

# Empreinte carbone comparative entre Notre-Dame-des-Landes & Nantes-Atlantique aménagé

Rapport de fin d'étude  
Novembre 2017



Étude réalisée par Aurélien Schuller  
aurelien.schuller@carbone4.com

Étude supervisée par Jean-Marc Jancovici  
jean-marc.jancovici@carbone4.com

pour la mission de médiation relative au projet d'aéroport du Grand Ouest

## Table des matières

<b>1. Abréviations et concepts utilisés</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Résumé de l'étude</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Cadre de la démarche d'empreinte carbone</b> .....	<b>6</b>
3.1. Cadrage de l'étude .....	6
3.2. Objet et objectif d'un calcul d'empreinte carbone .....	6
3.3. Sources utilisées .....	7
3.4. Périmètre de l'empreinte carbone .....	7
3.4.1. Éléments généraux (communs à NA et NDDL) .....	7
3.4.2. Configuration retenue pour NDDL .....	9
3.4.3. Configuration retenue pour NA .....	9
3.5. Postes d'émissions pris en compte .....	9
3.5.1. Postes inclus .....	9
3.5.2. Postes exclus (liste non exhaustive) .....	10
<b>4. Émissions du trafic aérien communes aux deux options</b> .....	<b>12</b>
4.1. Données passées d'émissions sur l'aéroport NA .....	12
4.2. Scénario de trafic prévisionnel .....	14
4.3. Méthodologie et résultat pour les émissions futures.....	15
<b>5. Émissions des postes différenciés entre les deux options</b> .....	<b>17</b>
5.1. Résultats agrégés .....	17
5.2. Méthodologie pour chaque poste d'émissions .....	19
5.2.1. Artificialisation .....	19
5.2.2. Construction de la voirie landside .....	20
5.2.3. Construction des bâtiments .....	22
5.2.4. Construction de la voirie airside.....	22
5.2.5. Infrastructures de dessertes .....	23
5.2.6. Déplacements au sol des passagers.....	24
5.2.7. Déplacements des employés .....	26
5.2.8. Roulage.....	28
5.2.9. Consommation d'énergie des bâtiments .....	28

## 1. Abréviations et concepts utilisés

- **Airside / Landside** : les aéroports peuvent être séparés en deux zones, selon qu'on se trouve côté ville (accès par les transports à l'aéroport, aires de stationnement pour les véhicules, terminaux) ou côté air, également appelé côté piste (halls d'attente et d'embarquement, aires de stationnement pour les avions, voies de circulation pour les avions et pistes de décollage et d'atterrissage). Le passage du côté landside au côté airside est matérialisé par le passage des points de contrôle et de sécurité ;
- **DGAC** : direction générale de l'aviation civile ;
- **Mouvement** (d'un avion) : un mouvement est un décollage ou un atterrissage dans un aéroport ;
- **NA** : désigne l'option d'extension de l'aéroport de Nantes-Atlantique ;
- **NDDL** : désigne l'option de construction de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes ;
- **LTO** pour « Landing and Take-Off » : c'est une phase des mouvements des avions qui désigne, dans la terminologie de l'organisation de l'aviation civile internationale, le roulage, la montée initiale et la descente finale d'un vol (en-dessous de 3 000 pieds, soit 915 mètres de hauteur) ;
- **½ CR**, convention « ½ croisière » : émissions en croisière des avions, obtenues en répartissant en deux moitiés égales les émissions de la phase de vol d'un avion entre l'aéroport de départ et celui d'arrivée, de sorte que les émissions totales (au niveau mondial) soient bien égales à la somme des émissions de chaque aéroport.

## 2. Résumé de l'étude

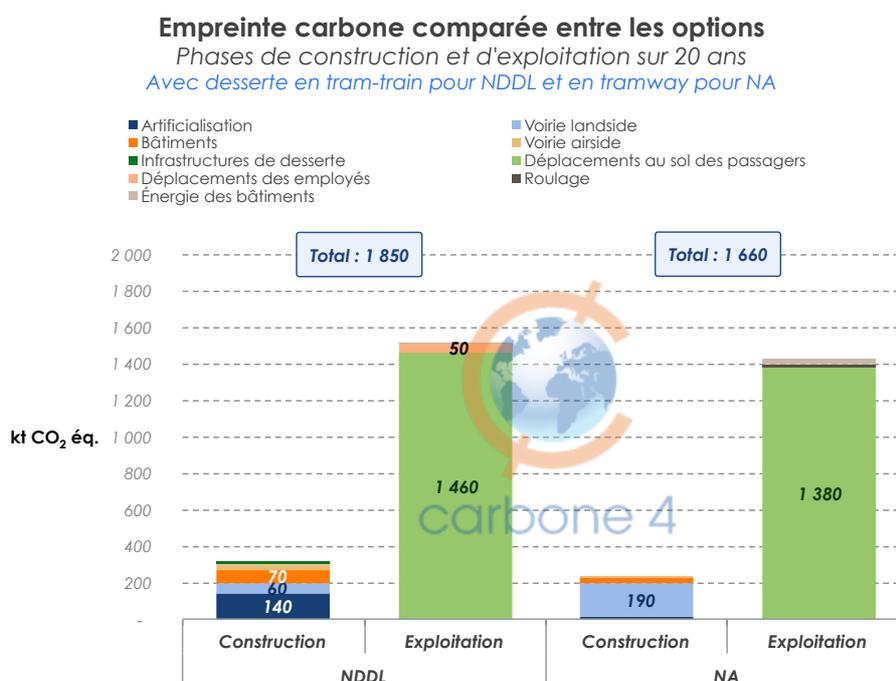
Le 1<sup>er</sup> juin dernier, le gouvernement a installé une **mission de médiation relative au projet d'aéroport du Grand Ouest**. Le travail de cette mission consiste notamment à **comparer deux options** principales : la **construction d'un nouvel aéroport à Notre-Dame-des-Landes** (ci-après : « option NDDL » ou juste « NDDL ») ou le **réaménagement de l'aéroport actuel de Nantes-Atlantique** (ci-après : « option NA » ou juste « NA »).

À cet effet, la mission a fait appel à l'expertise extérieure du cabinet Carbone 4 pour :

- **Estimer, en ordre de grandeur, la différence d'empreinte carbone entre deux options sur les émissions au sol ;**
- **Évaluer les émissions aériennes induites par l'augmentation de trafic aérien prévu,** afin de mettre en perspective les émissions au sol.

Sans chercher une précision extrême et illusoire, ce travail fournit des ordres de grandeur permettant d'isoler les points les plus sensibles en termes d'empreinte carbone.

Réalisé sur un périmètre de postes d'émissions pour lesquels il est susceptible d'y avoir des différences entre NA et NDDL, et pour une phase d'exploitation commune de 20 ans entre les deux options, l'étude révèle que **l'empreinte carbone de l'option NDDL est supérieure à celle de NA, de près de 200 kt CO<sub>2</sub>, soit 12% des émissions de NA calculées sur le périmètre considéré et pour 20 ans d'exploitation**. Il est notable que **cet écart d'émissions est du même ordre de grandeur que l'incertitude inhérente au calcul d'empreinte carbone**. Par ailleurs, les émissions associées à l'emplacement et au fonctionnement de l'aéroport représentent, sur le périmètre de l'étude, de l'ordre de **25% des émissions liées au trafic aérien<sup>1</sup> sur la même période**, lesquelles sont susceptibles de varier de plus ou moins 20% en fonction des hypothèses prises sur l'évolution de la consommation unitaire des avions.



<sup>1</sup> Ces émissions correspondent à la combustion de carburants pour les phases LTO et de demi-croisière.

Dans les deux options, ce sont les **émissions des déplacements au sol des passagers qui sont nettement prépondérantes** avec près de 80% de l'empreinte carbone évaluée. Ces émissions correspondent à l'impact climatique des déplacements de pré- et post-acheminement des passagers, c'est-à-dire du trajet qu'ils font directement avant que leur avion ne décolle de l'aéroport (ou directement après qu'il y atterrit). Ces émissions sont **significatives au regard des émissions des trajets aériens** puisqu'elles représentent l'équivalent de 20% à 25% des émissions du vol en avion (en considérant les phases LTO et de demi-croisière), soit près de 9 kg CO<sub>2</sub> par passager.

Étant donnée l'importance du poste d'émissions correspondant aux déplacements terrestres des passagers, **l'empreinte carbone est sensible à la desserte des aéroports en transports en commun**, notamment la desserte par les transports ferrés qui sont envisagés : prolongement d'un tramway pour NA, construction d'un tram-train pour NDDL. Dans les options étudiées, si les dessertes ne sont pas construites, les émissions sur le périmètre total augmentent de près de 200 kt CO<sub>2</sub>. Cela n'est pas d'incidence toutefois sur la différence d'empreinte entre les deux options : elle reste de l'ordre de 200 kt CO<sub>2</sub> elle aussi.

**En conclusion, en prenant l'hypothèse que les dessertes en transport en commun ferré soient bien construites dans les deux cas, et surtout celle que l'option NDDL ne conduise pas à une urbanisation périphérique à l'aéroport, l'écart d'empreinte carbone entre NA et NDDL est du même ordre de grandeur que l'incertitude sur les émissions au sol.**

## 3. Cadre de la démarche d'empreinte carbone

### 3.1. Cadrage de l'étude

Parmi les principaux éléments de cadrage de l'étude, il a été fixé les points suivants :

- Les **émissions dites « au sol »** sont évaluées **uniquement** sur des **postes d'émissions de gaz à effet de serre pour lesquels il est susceptible d'y avoir des différences entre NA et NDDL**. Cette orientation restreint le nombre de postes d'émissions considérés ;
- Les **émissions dues au trafic aérien** sont estimées pour les deux options sur la base d'un **scénario commun de trafic prévisionnel** ;
- Les émissions sont évaluées dans une perspective de long terme correspondant à une **durée d'exploitation commune pour les deux options**.

### 3.2. Objet et objectif d'un calcul d'empreinte carbone

Une empreinte carbone est obtenue en sommant les contributions en termes d'émissions de gaz à effet de serre pour différents postes d'émissions (qui correspondent à un découpage de l'activité d'un projet). Pour un poste donné, les émissions sont bien souvent le produit entre une donnée d'activité exprimée dans une unité d'œuvre caractérisant l'activité du poste d'émissions (par exemple, le nombre de m<sup>2</sup> de bâtiments qui sont construits) et un facteur d'émissions qui est l'expression des émissions unitaires par unité d'œuvre. Les facteurs d'émissions utilisés dans cette étude sont issus principalement d'une base de données des facteurs d'émissions appartenant à l'ADEME, la Base Carbone®.

Il doit être rappelé que toute évaluation d'empreinte carbone est entachée d'une incertitude irréductible : les facteurs d'émissions ont une imprécision inhérente à leur mode de calcul, et les données d'activité ne peuvent pas être rigoureusement exactes (*a fortiori* pour des projets futurs). Ainsi **l'empreinte carbone reste un ordre de grandeur**, qui peut toutefois éclairer les choix car il permet de déterminer les postes d'émissions qui sont significatifs, donc ceux à prioriser pour mettre en place une politique de réduction des émissions.

Compte tenu de cette incertitude, la démarche d'empreinte carbone s'effectue en suivant une logique de majoration et d'itération : les émissions d'un poste peuvent être évaluées de façon grossière pourvu que des précautions soient prises pour majorer les émissions ainsi calculées, afin de déterminer dans un premier temps si le poste est significatif (donc à affiner dans un second temps) ou bien s'il peut être écarté car négligeable.

### 3.3. Sources utilisées

Dans son étude, Carbone 4 s'est appuyé sur les sources suivantes :

- La Base Carbone®, la base des facteurs d'émissions de l'ADEME, consultée en ligne en octobre 2017  
<http://www.bilans-ges.ademe.fr/> ;
- COLAS, 2003, « La route écologique du futur », analyse du cycle de vie de la construction routière ;
- Pour certains facteurs d'émissions spécifiques, des facteurs d'émissions de Carbone 4 fondées sur de précédentes études ont été utilisés ;
- CGEDD, 2016, « Étude sur les alternatives pour le développement aéroportuaire du Grand Ouest » ;
- DGAC :
  - 2017, « Les émissions gazeuses liées au trafic aérien commercial en France en 2016 » ;
  - Données historiques d'émissions de l'aéroport de Nantes-Atlantique fournies sur demande ;
  - Échanges par écrit et par téléphone ;
- VINCI :
  - Schéma de Composition Générale de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, annexe 8 au Contrat de Concession des aérodromes de Notre-Dame-des-Landes, Nantes-Atlantique et Saint Nazaire-Montoir ;
  - Annexe technique Bilan Carbone, l'annexe 11 du même document ;
- Échanges et partage des travaux de l'association Atelier Citoyen, notamment le bilan carbone comparatif entre NDDL et NA, les mesures de distances de roulage à NDDL sur plans, et la note « Données de calculs impact CO<sub>2</sub> roulage au sol avions NDDL / NA » de septembre 2017 ;
- Conseil de Nantes Métropole, 2010, « Futur aéroport du Grand Ouest à Notre-Dame-des-Landes », notice de présentation du projet retenu (document établi à partir d'informations fournies par l'État et le Groupe VINCI, et présenté en réunion du Conseil le 18 octobre 2010) ;
- La Commission Particulière du Débat Public sur le projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, « Desserte routière de Notre-Dame-des-Landes – Étude de faisabilité », date inconnue (avant 2014).

### 3.4. Périmètre de l'empreinte carbone

#### 3.4.1. Éléments généraux (communs à NA et NDDL)

*Gaz à effet de serre pris en compte :*

L'empreinte carbone correspond, par abus de langage, au pouvoir de réchauffement global (PRG) des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'une activité considérée, et pas seulement des émissions du gaz carbonique. Les émissions des différents GES sont ensuite exprimées en PRG équivalent, celui du CO<sub>2</sub>, en tenant compte des PRG à 100 ans propres à chaque GES (publiés dans les rapports du GIEC).

Les émissions de gaz à effet de serre sont calculées en tenant compte des principaux GES, dont les sept gaz à effet de serre direct qui constituent le « panier de Kyoto » : dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>), protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) ainsi que le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>).

#### *Phases des projets prises en compte :*

Les émissions évaluées couvrent les phases de construction et d'exploitation de l'infrastructure aéroportuaire, ainsi que l'impact à terme de l'artificialisation des sols.

La période d'analyse pour la **phase d'exploitation est fixée à 20 ans, entre 2026 et 2045 compris, pour les deux cas** : commencer la période à 2026 permet d'avoir l'empreinte carbone une fois que les dessertes de transport sont construites (tant pour NA que pour NDDL).

#### *Logique de cycle de vie :*

Dans la mesure du possible, les facteurs d'émissions utilisés, notamment les consommations d'énergie, ont été pris en analyse de cycle de vie. Pour les déplacements en véhicules routiers par exemple, les émissions couvrent la combustion des carburants dans les véhicules, mais aussi l'amont de la filière de production des carburants, ainsi que la fabrication du véhicule en ce qui concerne la voiture.

#### *Temporalité des facteurs d'émissions :*

Les facteurs d'émissions ne sont pas prospectifs, ils sont pris à leur valeur disponible actuellement. La seule exception porte sur les émissions des avions, communes aux deux options, qui tiennent compte d'une évolution des émissions par kilomètre parcouru par les appareils.

#### *Conventions pour les émissions des avions :*

Les émissions du trafic aérien sont exprimées avec la même convention que la DGAC dans sa publication « Les émissions gazeuses liées au trafic aérien commercial en France en 2016 », à savoir :

- Elles couvrent la phase de LTO et la demi-croisière (½ CR) des avions, et uniquement les trajets en provenance ou à destination de l'aéroport (ainsi pour les trajets chaînés, seules sont prises en compte les émissions du trajet depuis ou vers l'aéroport) ;
- Les effets des trainées de condensation ne sont pas modélisés ;
- Pour le kérosène, le facteur de production n'est pas intégré (l'énergie dépensée pour produire et acheminer le carburant jusqu'au pied de l'avion) ;
- Les contributions des APU (Auxiliary Power Unit) et GPU (Ground Power Unit) et l'aviation non commerciale ne sont pas prises en compte.

Ces conventions sont différentes de celles qui servent à établir les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre (inventaires du CITEPA) et celles utilisées pour le bilan énergétique de la France (bilan énergétique du SOeS).

### 3.4.2. Configuration retenue pour NDDL

C'est la configuration avec **deux pistes** qui est considérée dans la présente étude.

Étant donné le trafic supposé en 2025 (de 6 millions de passagers, voir partie dédiée), les extensions listées par le Schéma de Composition Générale de VINCI (par rapport à une référence qui était 4 millions de passagers) sont supposées être effectuées lors des travaux initiaux afin d'avoir la capacité adaptée d'emblée. Pour parvenir à 9 millions de passagers, les infrastructures supplémentaires sont supposées être livrées pour 2040. Dans les deux cas, ces infrastructures supplémentaires sont des bâtiments et des parkings, car **la piste n'est pas supposée être rallongée**.

La desserte Tram-Train est prise en compte de façon optionnelle : le cas échéant elle est supposée être achevée avant 2026.

La construction et l'artificialisation des terres pour le barreau routier sont prises en compte. Ce barreau routier joint la N165 à l'ouest et la N137 à l'est et on le suppose d'une longueur totale de 11,5 km se décomposant comme suit : 5,5 km entre NDDL et la N165, 6 km entre NDDL et la N137.

### 3.4.3. Configuration retenue pour NA

L'option considérée est un **réaménagement de NA sans extension de piste**, et pour lequel l'emprise au sol n'est pas étendue. Cette option comprend :

- La construction d'une aérogare neuve de 40 000 m<sup>2</sup> en R+2 avec 18 000 m<sup>2</sup> d'emprise au sol sur une emprise déjà bétonnée, qui serait livrée avant 2026 ;
- La construction de parkings en silos pour environ 5 000 places, en trois phases : ils sont livrés en trois tiers équitables en 2026, 2030 et 2040, sur des emplacements existants de parkings à l'air libre.

La desserte en tram (provenant d'un allongement de la ligne 3 depuis l'arrêt Neustrie) est prise en compte de façon optionnelle : le cas échéant elle est supposée être achevée avant 2026.

## 3.5. Postes d'émissions pris en compte

### 3.5.1. Postes inclus

Les émissions sont présentées par défaut de façon cumulée sur les 20 années de période d'exploitation prise en compte. Elles peuvent être distinguées selon qu'elles sont

imputables à la phase de construction ou à la phase d'exploitation de l'infrastructure aéroportuaire.

Pour la phase de construction, les postes pris en compte sont :

- Les émissions de l'artificialisation des sols : elles sont dues à la perte du caractère naturel ou agricole d'un espace, par exemple par l'imperméabilisation qui a lieu à la phase de construction. Cela se traduit dans les années ultérieures par la perte des propriétés de puits de carbone de l'espace substitué, et induit donc des émissions considérées comme positives, correspondant à la non-captation de CO<sub>2</sub> par la biomasse ;
- Les travaux de réalisation pour les infrastructures et des bâtiments présents sur les sites aéroportuaires : bâtiments, parkings, voirie pour véhicules routiers landside et pour les aéronefs airside (pistes, taxiway et aires de stationnement) ;

Pour NDDL, les nouveaux bâtiments pris en compte sont les suivants : aérogare, bâtiment tertiaire, point d'accès routier, SSLIA (Services de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs), bâtiment de maintenance et bâtiment énergie d'une part (qui étaient pris en compte dans le périmètre de l'empreinte carbone réalisée par VINCI dans l'annexe du Schéma de Composition Générale), et d'autre part le bâtiment de GSE (services au sol), hôtel, installation des essenciers, hangars de la base maintenance pour avions (qui n'était pas dans l'empreinte carbone estimée par VINCI).

- Les travaux de réalisation des infrastructures d'accès à l'aéroport : il s'agit des nouvelles infrastructures de transport en commun (prolongement du tram pour NA et construction d'un tram-train pour NDDL) et de transport routier (barreau routier pour NDDL).

Concernant la phase d'exploitation de l'aéroport, les postes suivants sont pris en compte :

- Les déplacements des passagers en provenance ou à destination de l'aéroport, tous modes de transport confondus ;
- Le roulage au sol des avions ;
- Fonctionnement de l'aérogare et de l'infrastructure aéroportuaire : les consommations d'énergie sur les usages réglementaires des bâtiments (chauffage, eau chaude, éclairage, ventilation, climatisation et consommation des auxiliaires).

### 3.5.2. Postes exclus (liste non exhaustive)

Certains postes d'émissions ne sont pas pris en compte, soit parce qu'ils sont *a priori* communs aux deux options (donc n'induisent pas de différentiel dans un bilan plus global), parce qu'ils sont *a priori* négligeables, ou encore du fait de la complexité de leur évaluation. Voici une liste non exhaustive des postes ainsi exclus :

- On ne tient pas compte des mesures de compensation car elles pourraient être mises en œuvre dans les deux options (installation de panneaux photovoltaïques,

plantation d'arbres ou encore valorisation des déchets). Ces postes sont pris en compte dans l'empreinte carbone réalisée par VINCI dans l'annexe du Schéma de Composition Générale ;

- Les intrants : que ce soit pour la zone commerciale (fret et fabrication des biens vendus) ou pour le fonctionnement de l'établissement aéroportuaire (matériels, consommables et prestations de service), les émissions des intrants ne sont pas prises en compte car elles sont *a priori* sensiblement équivalentes entre les deux options ;
- L'énergie des processus aéroportuaires, y compris la consommation des véhicules de piste car les émissions sont *a priori* sensiblement équivalentes entre les deux options ;
- Le maintien de l'activité d'Airbus à NA en cas d'option NDDL n'est pas pris en compte : d'après les calculs d'empreinte carbone réalisés par l'association Atelier Citoyen, ce poste d'émissions est relativement négligeable par rapport aux postes pris en compte ;
- La consommation des APU (Auxiliary Power Unit) et GPU (Ground Power Unit) qui fournissent l'électricité aux avions quand ils sont au sol, ni l'aviation non commerciale. Les émissions de ces postes sont *a priori* sensiblement équivalentes entre les deux options ;
- La construction et l'exploitation de certains bâtiments envisagés dans le Schéma de Composition Générale de NDDL bien qu'ils soient en dehors de la concession : la desserte TGV et l'aéroclub par exemple, ainsi que les infrastructures suivantes qui seraient également à construire à NA pour une comparaison sur une infrastructure aéroportuaire avec une offre de services équivalente :
  - Une surface pour la zone de logistique-fret de 60 000 m<sup>2</sup> ;
  - Une surface pour la zone d'aviation d'affaires de 20 000 m<sup>2</sup> ;
  - Une surface pour la restauration de 4 000 m<sup>2</sup>.
- La construction et l'exploitation d'un hôtel de 10 000 m<sup>2</sup> à NDDL est exclue pour moitié : en effet, compte tenu de la projection de trafic commune aux deux options, une capacité hôtelière additionnelle de l'ordre de 5 000 m<sup>2</sup> serait également nécessaire à NA en complément des capacités existantes ;
- Le traitement des déchets est exclu car les émissions de ces postes sont *a priori* sensiblement équivalentes entre les deux options ;
- Sont exclues enfin les éventuelles différences de consommation de carburant des avions en phase de vol et d'approche de l'aéroport du fait du changement de l'implantation de l'infrastructure aéroportuaire : à cause de la complexité de la modélisation que cela représenterait, doublée de la difficulté inhérente d'un tel exercice prospectif, les raccourcissements ou allongements des trajectoires des avions selon leur provenance/destination et selon le sens d'atterrissage/décollage n'ont pas pu être évalués. À titre informatif, l'ajout d'une minute de vol sur tous les mouvements augmenterait les émissions du trafic aérien de 1%, et symétriquement la suppression d'une minute de vol les réduirait du même pourcentage ;
- Pour NA, la réfection partielle de la piste (comblement des creux par exemple) n'est pas prise en compte, faute de données disponibles à temps sur cet élément. Ce poste est *a priori* relativement marginal.

## 4. Émissions du trafic aérien communes aux deux options

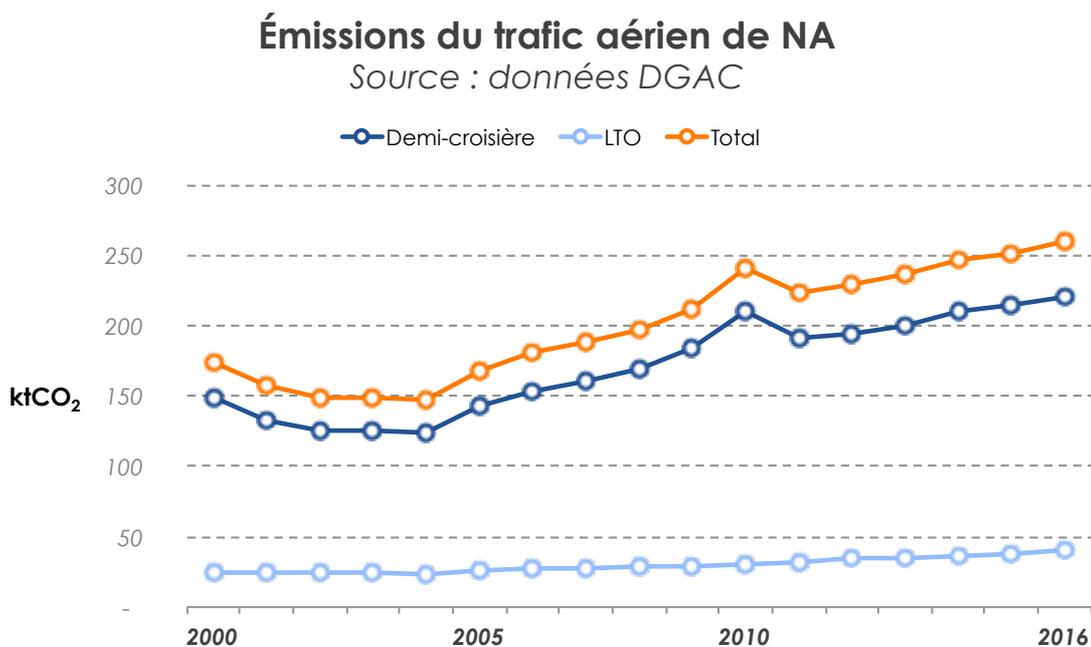
### 4.1. Données passées d'émissions sur l'aéroport NA

Les émissions des principaux aéroports français sont publiées annuellement par la DGAC. La dernière publication date de 2017 et porte sur les émissions jusqu'à l'année 2016. Les émissions sont publiées avec les conventions que nous rappelons ici :

- Elles couvrent la phase de LTO et la demi-croisière (1/2 CR) des avions, et uniquement les trajets en provenance ou à destination de l'aéroport (ainsi pour les trajets chaînés, seules sont prises en compte les émissions du trajet depuis ou vers l'aéroport) ;
- Les effets des trainées de condensation ne sont pas modélisés ;
- Pour le kérosène, le facteur de production n'est pas intégré (l'énergie dépensée pour produire et acheminer le carburant jusqu'au pied de l'avion) ;
- Les contributions des APU (Auxiliary Power Unit) et GPU (Ground Power Unit) et l'aviation non commerciale ne sont pas prises en compte.

Ces conventions sont différentes de celles qui servent à établir les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre (inventaires du CITEPA) et celles utilisées pour le bilan énergétique de la France (bilan énergétique du SOeS).

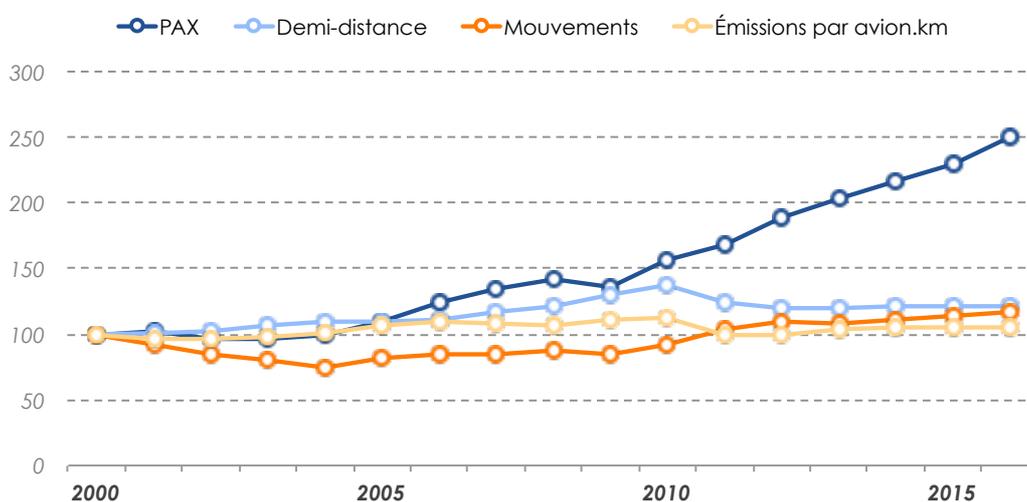
Avec ces conventions, les émissions totales de l'aéroport de Nantes-Atlantique s'élèvent à près de 260 kt CO<sub>2</sub> en 2016. Elles ont très fortement augmenté entre 2003 et 2016 (+75%), principalement du fait de l'augmentation des émissions de croisière des appareils.



Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'évolution des émissions du trafic aérien. Les évolutions de certains de ces facteurs sur la même période sont représentées sur la figure ci-dessous :

### Évolutions des facteurs explicatifs des émissions

Source : données DGAC



*PAX : trafic de passagers à l'aéroport (hors fret)*

*Demi-distance : moitié des kilomètres parcourus par les avions lors d'un vol*

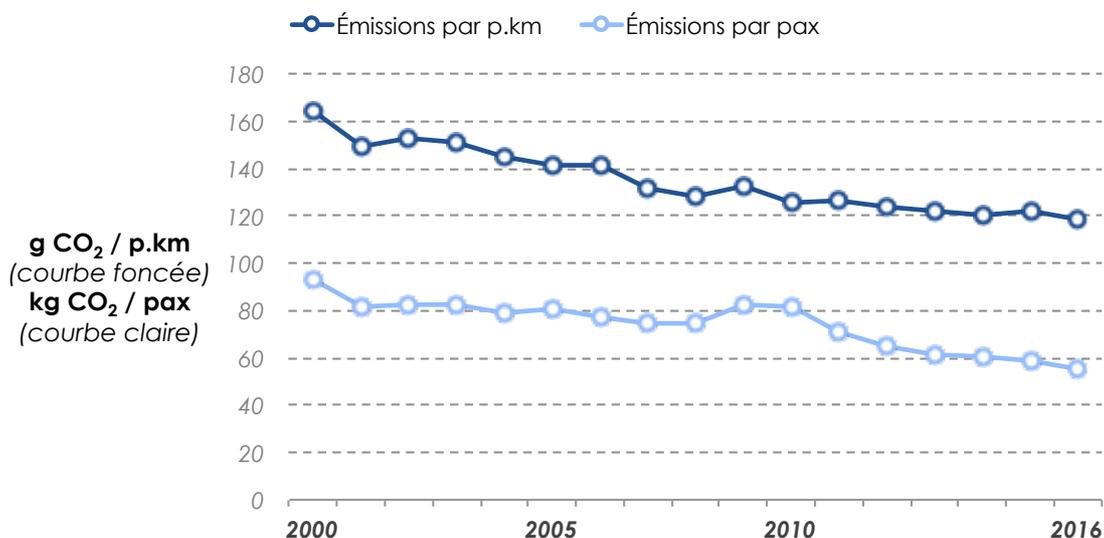
*Mouvements : nombre de mouvements des appareils*

La hausse du trafic passager sur la période 2000 – 2016 est considérable, puisqu'il a été multiplié par 2,5 en 16 ans (soit l'équivalent d'un taux d'accroissement annuel moyen de près de 6% p.a.). Les distances parcourues par les appareils augmentent quant à elles faiblement. Il en va de même pour le nombre de mouvements des appareils, ce qui est le reflet d'une hausse significative des emports : l'emport moyen a en effet doublé en 16 ans (du fait du fort développement des appareils de 100 à 200 places opérés par des compagnies à bas prix). En 2016 l'emport moyen est ainsi de 93 passagers par vol, contre 43 en 2000. Pour autant, les émissions kilométriques des avions sont stables (les émissions ramenées à chaque kilomètre parcouru par les avions). En conséquence, les indicateurs intensifs d'émissions s'améliorent :

- Les émissions par passager et par km ont baissé de 2% p.a. en moyenne sur la période passant de 165 g CO<sub>2</sub> / p.km à 120 g CO<sub>2</sub> / p.km ;
- Les émissions par passager ont baissé de 3% p.a. en moyenne sur la période passant de 95 kg CO<sub>2</sub> à moins de 60 kg CO<sub>2</sub> par demi-vol.

## Indicateurs d'intensité d'émissions

Source : données DGAC

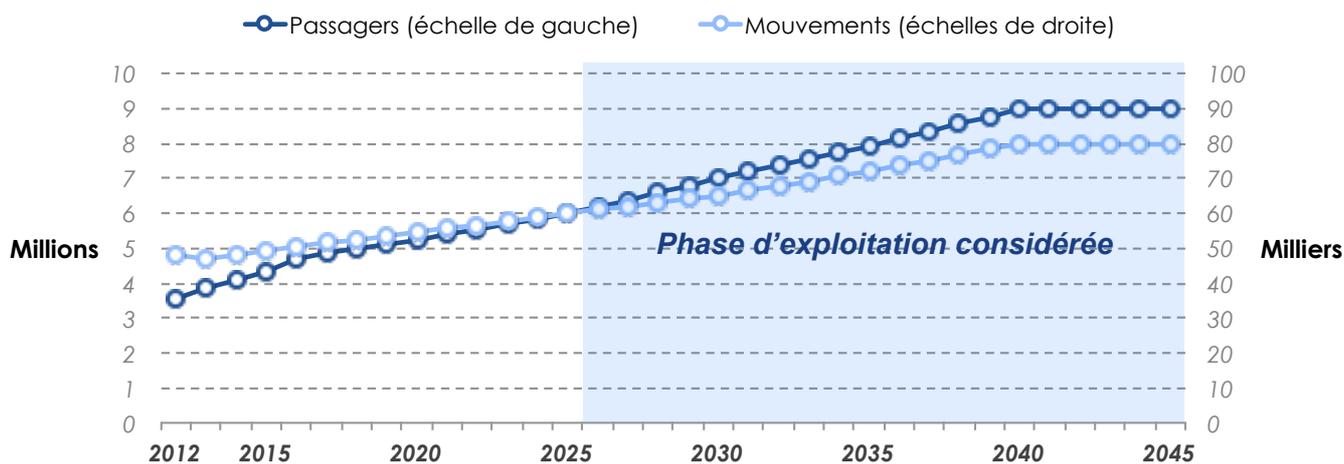


## 4.2. Scénario de trafic prévisionnel

Les deux options de l'empreinte carbone sont évaluées avec le même scénario de trafic prévisionnel.

### Scénario de trafic prévisionnel commun aux deux options

Et données historiques



Le scénario pris en compte est celui d'un développement du trafic passager de 4,7 millions (son niveau en 2016) à 6 millions en 2025, 7 millions en 2030 et 9 millions à partir de 2040. Cela est équivalent à une hausse annuelle de près de 2,5 – 3% p.a., soit deux fois moins que le taux annuel moyen sur la période 2000 – 2016.

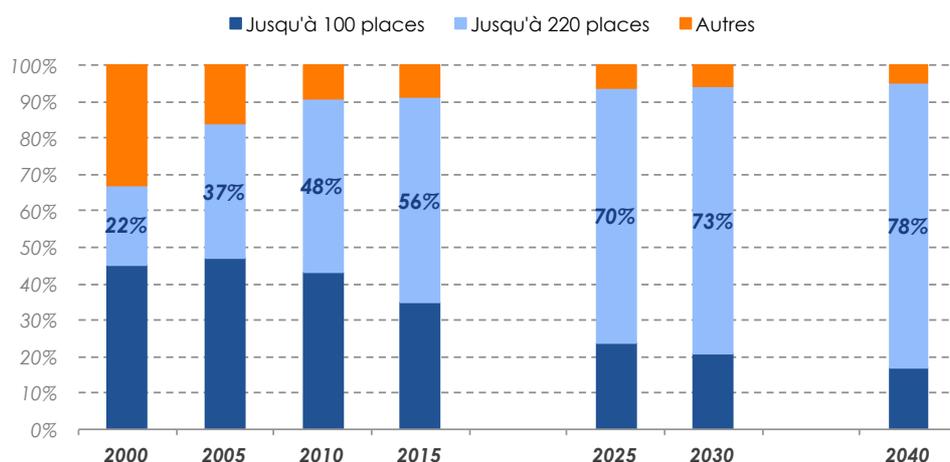
Le nombre de mouvements évolue quant à lui de façon relativement similaire, ce qui est le reflet d'un emport moyen qui n'augmente pas avec le même rythme que par le

passé : l'emport moyen passe ainsi de 96 passagers par vol en 2016 à 100 en 2025, puis 108 en 2030 et enfin 112 en 2040.

Sur la période étudiée, de 2026 à 2045, ce sont ainsi près de 160 millions de passagers qui sont transportés (soit 8 millions par an en moyenne) et 1,4 millions de mouvements qui ont lieu à l'aéroport (soit 70 000 par an en moyenne).

### Évolutions des mouvements par types d'appareil

Source : données DGAC et projections



En termes de structure, l'évolution du trafic futur est marquée par une poursuite du développement des appareils d'une capacité de 101 à 220 places (par exemple A320, A319/318 et B737 NG). De 22% des mouvements en 2000, ces appareils représentaient déjà plus de la moitié des mouvements en 2015. Le scénario envisagé porte cette proportion à près de ¾ des mouvements en 2030, puis près de 80% en 2040. Cette catégorie d'appareil se développe en proportion au détriment des autres catégories : appareils de moins de 100 places d'une part, comme CRJ100-200, Embraer-145, Fokker-100, CRJ700 et BAE146, et turbopropulseurs comme ATR42 et ATR72 d'autre part.

### 4.3. Méthodologie et résultat pour les émissions futures

Compte tenu des tendances passées sur les emports moyens (nombre de passagers par vol) et des hypothèses futures sur ce facteur, les tendances de performance carbone des avions par passager et par km ne peuvent pas être poursuivies telles quelles. Il est par contre raisonnable de tabler sur une stabilité des distances parcourues par les appareils. L'emport moyen étant relativement stable, les émissions futures sont ainsi déterminées au premier ordre par l'évolution de la structure des mouvements (c'est-à-dire la répartition des vols entre catégories d'appareils, telle que présentée dans la section précédente) et des gains d'efficacité énergétique par km parcouru par les avions.

Les gains d'efficacité énergétique ont été supposés égaux à 1,5% p.a., soit l'engagement pris par l'association du transport aérien international (IATA), organisation commerciale et internationale des entreprises de transport aérien. Cela correspond par ailleurs à une

tendance prise en compte dans les récents travaux prospectifs réalisés par l'OACI (l'organisation de l'aviation civile internationale, une agence qui dépend des Nations Unies). Dans son rapport environnemental de 2016, l'OACI présente en effet 9 scénarios avec des gains d'efficacité énergétique, le scénario le plus ambitieux aboutissant à des économies de carburants de 1,5% p.a.

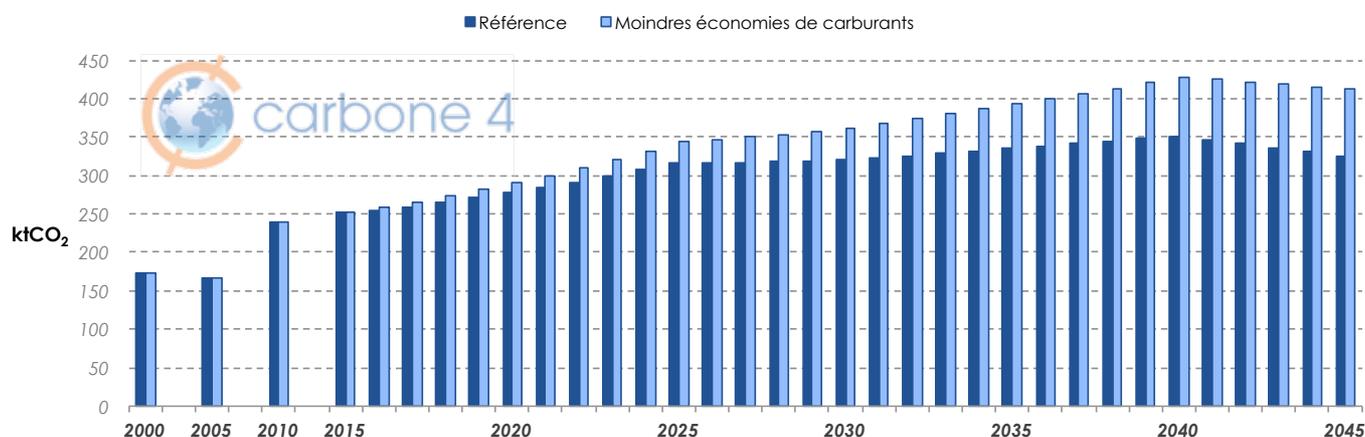
Pour tenir compte de la structure des mouvements prévus en termes de types d'appareils, ces gains sont appliqués de façon différenciée pour les catégories d'avions précédemment cités : appareils de 101 à 220 places principalement (par exemple A320, A319/318 et B737 NG), appareils de moins de 100 places (par exemple CRJ100-200, Embraer-145, Fokker-100, CRJ700 et BAE146), turbopropulseurs (par exemple ATR42 et ATR72) et enfin appareils de plus de 221 places. Pour chacune de ces catégories, les émissions du cycle LTO et celles de demi-croisière par mouvement sont évaluées pour les 5 dernières années (2012 à 2016 comprises), puis moyennées afin d'obtenir la valeur initiale des émissions par mouvement, supposée correspondre à l'année 2014. Le gain d'efficacité énergétique est ensuite appliqué année après année, et les émissions totales sont reconstituées en connaissant le nombre et la répartition des mouvements effectués par les appareils.

Avec une telle méthodologie, les émissions cumulées sur la période 2026 – 2045 s'élèvent à de 6,6 Mt CO<sub>2</sub> sur la période, soit 330 kt CO<sub>2</sub> / an en moyenne, ce qui est de l'ordre de 1% des émissions du secteur aérien en France (si toutefois les émissions se maintiennent sensiblement constantes comme cela semble être la tendance des dernières années). En intensité, les émissions par passager sont de l'ordre de 40 kg CO<sub>2</sub> / pax en moyenne sur la période d'analyse.

En cas de moindres gains d'efficacité énergétique, les émissions peuvent être significativement supérieures : par exemple avec des gains moitié moindres, 0,75% p.a., les émissions seraient de 7,8 Mt CO<sub>2</sub> sur la période, soit 390 kt CO<sub>2</sub> / an en moyenne, ou encore 50 kg CO<sub>2</sub> / pax.

### Évolutions des émissions du trafic aérien

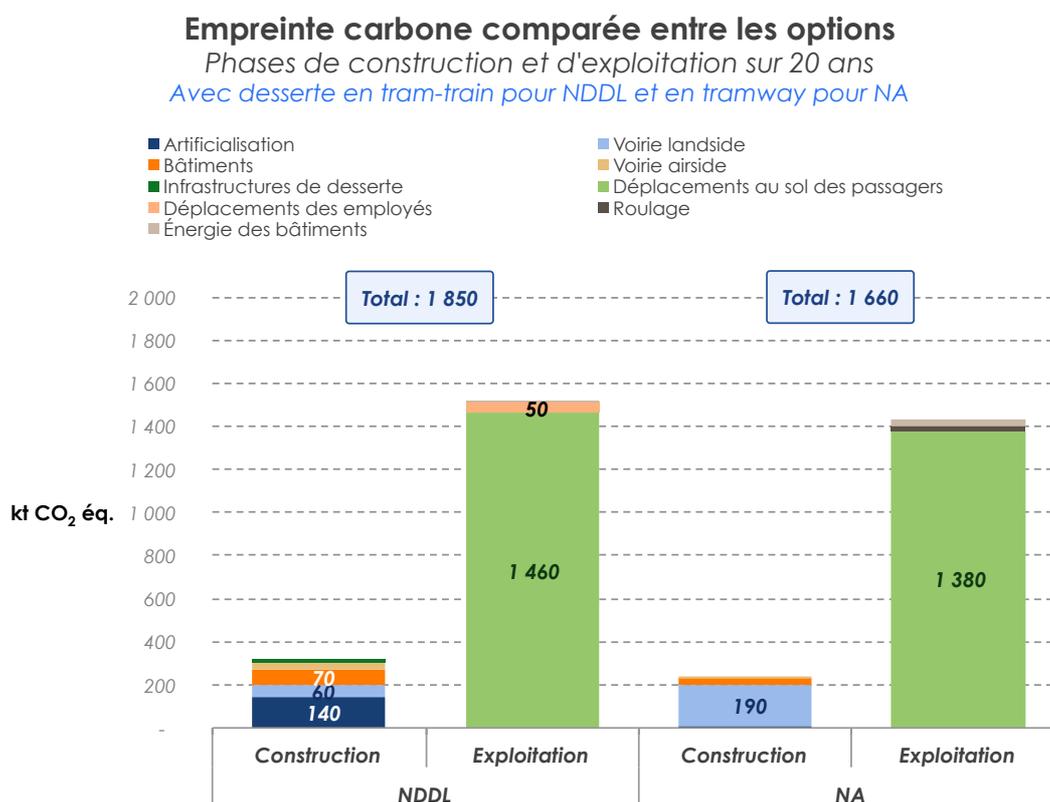
Sources : données DGAC et projections Carbone 4



## 5. Émissions des postes différenciés entre les deux options

### 5.1. Résultats agrégés

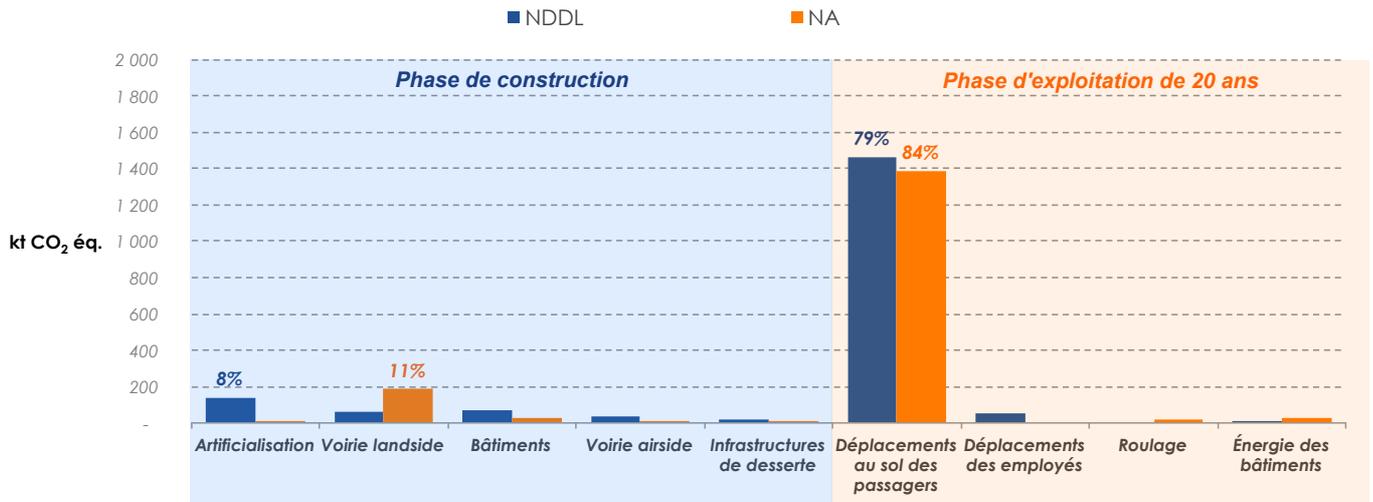
Sur la figure ci-dessous figurent les émissions pour chacune des options, distinguées selon la phase (construction ou exploitation sur 20 ans), et par poste d'émissions.



Les émissions de l'option NDDL sont supérieures à celles de l'option NA de près de 200 kt CO<sub>2</sub> sur les 20 ans d'exploitation, soit 12% des émissions de NA calculées sur le périmètre considéré<sup>2</sup> et pour 20 ans d'exploitation. Cette valeur est du même ordre de grandeur que l'incertitude de l'empreinte carbone (et notamment de l'incertitude sur le principal poste d'émissions, à savoir les déplacements au sol des passagers).

<sup>2</sup> Le périmètre de l'empreinte carbone est restreint aux postes avec différences entre les deux options.

## Empreinte carbone comparée entre les options



Pour NDDL comme pour NA, les émissions des déplacements au sol des passagers sont nettement prépondérantes avec près de 80% de l'empreinte carbone évaluée. Ces émissions correspondent à l'impact climatique des déplacements de pré- et post-acheminement des passagers, c'est-à-dire du trajet qu'ils font directement avant que leur avion ne décolle de l'aéroport (ou directement après qu'il y atterrit).

Pour l'extension de NA, la construction de la voirie landside est également significative au regard de l'empreinte carbone évaluée : elle représente environ 10% de l'empreinte carbone et elle est due intégralement à la construction de parkings additionnels, construits en silo. Pour NDDL, c'est l'artificialisation qui est le second poste le plus significatif, avec près de 10% de l'empreinte carbone.

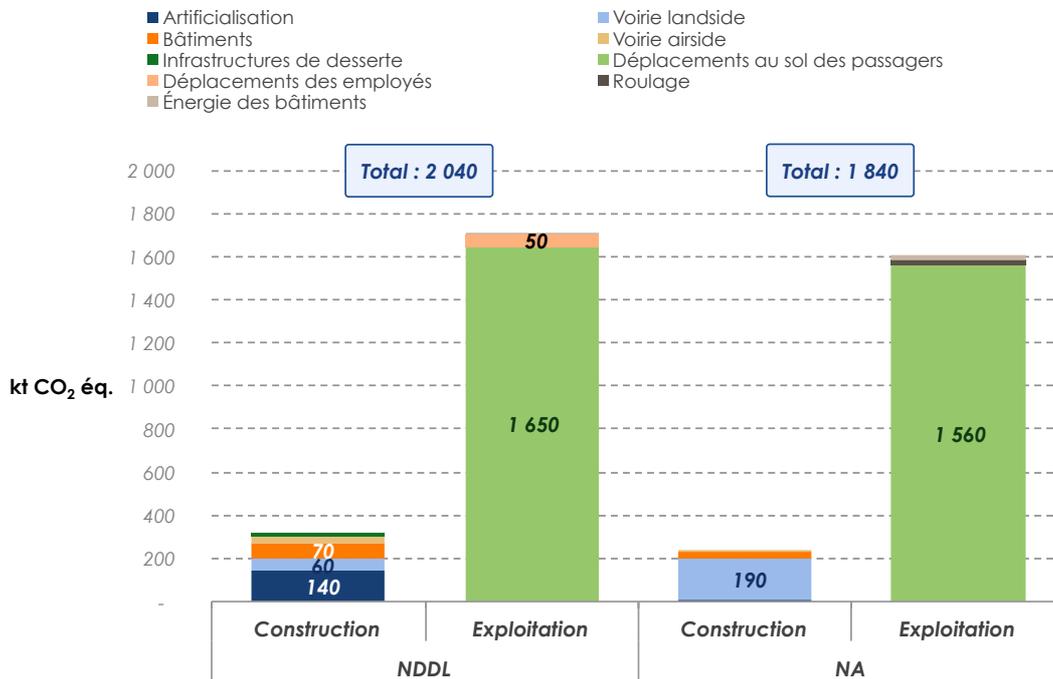
Par passager, l'empreinte carbone sur le périmètre considéré représente 10 à 12 kg CO<sub>2</sub>, soit une part significative des émissions aériennes car c'est l'équivalent de 25% à 30% des émissions du vol en avion (LTO et demi-croisière). Le périmètre de cette étude d'empreinte carbone n'étant pas exhaustif (mais restreint aux postes avec différences entre les deux options), il est notable qu'il s'agit ici d'un minorant des émissions hors vol. Toutefois les émissions des déplacements des passagers en pré- et post-acheminement sont estimées sur un périmètre complet pour les deux options et représentent près de 9 kg CO<sub>2</sub> par passager à elles seules.

### Quelle serait l'empreinte carbone en cas de non desserte par les transports ferrés ?

Étant donnée l'importance du poste d'émissions correspondant aux déplacements terrestres des passagers, l'empreinte carbone est sensible à la desserte des aéroports en transports en commun, notamment avec les transports ferrés qui sont envisagés : prolongement d'un tramway pour NA, construction d'un tram-train pour NDDL.

## Empreinte carbone comparée entre les options

Phases de construction et d'exploitation sur 20 ans  
Sans desserte en tram-train pour NDDL et en tramway pour NA



La construction d'une infrastructure de transport ferré a une incidence sur les émissions de construction des projets en les faisant augmenter, mais elle a surtout l'effet de réduire les émissions des déplacements terrestres des passagers. Dans les options étudiées, si les dessertes ne sont pas construites, les émissions sur le périmètre total augmentent de près de 200 kt CO<sub>2</sub>. Cela n'est pas d'incidence toutefois sur la différence d'empreinte entre les deux options : elle reste de l'ordre de 200 kt CO<sub>2</sub> elle aussi.

## 5.2. Méthodologie pour chaque poste d'émissions

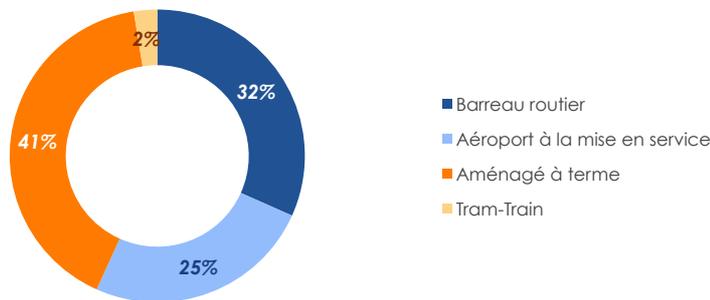
### 5.2.1. Artificialisation

D'après la définition du commissariat général au développement durable dans la publication « Ménages & Environnement — Les chiffres clés — Édition 2017 », l'artificialisation des sols définit la perte du caractère naturel ou agricole d'un espace, au profit de zones urbaines, industrielles et commerciales et d'infrastructures de transport. Ce faisant, les surfaces perdent leur capacité de puits de carbone dans les années ultérieures, ce qui induit des émissions considérées comme positives, correspondant à la non-captation de CO<sub>2</sub> par la biomasse.

Dans le cas de NDDL, les émissions d'artificialisation sont principalement dues à l'aménagement des surfaces pour l'aéroport, lors de la mise en service ou à terme (c'est-à-dire lors de la seconde vague de travaux en 2040). L'impact du barreau routier est aussi pris en compte, ainsi que de l'infrastructure de desserte en tram-train le cas échéant.

## Répartition des émissions d'artificialisation

Cas de NDDL avec tram-train



### Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?

Les facteurs d'émissions de la Base Carbone® ont été utilisés : ceux de la conversion d'une prairie vers un sol imperméabilisé et celui de la conversion d'une culture vers un sol imperméabilisé. Afin de tenir compte de la particularité de l'élevage dans le bocage nantais, qui est d'être très herbager (prairies d'élevage) et d'avoir peu de cultures (maïs notamment), une pondération 50%-50% a été utilisée entre les deux facteurs d'émissions.

### Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?

Les surfaces supposées être imperméabilisées sont les suivantes pour NDDL :

- 147 ha imperméabilisés à la mise en service, puis 239 ha additionnels à terme ;
- 186 ha pour le barreau routier ;
- 15 ha pour le tram-train (soit 15 km de linéaire de 10 m de largeur).

Pour NA, les surfaces suivantes ont été prises en compte pour l'artificialisation :

- 22 ha d'imperméabilisation de sols déjà drainés et terrassés pour les parkings et les voies de circulation des avions ;
- 2 ha pour le tramway (2 km linéaires de 10 m de largeur).

### 5.2.2. Construction de la voirie landside

La voirie landside correspond aux parkings et aux voies de circulation routière. Pour les construire il faut préalablement terrasser la surface concernée.

### Périmètre :

En général la création d'une voirie induit de l'urbanisation à proximité (donc la construction de bâtiments et de l'artificialisation supplémentaire) qui n'est pas prise en compte dans les calculs.

### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Le facteur d'émissions du terrassement a été pris dans l'empreinte carbone évaluée par VINCI dans l'annexe au Schéma de Composition Générale. En effet, VINCI TERRASSEMENT dispose d'un outil dédié aux applications de travaux publics, Omega TP, qui a été développé pour l'ensemble de la filière des travaux publics. Avec cet outil, VINCI a évalué les émissions de la préparation de la plateforme aéroportuaire de NDDL hors parking, en décomposant les combustibles de chantier et l'immobilisation des engins. Cela correspond à près de 20 kt CO<sub>2</sub>, pour des travaux sur une surface correspondant aux bâtiments et aux voiries des avions, soit près de 640 000 m<sup>2</sup>.

Le facteur d'émissions d'un parking à l'air libre (hors terrassement) a également été repris de l'empreinte carbone telle que calculée par VINCI, grâce à l'outil Gaïa d'EUROVIA. L'entreprise donne les émissions pour la préparation de la plateforme parking, pour l'assainissement et la voirie. D'une mesure sur plans, on déduit la surface à laquelle cela se rapporte, évaluation corroborée par le nombre de places à quoi ces surfaces correspondent. La surface ainsi évaluée est de 345 000 m<sup>2</sup>. Elle correspond au cas de référence envisagé dans le Schéma de Composition Générale, c'est-à-dire une configuration pour 4 millions de passagers par an.

Le facteur d'émissions de la construction et de l'entretien d'une chaussée a été trouvé à la source primaire de la Base Carbone® (une erreur ayant été trouvée dans cette dernière). La donnée source est issue d'une publication de COLAS sur l'analyse de cycle de vie de différents types de chaussées. Étant donné la fréquentation des sites aéroportuaires, c'est la chaussée bitumineuse dite TC5 qui a été retenue.

Pour NA, l'extension prévoit la construction d'un parking en silo sur des emplacements de parkings existants qui sont pour le moment à l'air libre. Sans terrassement, c'est le facteur d'émissions d'un bâtiment industriel en béton qui a été considéré, tiré de la Base Carbone®. Devant la valeur de ce facteur d'émissions, les impacts des matériaux de la chaussée dans le parking sont négligeables.

### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Pour NDDL :

- Les surfaces de parkings ont été évaluées sur la base du nombre de places indiqué dans le Schéma de Composition Générale de VINCI pour différentes configurations de l'aéroport, allant jusqu'à 9 millions de passagers (près de 13 000 places). Au *pro rata* de la configuration pour 4 millions de passagers (près de 8 000 places pour 345 000 m<sup>2</sup>), la surface correspondante atteint environ 570 000 m<sup>2</sup> ;
- La longueur de voie routière d'accès a été mesurée sur plan, elle est évaluée à 2,5 km (depuis l'accès au barreau routier). Il est supposé une largeur de 12 m pour cette infrastructure.

Pour le parking en silo de NA, la surface a été évaluée sur la base du même ratio de surface par place que pour NDDL, ce qui conduit à 225 000 m<sup>2</sup> de parkings.

### 5.2.3. Construction des bâtiments

#### Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?

Les facteurs d'émissions de la Base Carbone® ont été utilisés :

- Bâtiment industriel - structure en béton ;
- Bâtiments de bureaux ;
- Garage - structure métallique.

#### Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?

Pour le périmètre des bâtiments exposés préalablement dans le présent rapport, le Schéma de Composition Générale de VINCI explicite les surfaces nécessaires pour parvenir à 9 millions de passagers dans le cas de NDDL. Ces surfaces sont construites soit à la mise en service de l'aéroport (avant 2026) soit lors de la seconde vague de travaux pour 2040. À ces surfaces on fait correspondre un facteur d'émissions le plus proche de la nature du bâtiment.

NDDL Surfaces prises en compte pour les bâtiments		Surface à la mise en service	Surfaces additionnelles en 2040	Correspondance avec le facteur d'émissions
Aérogare	m <sup>2</sup>	36 274	20 770	Bâtiments de bureaux
Autres bâtiments	m <sup>2</sup>	37 094	9 801	-
dont :				
Bureaux	m <sup>2</sup>	9 446	1 889	Bâtiments de bureaux
Energie	m <sup>2</sup>	640	640	Bâtiment industriel - structure en béton
Maintenance	m <sup>2</sup>	11 232	5 616	Bâtiment industriel - structure en béton
SSLIA	m <sup>2</sup>	1 080	1 080	Bâtiment industriel - structure en béton
GSE	m <sup>2</sup>	2 520	576	Bâtiment industriel - structure métallique
PARIF	m <sup>2</sup>	176	-	Bâtiment industriel - structure en béton
Hôtel	m <sup>2</sup>	5 000		Bâtiments de bureaux
Installation des essenciers	m <sup>2</sup>	5 000		Bâtiment industriel - structure métallique
Hangars base maintenance avions	m <sup>2</sup>	2 000		Garage - structure métallique

Pour NA, la construction de 40 000 m<sup>2</sup> d'aérogare en R+2 est assimilée à un bâtiment de bureaux comme pour l'aérogare de NDDL.

### 5.2.4. Construction de la voirie airside

Ce poste correspond au terrassement et à la construction des différentes voies nécessaires aux mouvements des avions : stationnement, circulation sur la taxiway, pistes de décollage (et d'atterrissage).

#### Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?

Comme pour la voirie landside, le facteur d'émissions du terrassement est issu de l'outil OMEGA TP utilisé dans le calcul d'empreinte carbone annexé au Schéma de Composition Générale de VINCI.

Pour l'impact des matériaux de construction des aires de stationnement et de circulation, les facteurs d'émissions issus d'une précédente étude de Carbone 4 ont été utilisés (étude pour la filiale de travaux publics d'un grand groupe d'ingénierie).

Pour l'impact des matériaux de construction de la piste, le facteur d'émissions a été reconstitué selon une décomposition de la piste par matériau et leur volumétrie.

#### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Pour NDDL :

- La surface des pistes : 60 x 2 900 m pour l'une, 45 m x 2 750 m pour l'autre, soit au total près de 300 000 m<sup>2</sup> ;
- Des mesures sur plans pour l'aire de stationnement et le taxiway, qui conduisent à respectivement 180 000 m<sup>2</sup> et 140 000 m<sup>2</sup> (auxquels s'ajoutent près de 15 000 m<sup>2</sup> pour la base maintenance et l'installation des essenciers qui sont envisagées dans la configuration pour 9 millions de passagers).

Pour NA, 220 000 m<sup>2</sup> sont pris en compte pour les parkings d'avions et les voies de circulation additionnels.

#### *5.2.5. Infrastructures de dessertes*

##### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Pour la desserte routière de NDDL (le « barreau routier ») : comme pour la construction de la voirie landside, le facteur d'émissions de la construction et de l'entretien d'une chaussée a été trouvé à la source primaire de la Base Carbone® (une erreur ayant été trouvée dans cette dernière). La donnée source est issue d'une publication de COLAS sur l'analyse de cycle de vie de différents types de chaussées. Étant donné la fréquentation des sites aéroportuaires, c'est la chaussée bitumineuse dite TC5 qui a été retenue.

Pour la desserte en transports ferrés de NA et NDDL, un facteur d'émissions d'une précédente étude Carbone 4 a été utilisé (étude pour un constructeur de matériel roulant).

##### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Pour NDDL :

- Le barreau routier est supposé être une 2 x 2 voies, de 11,5 km de longueur, pour 20 m de large ;
- Le tram-train est supposé d'une longueur de 15 km.

Pour NA, l'extension du tram est d'une longueur de 2 km.

### 5.2.6. Déplacements au sol des passagers

Pour l'évaluation de ce poste, on s'intéresse aux modes de transport et aux distances parcourues par les passagers de l'aéroport, pour le déplacement qu'ils effectuent pour venir ou repartir de l'aéroport.

#### *Périmètre :*

Pour ce poste, on tient compte des émissions du trajet en provenance (resp. à destination) de l'aéroport qui suit directement (resp. précède directement) le trajet en avion. Cela signifie que pour un trajet multimodal, seules sont prises en comptes les émissions du tronçon final ou initial vers ou depuis l'aéroport.

La convention prise en compte pour le dépose-minute est importante : lorsqu'un passager (de l'aéroport) est déposé (resp. qu'on vient le chercher), on impute au passager le retour du véhicule (resp. l'aller). Ainsi par rapport au taxi, les émissions d'un trajet en dépose-minute d'une même longueur sont considérées comme deux fois plus importantes.

#### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Les facteurs d'émissions de la Base Carbone® sont utilisés :

- Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation moyenne (le facteur d'émissions tient compte des émissions de combustion du carburant, de l'amont du carburant, ainsi que de la fabrication du véhicule) ;
- Métro, tramway, trolleybus - agglomérations de plus de 250 000 habitants.

Il n'y a pas dans la Base Carbone® de facteur d'émissions pour les taxis, les voitures de location ou les autocars. Pour les taxis et les voitures de location, c'est ainsi le facteur d'émissions des voitures moyennes qui est pris en compte. Pour les autocars, c'est un facteur d'émissions de Carbone 4 qui a été utilisé, calculé sur la base du rapport de l'ARAFER portant sur l'activité de fin 2015 des autocars interurbains. Ce rapport permet d'estimer le taux de chargement des véhicules, et donc les émissions ramenées au passager et au kilomètre.

#### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Connaissant le trafic de passagers de l'aéroport, il faut dans un premier temps estimer les distances parcourues par les passagers pour se rendre ou pour quitter le lieu. Les flux qui en résultent, exprimés en passagers.km, sont ensuite répartis selon les modes de transport utilisés (il n'y a pas de prise en compte de distance moyenne parcourue différenciée selon les modes empruntés). Enfin, pour les modes liés à la voiture (véhicule personnel, dépose-minute, taxi ou encore voiture de location), l'utilisation du facteur d'émissions nécessite de faire une hypothèse sur le taux de remplissage des véhicules (tandis que les autres facteurs d'émissions sont directement exprimés en passager.km).

- Pour les distances, l'évaluation se fonde sur la répartition des passagers par département d'origine. Pour NA, la répartition actuelle figure dans le rapport du CGEDD de 2016, « Étude sur les alternatives pour le développement aéroportuaire

du Grand Ouest », d'après des données de la DGAC de 2015. Pour l'option NA on considère la même répartition tandis que pour l'option NDDL la décomposition des provenances est modifiée pour tenir compte du fait que l'aéroport sera plus accessible depuis l'Ille-et-Vilaine, et moins depuis la Vendée. Ces provenances sont combinées avec les distances d'accès, par voie routière, aux emplacements des aéroports NA ou NDDL. Ces distances sont estimées sur la base d'un service de cartographie en ligne qui donne les itinéraires les plus rapides en voiture. Les distances sont évaluées entre le chef-lieu du département (centre-ville) et l'aéroport (rond-point d'accès). La combinaison de la pondération par provenance des passagers et des distances permet d'évaluer la distance moyenne parcourue : elle est de 69 km dans le cas NA, et de 73 km dans le cas NDDL, soit un écart de 4 km entre les deux options ;

	Provenance des passagers par département		Distances en km <i>Distances aux chefs-lieux</i>	
	NA	NDDL	NA	NDDL
Loire-Atlantique	48%	48%	11	25
Vendée	13%	8%	71	99
Morbihan	9%	9%	115	94
Ille-et-Vilaine	9%	14%	116	82
Maine-et-Loire	7%	7%	100	103
Finistère	4%	4%	232	211
Côtes-d'Armor	2%	2%	213	179
Charente-Maritime	2%	2%	138	166
Deux-Sèvres	1%	1%	144	172
Manche	1%	1%	265	231
Mayenne	1%	1%	143	146
Sarthe	1%	1%	195	198
Indre-et-Loire	1%	1%	226	229

- Pour la répartition modale des déplacements, les hypothèses sont communes entre NA et NDDL, et se distinguent selon que le tram-train (ou le tramway) est, ou non, raccordé à l'infrastructure. Les hypothèses sont fondées sur les enquêtes passagers de Nantes-Atlantique, telles qu'elles sont reproduites dans le Schéma de Composition Générale de VINCI. L'enquête porte sur l'année 2008 et ne tient pas compte de la desserte en tramway. Dans l'empreinte carbone, cette répartition modale est prise en compte pour NA et NDDL, en augmentant toutefois la part de l'autocar à 15% plutôt que le bus, et au détriment de la part modale de la voiture personnelle qui reste quand même le mode majoritaire. Dans le cas de la construction de la desserte en tram ou tram-train, on suppose qu'il capte une part modale de 10%, tandis que la voiture personnelle et le dépôt-minute en perdent autant, chacun dans la même proportion ;

Répartition modale des déplacements		Avec Tram ou Tram-train	Sans Tram ou Tram-train
Voiture personnelle	%	32%	38%
Dépose-minute	%	24%	28%
Autocar	%	15%	15%
Taxi	%	10%	10%
Tram ou Tram-train	%	10%	0%
Voiture de location	%	9%	9%

- Enfin, pour le taux de remplissage des voitures (voiture personnelle, dépose-minute, taxi ou voiture de location), on tient compte d'un taux de remplissage mesuré par l'enquête nationale transports et déplacements (ENTD) de 2008, enquête réalisée par le commissariat général au développement durable. En analysant les voyages en avions pour lesquels le trajet précédent est en voiture (ou le trajet suivant), on parvient à évaluer le nombre de passagers (de l'aéroport) qui sont à bord des véhicules (sans tenir compte des chauffeurs dans le cas du taxi ou du dépose-minute). Ce taux de remplissage est initialement de 1,9 personnes par véhicule. Dans la modélisation on tient compte d'une augmentation progressive de ce taux de remplissage, et 1% par an à partir de 2027.

### *Que se passe-t-il si la desserte en tramway ou en tram-train n'est pas opérationnelle en 2026, début de la période d'exploitation ?*

Les deux jeux d'hypothèses pour la répartition modale permettent d'évaluer les émissions avec ou sans la construction de la desserte en tram ou tram-train. Une situation intermédiaire peut être modélisée pour laquelle la répartition modale bascule pendant la période d'évaluation entre une situation sans desserte vers où une situation avec desserte en tram ou tram-train. Cela permet d'évaluer la sensibilité des émissions à un retard dans la construction de la desserte. Les conséquences pour un retard d'un an sont ainsi relativement limitées : chaque année engendre une augmentation des émissions de moins de 1% par rapport à la situation où la desserte est effective dès 2026.

#### *5.2.7. Déplacements des employés*

##### *Description du poste :*

Ce poste correspond aux émissions additionnelles dans l'option NDDL qui sont dues à l'effet d'inertie dans le déplacement du bassin d'emplois.

Actuellement des milliers de personnes viennent travailler à l'aéroport de Nantes-Atlantique chaque jour et, en cas de transfert, la grande majorité d'entre eux irait travailler à NDDL. Cela correspond à un éloignement immédiat entre le lieu de travail et le domicile, les lieux de résidence des travailleurs étant initialement situés dans un bassin d'emploi autour de l'actuel aéroport. L'éloignement additionnel moyen correspond alors à la distance routière entre les emplacements des deux aéroports, soit 32 km. Les années passant, il est envisagé que le bassin d'emploi migre pour être à nouveau centré autour de l'emplacement de l'aéroport, les distances entre domicile et travail étant alors redevenues similaires à celles de la situation initiale (bien que l'habitat risque d'être moins

dense autour de NDDL qu'autour de NA actuellement, ce qui plaide en faveur d'une distance domicile-travail qui soit plus grande même après migration du bassin d'emplois).

Ainsi on prend en compte dans ce poste les émissions dues aux distances domicile-travail qui sont transitoirement plus élevées dans l'option NDDL (de 32 km à 0 km), le temps que le bassin d'emplois migre.

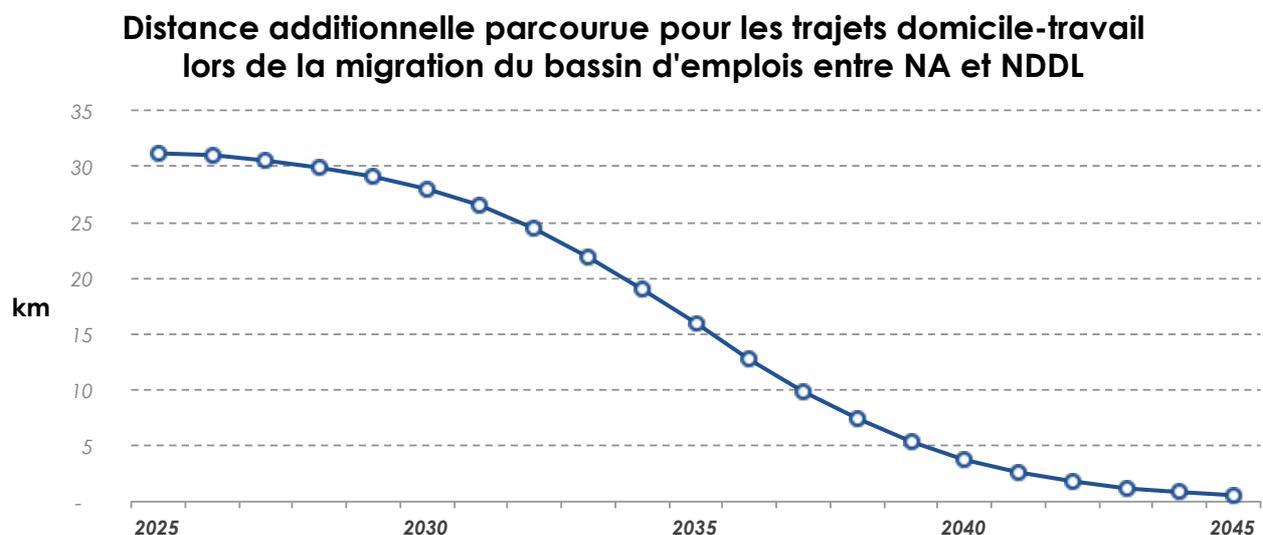
#### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Dans la Base Carbone®, c'est le facteur d'émissions de la voiture qui est utilisé : voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation moyenne (le facteur d'émissions tient compte des émissions de combustion du carburant, de l'amont du carburant, ainsi que de la fabrication du véhicule).

#### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

On prend en compte :

- 2 000 emplois liés à l'activité aéroportuaire (une évaluation de la CCI en 2013 est déjà proche de cette valeur) ; il s'agit des emplois directs et indirects, en équivalents temps pleins, qui migreraient depuis NA vers NDDL (donc ça ne tient pas compte des emplois qui restent à NA du fait des activités de fret d'AIRBUS, qui sont hors du périmètre d'empreinte carbone). Cette valeur est supposée constante sur la période, de 2026 à 2045, c'est-à-dire pour 6 comme pour 9 millions de passagers à NDDL ;
- 218 jours travaillés par an ;
- On suppose que chaque employé génère 1,6 déplacements par jour travaillé et par personne (ce qui correspond à 2 trajets, 90% de part modale de la voiture et un taux de remplissage des véhicules de 1,1) ;
- 20 ans de transition douce du bassin d'emploi, comme illustré sur la figure ci-dessous où la distance additionnelle parcourue par les travailleurs passent de 32 km à 0 km.



L'ensemble de ces hypothèses prudentes conduit à une estimation minorant les émissions calculées sur ce poste : 55 kt CO<sub>2</sub> sur la période de 20 ans. Si la distance additionnelle parcourue par les employés ne changeait pas, ces émissions seraient de 115 kt CO<sub>2</sub> sur la période, ce qui est un majorant des émissions de ce poste.

### 5.2.8. Roulage

#### *Description du poste :*

Ce poste correspond aux émissions additionnelles dans l'option NA du fait des distances de roulage des avions qui sont sensiblement plus importantes que dans le cas de l'option NDDL.

#### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Le facteur d'émissions utilisé provient de la DGAC, il correspond aux émissions de roulage en 2016 pour les moyens porteurs à NA : 130 kg CO<sub>2</sub> / mouvement. Pour ce poste on rehausse ces émissions à près de 160 kg CO<sub>2</sub> pour tenir compte des émissions dans la phase amont du kérosène (émissions dans la chaîne d'approvisionnement).

#### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Selon une évaluation de la DGAC qui compare les configurations de NDDL avec une ou deux pistes, la situation à deux pistes permet de réduire de l'ordre de 10% la distance de roulage par rapport à une configuration à une seule piste, proche de l'actuelle configuration à l'aéroport de NA.

Compte tenu du nombre de mouvements donnés par le scénario prévisionnel de trafic, cet allongement peut être traduit en l'augmentation dans la même proportion des émissions de roulage de tous les mouvements avec le facteur d'émissions précité.

### 5.2.9. Consommation d'énergie des bâtiments

#### *Description du poste :*

Ce poste correspond aux émissions de la consommation d'énergie des bâtiments pour des usages dits « réglementaires » (c'est-à-dire les usages dont la consommation est limitée par la réglementation pour la construction neuve : chauffage, production d'eau chaude, climatisation, éclairage, ventilation et consommation des auxiliaires).

L'évaluation de ce poste est très largement reprise des calculs réalisés par l'association Atelier Citoyen.

#### *Hypothèses utilisées : quels facteurs d'émissions ?*

Les facteurs d'émissions de la consommation d'énergie ont récemment été actualisés dans le cadre de la démarche E+C- (Bâtiment à Énergie Positive & Réduction Carbone) qui préfigure la prochaine réglementation environnementale sur le bâtiment neuf. Les facteurs d'émissions, qui sont distingués selon l'usage dans le cas de l'électricité, sont calculés en logique d'analyse de cycle de vie (ils incluent par exemple la construction

des moyens de production d'électricité, ainsi que l'extraction des énergies primaires, leur transformation, transport et distribution) :

- Consommation d'électricité pour le chauffage : 210 g CO<sub>2</sub> / kWh ;
- Consommation d'électricité pour les autres usages : 66 g CO<sub>2</sub> / kWh ;
- Consommation de bois plaquette en chaudière : 13 g CO<sub>2</sub> / kWh.

#### *Hypothèses utilisées : quelles données d'activité ?*

Pour le périmètre des bâtiments exposés préalablement dans le présent rapport, le Schéma de Composition Générale de VINCI explicite les surfaces nécessaires pour parvenir à 9 millions de passagers dans le cas de NDDL. Ces surfaces sont construites soit à la mise en service de l'aéroport (avant 2026) soit lors de la seconde vague de travaux pour 2040. On tient compte des émissions de la consommation d'énergie dès lors que le bâtiment est construit bien sûr.

Pour NA, la consommation de l'actuel aérogare est pris en compte, ainsi que la consommation de l'extension de l'aérogare qui est un bâtiment neuf de 40 000 m<sup>2</sup>.

Pour une surface donnée, la consommation par type d'usage (chauffage et les autres usages réglementaires) est donnée par des ratios usuels pour des bâtiments aéroportuaires (selon les dires d'experts de l'association Atelier Citoyen).