actuel	Ref 2027	Evo
RD347 Ouest	20 500	21 900	+1400
RD347 Est	17 200	18 400	+1200
Puits Huchet	3 300	3 500	+200
Chesnaie Sud	2 300	2 500	+200
RD4 Ouest	5 700	6 100	+400
RD4 Est	4 000	4 300	+300

TABLEAU 3. EVOLUTION DES TRAFICS JOURNALIERS EN 2027 PAR RAPPORT À LA SITUATION ACTUELLE, ETUDE IMPACT CIRCULATOIRE JANVIER 2022

Avec l'ensemble des hypothèses prises on obtient alors le tableau de trafic suivant pour le scénario sans projet :

Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Trafic routier – véhicule légers pendant 50 ans	Distance totale parcourue par les VL pendant 50 ans : 1 732 983 194 km	Valeur moyenne des émissions de combustion d'un véhicule particuliers, France, 2022 : 0,103 kgCO ₂ eq/km	Car Labelling, ADEME, 2022	Voir précédemment l'ensemble des hypothèses prises
Trafic routier – véhicules lourds pendant 50 ans	Distance totale parcourue par les PL pendant 50 ans : 49 921 327 km	Valeur moyenne des émissions de combustion d'un poids lourd, France : 0,120 kgCO ₂ eq/t.km soit 2,4 kgCO ₂ eq/km pour un camion 20 tonnes.	ADEME, 2020	Voir précédemment l'ensemble des hypothèses prises

Scénario avec projet

Dans l'étude trafic il a été considéré une capacité d'accueil de l'établissement de 850 détenus et 340 employés. Selon ces hypothèses, le trafic généré par la maison d'arrêt de Loire Authion s'élèverait à environ 1000 véhicules/jours deux sens confondus dont 4% de trafic PL.

On obtient alors le tableau suivant représentant l'évolution des trafics journaliers entre 2021 et 2027.

Axe	Ref 2027	Projet 2027	Evo
RD347 Ouest	21 900	22 500	+600
RD347 Est	18 400	18 700	+300
Chesnaie Nord	3 500	4 400	+900
Chesnaie Sud	2 500	2 600	+100
RD4 Ouest	6 100	6 150	+50
RD4 Est	4 300	4 350	+50

TABLEAU 4. EVOLUTION DES TRAFICS JOURNALIERS EN SITUATION DE PROJET EN 2027 PAR RAPPORT A LA SITUATION DE REFERENCE EN 2027, ETUDE IMPACT CIRCULATOIRE JANVIER 2022

Avec l'ensemble des hypothèses prises on obtient alors le tableau de trafic suivant pour le scénario avec projet :

Poste d'émission	Donnée et unité	Facteur d'émission	Source du facteur d'émission	Hypothèse / Commentaires
Trafic routier – véhicule légers pendant 50 ans	Distance totale parcourue par les VL pendant 50 ans : 1 659 300 073 km	Valeur moyenne des émissions de combustion d'un véhicule particuliers, France, 2022 : 0,103 kgCO ₂ eq/km	Car Labelling, ADEME, 2022	Voir précédemment l'ensemble des hypothèses prises
Trafic routier – véhicules lourds pendant 50 ans	Distance totale parcourue par les PL pendant 50 ans : 69 137 503 km	Valeur moyenne des émissions de combustion d'un poids lourd, France : 0,120 kgCO ₂ eq/t.km soit 2,4 kgCO ₂ eq/km pour un camion 20 tonnes.	ADEME, 2020	Voir précédemment l'ensemble des hypothèses prises

L'ensemble du détail de calcul des données trafic est présentée en annexe n°2.

3 - RESULTATS DES ÉMISSIONS DE GES AVEC ET SANS PROJET

3.1 - Emissions de GES de la phase construction

Les émissions générées par la phase construction – travaux de l'établissement pénitencier sont de **31 154 tCO₂eq** avec une incertitude estimée à 48,4%.

Le graphique ci-dessous représente la répartition des émissions de GES de cette phase suivant les grandes catégories de postes d'émissions : libération des emprises, voirie, bâtiment, aménagement extérieur en enceinte et hors enceinte.

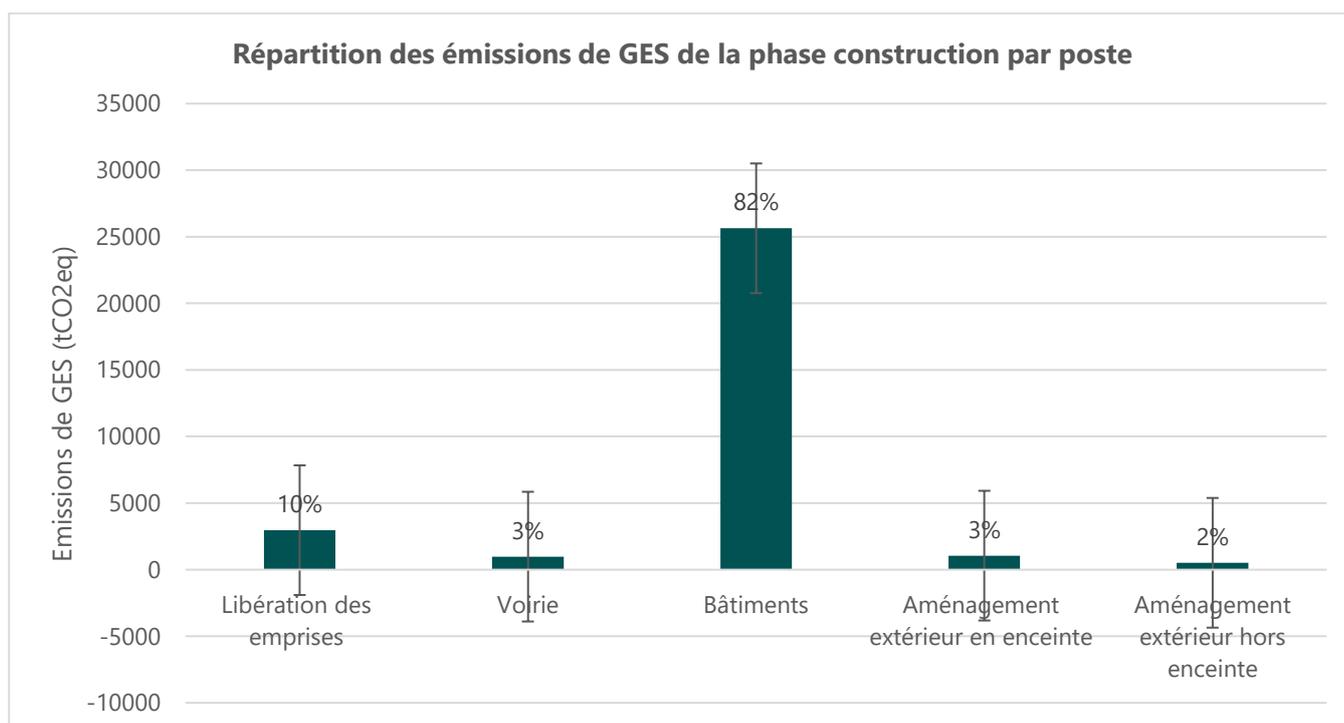


FIGURE 6. REPARTITION DES EMISSIONS DE GES DE LA PHASE CONSTRUCTION PAR POSTE

Ce graphique permet de mettre en évidence les deux sources d'impact principales :

- La construction des bâtiments (en enceinte et hors enceinte) à hauteur de **82%** soit 25 636 tCO₂eq
- La libération des emprises à hauteur de **10%** soit 2967 tCO₂eq

Pour la catégorie « bâtiments » à ce stade de l'étude il n'est pas possible de détailler quelle sous-catégorie est la plus émettrice. Cependant ce sont généralement l'extraction et la fabrication des matériaux ainsi que l'énergie de mise en œuvre qui génèrent le plus d'impact. Ici pour un bâtiment la fabrication du béton, de l'acier et leur mise en œuvre.

Pour la catégorie « libération des emprises » le poste le plus émetteur est le changement d'affectation des sols et donc l'imperméabilisation des sols due à l'infrastructure. En effet les changements d'affectation des sols modifient les stocks de carbone contenus dans les sols, le passage d'un sol cultivé à un sol imperméabilisé entraîne un déstockage de carbone et donc une émission de CO₂.

3.2 - Evaluation des émissions de GES de la phase exploitation

Les émissions de GES générées par la phase exploitation pour cet établissement pénitencier sur une durée d'exploitation de 50 ans sont de **20 483 tCO₂eq** avec une incertitude estimée à 18% (hors trafic routier).

Ces résultats représentent uniquement les consommations énergétiques et les consommations d'eau potable. Il est important de noter que cette valeur est minorante par rapport à l'ensemble des flux qui peuvent être générés par un établissement pénitencier : achats textile, alimentation, matériels, équipements ; déchets ; entretien des espaces verts ; etc.

Le graphique ci-dessous représente la répartition des émissions GES par poste.

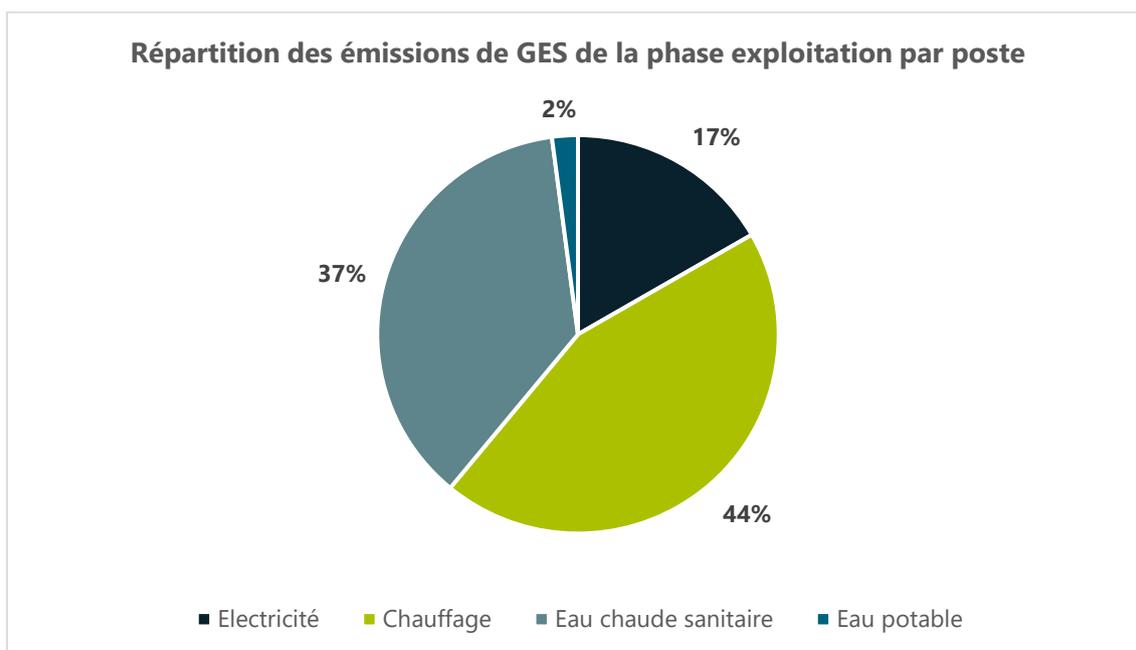


FIGURE 7. REPARTITION DES EMISSIONS DE GES DE LA PHASE EXPLOITATION PAR POSTE

Ce graphique permet de mettre en évidence les trois sources les plus impactantes :

- Le chauffage à hauteur de **44%** soit 9078 tCO₂eq
- L'eau chaude sanitaire à hauteur de **37%** soit 7565 tCO₂eq
- L'électricité à hauteur de **16%** soit 3413 tCO₂eq

Pour l'obtention de ces résultats c'est le scénario de référence qui a été étudié. Dans ce scénario, le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont alimentés par une chaudière à gaz et l'électricité par le réseau électrique français. Le graphique ci-dessous permet de comparer les 3 autres scénarios au scénario de référence.

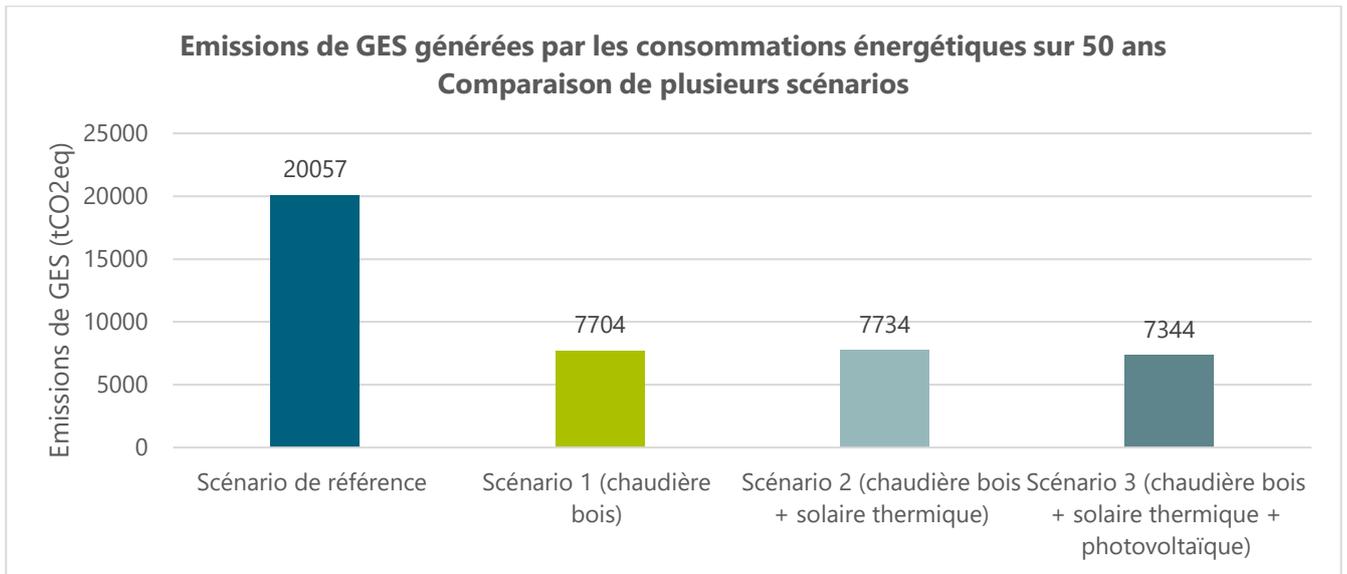


FIGURE 8. EMISSIONS DE GES GENEREES PAR LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DE L'ETABLISSEMENT SUR 50 ANS

Les 3 scénarios proposés par l'étude « Potentiel bioclimatique et recours aux Energies renouvelables » permettent de diminuer significativement les émissions de GES du poste énergétique par rapport au scénario de référence :

- Le scénario 1 permettrait d'éviter 12 353 tCO2eq.
- Le scénario 2 permettrait d'éviter 12 323 tCO2eq
- Le scénario 3 permettrait d'éviter 12 713 tCO2eq, c'est le scénario le moins émetteur en GES.

3.3 - Evaluation du trafic routier avec et sans projet

L'ensemble des hypothèses de l'étude des émissions de GES générées par le trafic est détaillé dans la partie 2. Cette étude repose sur l'étude antérieure suivante : « Etude d'impact circulatoire d'un projet de maison d'arrêt, mars 2022 ».

Cette étude évalue un trafic supplémentaire généré par le projet sur le périmètre d'étude de 1000 véhicules/jour deux sens confondus dont 4% de trafic poids lourds. On obtient dans le tableau ci-dessous les émissions totales de GES sur 50 ans d'exploitation sans le projet et avec projet.

Emissions de GES dû au trafic (50 ans) <u>sans projet</u>	Emissions de GES dû au trafic (50 ans) <u>avec projet</u>
298 308 tCO2eq	336 838 tCO2eq

TABLEAU 5. RESULTATS DES EMISSIONS DUES AU TRAFIC ROUTIER AVEC ET SANS PROJET

Le projet de nouvel établissement pénitencier engendrera donc une hausse de 13% des émissions de GES sur toute la durée d'exploitation (50 ans) soit 38 529 tCO2eq supplémentaire.

3.4 - Emissions de GES compensées

Dans le cadre de ce projet, il pourra être prévu de compenser les émissions de GES générées ainsi que les pertes générées par les surfaces déboisées. Pour cela, il est possible de prévoir le reboisement de sols cultivés sur une surface légèrement supérieure à la surface reboisée soit 5ha.

L'hypothèse prise pour la compensation est la transformation de sols cultivés en **forêts**, une forêt étant définie comme une étendue constituée principalement d'un peuplement d'arbres (conifères, résineux, feuillus, etc.). Cette compensation est valable uniquement si le reboisement respecte ces conditions.

Ainsi, le reboisement de 5 hectares sur une période d'exploitation de 50 ans permettrait de stocker **402,5 tCO₂eq.**

4 - CONCLUSIONS ET MESURES ERC

4.1 - Bilan de l'étude des émissions de GES du projet

Le tableau ci-dessous présente le bilan de l'ensemble des émissions pour le scénario avec et le scénario sans projet.

Phase du projet	Scénario sans projet	Scénario avec projet
Phase construction	0 tCO ₂ eq	31 154 tCO ₂ eq
Phase exploitation - établissement uniquement	0 tCO ₂ eq	20 483 tCO ₂ eq
Phase exploitation – trafic routier	298 308 tCO ₂ eq	336 838 tCO ₂ eq
TOTAL	298 308 tCO ₂ eq	388 475 tCO ₂ eq
Différentiel	90 167 tCO₂eq	
Différentiel annualisé	1803 tCO₂eq/an	

TABLEAU 6. BILAN DE L'ETUDE

Le projet émet donc 1803 tCO₂eq soit **30%** de plus que la situation sans projet.

Le scénario avec projet pourrait permettre le stockage de **402,5** tCO₂eq grâce aux actions de reboisement.

4.2 - Pistes pour la mise en place de mesures ERC

A chaque phase du projet il est possible d'appliquer la séquence éviter-réduire-compenser.

4.2.1 - Phase construction – travaux

D'abord, l'une des principales sources d'émission de cette phase est la construction du bâtiment, plusieurs pistes peuvent être étudiées :

■ Terrassement pour la construction de l'établissement :

- Optimisation du transport des déblais/remblais : choix des sites d'approvisionnement et de stockage au plus proche de l'établissement ;
- Optimisation de la balance des terrassements : réutilisation des déblais de chantier en remblais ;

■ Matériaux :

- Réduction des quantités de matériaux utilisés : éco-conception des bâtiments et de l'enceinte = concevoir au plus juste ;
- Réduction de l'impact du béton utilisé : utilisation de béton « bas carbone » ;
- Réduction de l'impact de l'acier : utilisation d'acier recyclé ;
- Réduction de la distance d'approvisionnement des matériaux ;

■ Engins – consommations énergétiques :

- Utilisation d'engins adaptés à la taille du chantier : choix de la puissance des engins ;
- Utilisation d'engins récents et performants ;
- Utilisation d'engins alimentés en biocarburant ou électriques ;
- Alimentation du chantier avec une énergie bas carbone : électricité du réseau, énergie issue d'énergie renouvelable (EnR).

Enfin, la deuxième source d'émission due à la phase construction – travaux est le changement d'affectation des sols. Pour cela une plusieurs mesures peuvent être étudiées :

- La réduction des sols imperméabilisés : nous avons considéré que toute la zone prévue pour l'établissement et les parkings est imperméabilisée. Dans les futures études de conception il peut être envisagé de minimiser cette zone en prévoyant des espaces supplémentaires qui ne seront pas revêtu avec des enrobés mais laissé en sols non imperméabilisés (sol enherbé, terre) ;
- La compensation : en reboisant une ou plusieurs parcelles proches du site. Une première mesure de compensation a déjà été étudiée : le reboisement de 5 hectares de cultures en forêts. Cette mesure permettrait de compenser en stockant du carbone à hauteur de 402,5 tCO₂eq. A titre indicatif il faudrait reboiser environ 1226 hectares de sols cultivés afin de compenser la totalité de l'impact du projet.

4.2.2 - Phase exploitation – établissement uniquement

La principale mesure qui peut être étudiée et mise en place est la réduction des consommations énergétiques via le choix du mix énergétique de l'établissement.

La fourniture des besoins énergétiques à partir d'une centrale à bois, de panneaux thermiques ou photovoltaïque permettraient de réduire considérablement les émissions de GES : de l'ordre de 12000 tCO₂eq sur toute la durée de vie de l'établissement.

4.2.3 - Phase exploitation – trafic routier

Comme expliqué précédemment l'étude des émissions dues au trafic routier est simplifiée et ne prend pas en compte plusieurs éléments qui pourraient déjà réduire l'impact de celui-ci :

- L'amélioration des performances environnementales des véhicules sur les 50 prochaines années ;
- L'électrification des véhicules ;
- Les changements liés la mobilité des Français sur les 50 prochaines années : véhicule individuel vers mobilités douces ou transport en commun. ;

Plusieurs pistes peuvent cependant être étudiées :

- Amélioration de la desserte en transport en commun pour faciliter l'accès à l'établissement ;
- La mise en place de mesures incitatives auprès des salariés pour augmenter la part de transport en covoiturage, transport en commun ou vélo ;
- L'optimisation des flux d'approvisionnement afin de réduire le transport des poids lourds : optimisation des quantités consommées et commandées, choix de fournisseurs proches de l'établissement.

REFERENCES

1. « Potentiel Bioclimatique et recours aux Energies renouvelables – Etablissement pénitentiaire d'Angers », Egis conseil, décembre 2022.
2. « Etude d'impact circulaire d'un projet de maison d'arrêt », Transmobilités, mars 2022.
3. « Prise en compte des émissions de Gaz à Effet de Serre dans les études d'impact », CGDD, CITEPA, février 2022.
4. « Etude d'impact circulaire d'un projet de maison d'arrêt, analyse d'un scénario complémentaire », novembre 2023.

ANNEXES

Annexe n°1 : Résultats des émissions de GES de chaque poste détaillé

Phase construction

Poste d'émission	Emissions de GES (tCO ₂ eq)
Changement d'affectation des sols – forêts vers sols imperméabilisés	500,9
Changement d'affectation des sols – forêts vers sols non imperméabilisés	0
Changement d'affectation des sols – cultures vers sols imperméabilisés	2420
Changement d'affectation des sols – cultures vers sols non imperméabilisés	0
Déboisement	31,4
Démolition de bâtiment	14,3
Voirie d'accès au site	446
Signalisation routière – peinture	0
Signalisation routière – panneaux	3,85
Clôtures extérieures	530,2
Bâtiment de l'établissement pénitentier	25636
Terrains de sport et parcours santé	61,2
Cours de promenade	270
Enceinte en béton	346,3
Grillage en enceinte	377,1
Parking	421,2

Aire de livraison	15
Parvis d'accueil	80,6

Phase exploitation – établissement uniquement

Poste d'émission	Emissions de GES (tCO2eq)
Consommation d'électricité réseau annuel	68,3
Consommation chauffage au gaz naturel annuel	182
Consommation ECS (Eau Chaude Sanitaire) au gaz naturel annuel	151,3
Consommation d'eau	8,5

Annexe n°2 : Détail du calcul des émissions de GES générées par le trafic routier

Calcul des émissions générées par le trafic – Scénario sans projet

ANNEES	RD 347 Ouest	RD347 Est	Chesnaie Sud	RD4 Ouest	RD4 Est	Rte Puits Huchet + Chesnaie Nord
2021	20500	17200	2300	5700	4000	3300
2022	20727	17390	2325	5763	4044	3337
2023	20956	17583	2351	5827	4089	3373
2024	21188	17778	2377	5891	4134	3411
2025	21423	17974	2404	5957	4180	3449
2026	21660	18173	2430	6023	4226	3487
2027	21900	18400	2500	6100	4300	3500
2028	22142	18604	2528	6168	4348	3539
2029	22388	18810	2556	6236	4396	3578
2030	22635	19018	2584	6305	4444	3618
2031	22886	19228	2613	6375	4494	3658
2032	23139	19441	2641	6445	4543	3698
2033	23396	19657	2671	6517	4594	3739
2034	23655	19874	2700	6589	4645	3780
2035	23917	20094	2730	6662	4696	3822
2036	24181	20317	2760	6735	4748	3865
2037	24449	20542	2791	6810	4800	3907
2038	24720	20769	2822	6885	4854	3951
2039	24993	20999	2853	6962	4907	3994
2040	25270	21231	2885	7039	4962	4039
2041	25550	21467	2917	7117	5017	4083
2042	25833	21704	2949	7195	5072	4129
2043	26119	21944	2982	7275	5128	4174

2044	26408	22187	3015	7356	5185	4220
2045	26700	22433	3048	7437	5243	4267
2046	26996	22681	3082	7519	5301	4314
2047	27295	22933	3116	7603	5359	4362
2048	27597	23186	3150	7687	5419	4410
2049	27902	23443	3185	7772	5479	4459
2050	28211	23703	3220	7858	5539	4509
2051	28524	23965	3256	7945	5601	4559
2052	28839	24230	3292	8033	5663	4609
2053	29159	24499	3329	8122	5725	4660
2054	29482	24770	3365	8212	5789	4712
2055	29808	25044	3403	8303	5853	4764
2056	30138	25321	3440	8395	5917	4817
2057	30472	25602	3478	8488	5983	4870
2058	30809	25885	3517	8581	6049	4924
2059	31150	26172	3556	8676	6116	4978
2060	31495	26461	3595	8773	6184	5033
2061	31844	26754	3635	8870	6252	5089
2062	32196	27051	3675	8968	6322	5146
2063	32553	27350	3716	9067	6392	5202
2064	32913	27653	3757	9168	6462	5260
2065	33277	27959	3799	9269	6534	5318
2066	33646	28269	3841	9372	6606	5377
2067	34018	28582	3883	9475	6679	5437
2068	34395	28898	3926	9580	6753	5497
2069	34776	29218	3970	9686	6828	5558
2070	35161	29541	4014	9794	6904	5619
2071	35550	29868	4058	9902	6980	5682
2072	35944	30199	4103	10012	7057	5744
2073	36341	30533	4149	10123	7136	5808
2074	36744	30872	4195	10235	7215	5872
2075	37151	31213	4241	10348	7294	5937
2076	37562	31559	4288	10462	7375	6003
2077	37978	31908	4335	10578	7457	6070
TOTAL véhicule par tronçon 50 ans(u)	543924344	456995796	62091820	151504041	106797930	86928548
TOTAL VL (u)	528694462	444199913	60353249	147261928	103807588	84494549
TOTAL PL (u)	15229882	12795882	1738571	4242113	2990342	2433999
TOTAL distance parcourue VL (km)	793041693	444199913	69406236	132535735	98617209	195182408
TOTAL distance parcourue PL (km)	22844822	12795882	1999357	3817902	2840825	5622538
TOTAL émissions GES VL (kgCO2eq)	81683294	45752591	7148842	13651181	10157573	20103788
TOTAL émissions GES PL (kgCO2eq)	54827574	30710117	4798456	9162964	6817980	13494092
TOTAL émissions GES (kgCO2eq)	136510868	76462709	11947298	22814145	16975552	33597880
TOTAL émissions GES (tCO2eq)	136511	76463	11947	22814	16976	33598
TOTAL émissions GES tCO2eq	298308					

Calcul des émissions de GES générées par le trafic – Scenario avec projet

SCENARIO AVEC PROJET	RD 347 Ouest	RD347 Est	Chesnaie Nord	Chesnaie Sud	RD4 Ouest	RD4 Est	Rte du Puits Huchet	Accès NORD
2027	22500	18700	3600	2600	6150	4350	10	900
2028	22749	18907	3640	2629	6218	4398	10	910
2029	23001	19116	3680	2658	6287	4447	10	920
2030	23256	19328	3721	2687	6357	4496	10	930
2031	23513	19542	3762	2717	6427	4546	10	941
2032	23773	19758	3804	2747	6498	4596	11	951
2033	24037	19977	3846	2778	6570	4647	11	961
2034	24303	20198	3888	2808	6643	4699	11	972
2035	24572	20422	3931	2839	6716	4751	11	983
2036	24844	20648	3975	2871	6791	4803	11	994
2037	25119	20877	4019	2903	6866	4856	11	1005
2038	25397	21108	4064	2935	6942	4910	11	1016
2039	25678	21341	4108	2967	7019	4964	11	1027
2040	25962	21578	4154	3000	7096	5019	12	1038
2041	26250	21817	4200	3033	7175	5075	12	1050
2042	26540	22058	4246	3067	7254	5131	12	1062
2043	26834	22302	4293	3101	7335	5188	12	1073
2044	27131	22549	4341	3135	7416	5245	12	1085
2045	27432	22799	4389	3170	7498	5303	12	1097
2046	27735	23051	4438	3205	7581	5362	12	1109
2047	28042	23306	4487	3240	7665	5422	12	1122
2048	28353	23564	4536	3276	7750	5482	13	1134
2049	28667	23825	4587	3313	7836	5542	13	1147
2050	28984	24089	4637	3349	7922	5604	13	1159
2051	29305	24356	4689	3386	8010	5666	13	1172
2052	29630	24625	4741	3424	8099	5728	13	1185
2053	29958	24898	4793	3462	8188	5792	13	1198
2054	30289	25174	4846	3500	8279	5856	13	1212
2055	30625	25452	4900	3539	8371	5921	14	1225
2056	30964	25734	4954	3578	8463	5986	14	1239
2057	31306	26019	5009	3618	8557	6053	14	1252
2058	31653	26307	5064	3658	8652	6120	14	1266
2059	32003	26598	5121	3698	8748	6187	14	1280
2060	32358	26893	5177	3739	8844	6256	14	1294
2061	32716	27191	5235	3781	8942	6325	15	1309
2062	33078	27492	5293	3822	9041	6395	15	1323
2063	33444	27796	5351	3865	9141	6466	15	1338
2064	33815	28104	5410	3907	9243	6538	15	1353
2065	34189	28415	5470	3951	9345	6610	15	1368
2066	34568	28730	5531	3994	9448	6683	15	1383
2067	34950	29048	5592	4039	9553	6757	16	1398
2068	35337	29369	5654	4083	9659	6832	16	1413
2069	35728	29694	5717	4129	9766	6908	16	1429
2070	36124	30023	5780	4174	9874	6984	16	1445
2071	36524	30355	5844	4221	9983	7061	16	1461
2072	36928	30692	5909	4267	10094	7139	16	1477
2073	37337	31031	5974	4315	10205	7219	17	1493

2074	37751	31375	6040	4362	10318	7298	17	1510
2075	38168	31722	6107	4411	10433	7379	17	1527
2076	38591	32073	6175	4459	10548	7461	17	1544
2077	39018	32429	6243	4509	10665	7544	17	1561
TOTAL véhicule par tronçon 50 ans (u)	558826380	464446814	89412221	64575493	152745877	108039767	248367	22353055
TOTAL VL (u)	536473325	445868941	85835732	61992473	146636042	103718176	238433	21458933
TOTAL PL (u)	22353055	18577873	3576489	2583020	6109835	4321591	9935	894122
TOTAL distance parcourue VL (km)	804709988	445868941	98711092	71291344	131972438	98532267	274197	7939805
TOTAL distance parcourue PL (km)	33529583	18577873	4112962	2970473	5498852	4105511	11425	330825
TOTAL émissions GES VL (kgCO2eq)	82885129	45924501	10167242	7343008	13593161	10148824	28242	817800
TOTAL émissions GES PL (kgCO2eq)	80470999	44586894	9871109	7129134	13197244	9853227	27420	793981
TOTAL émissions GES (kgCO2eq)	163356128	90511395	20038352	14472143	26790405	20002050	55662	1611780
TOTAL émissions GES (tCO2eq)	163356	90511	20038	14472	26790	20002	56	1612
TOTAL émissions GES tCO2eq	336838							

