

Michel Farah, Ugo Muhieddine, Lou Stührenberg

# Ligue 1 boostée au Jet

## Rapport du projet



## Table des matières

<b>1. Périmètre de l'étude.....</b>	<b>3</b>
<b>2. La situation actuelle.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Calcul des trajets .....</b>	<b>5</b>
<b>3.A Hypothèses générales .....</b>	<b>5</b>
<b>3.B Trajets en avion.....</b>	<b>5</b>
Hypothèses .....	5
Distance.....	5
Temps de trajets.....	6
Emissions CO <sub>2</sub> .....	6
<b>3.C Trajets en train .....</b>	<b>7</b>
Hypothèses .....	7
Distance et temps de trajet .....	7
Emissions CO <sub>2</sub> .....	7
<b>3.C Trajets en bus.....</b>	<b>8</b>
Hypothèses .....	8
Distance et temps de trajet .....	8
Émissions de CO <sub>2</sub> .....	8
<b>4. Définition des scénarios.....</b>	<b>8</b>
<b>Scénario S-4h.....</b>	<b>8</b>
<b>Scénario S-6h.....</b>	<b>8</b>
<b>Scénario S-Xh.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Résultats.....</b>	<b>9</b>
<b>6. Limites.....</b>	<b>9</b>

L'ambition de ce rapport est de comptabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> émises par les clubs de football masculin de Ligue 1 lors de leurs déplacements. Pour cela, ce travail s'articule autour de trois axes :

1. Effectuer un bilan consolidé des émissions liées aux transports des équipes ;
2. Identifier les trajets où l'usage de l'avion est systématique malgré des alternatives viables et mettre en lumière des pratiques qui pourraient être optimisées ;
3. Proposer des pistes d'amélioration et modéliser des scénarios de report modal afin de chiffrer les économies possibles de CO<sub>2</sub>.

## 1. Périmètre de l'étude

Cette étude se concentre exclusivement sur les émissions de CO<sub>2</sub> générées par les déplacements des **équipes professionnelles** (joueurs et staff) dans le cadre du championnat de France de Ligue 1 pour la saison 2024-2025.

- **Sont inclus** : trajets aller et retour entre la ville d'origine et la ville de destination pour chaque match de championnat, trajets entre l'aéroport/la gare et le stade.
- **Sont exclus** : transports des supporters, déplacements logistiques annexes (hôtels, centres d'entraînement), trajets liés aux coupes nationales ou européennes.

## 2. La situation actuelle

Le *tableau 1* présente l'ensemble des trajets réalisés lors de la saison 2024-2025 par les équipes de Ligue 1 avec le mode de transport emprunté.

Les données utilisées proviennent dans leur majorité des données du compte [Ligue 1 | ON AIR](#). Certains trajets manquants ont ensuite été complétés à l'aide d'autres sources et hypothèses, identifiées selon le code couleur présenté dans le *tableau 2*.

fait le déplacement\\ destination	PSG (reçoit)	AS Monaco	Stade brestois 29	LOSC Lille	OGC Nice	Olympique lyonnais	RC Lens	Olympique de Marseille	Stade de Reims	Stade rennais FC	Toulouse FC	Montpellier HSC	RC Strasbourg	FC Nantes	Le Havre AC	AJ Auxerre	Angers SCO	AS Saint-Étienne
<b>PSG (se déplace)</b>	/	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	bus	Aller en bus/Réto ur en avion
<b>AS Monaco</b>	avion	/	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>Stade brestois 29</b>	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion
<b>LOSC Lille</b>	bus	avion	avion	/	avion	avion	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>OGC Nice</b>	avion	bus	avion	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>Olympique lyonnais</b>	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus
<b>RC Lens</b>	bus	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion
<b>Olympique de Marseille</b>	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>Stade de Reims</b>	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	/	avion	avion	bus	avion	bus	avion	bus	avion	avion
<b>Stade rennais FC</b>	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion
<b>Toulouse FC</b>	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	/	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>Montpellier HSC</b>	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion
<b>RC Strasbourg</b>	train	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion
<b>FC Nantes</b>	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	bus	avion	avion
<b>Le Havre AC</b>	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	bus	avion	avion	avion	/	avion	bus	avion
<b>AJ Auxerre</b>	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	bus	/	avion	avion
<b>Angers SCO</b>	Aller en train/Réto ur en bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	Aller en train/Réto ur en bus	bus	avion	avion	avion	bus	bus	avion	/
<b>AS Saint-Étienne</b>	train	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	/

Tableau 1 : Mode de transport des déplacements effectués par les équipes de Ligue 1

Code couleur	Origine de la donnée	Méthodologie
Noir	Source primaire	Données directes issues du compte « Ligue 1   on air »
Bleu	Déduction statistique	Calcul fondé sur le volume total de trajets par mode de transport
Vert	Estimation kilométrique	Choix du bus par défaut pour les distances < 250-300 km
Mauve	Extrapolation	Projection basée sur les tendances de la saison 2025-2026
Jaune	Contrainte sécuritaire	Attribution d'un mode de transport spécifique lié aux impératifs de sécurité

Tableau 2 : Code couleur des trajets recensés dans le tableau 1

## 3. Calcul des trajets

### 3.A Hypothèses générales

Pour assurer la cohérence de la modélisation, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- **Unicité du mode de transport** : un trajet (aller ou retour) est effectué via un seul mode (avion, bus ou train). Le mode peut toutefois différer entre l'aller et le retour.
- **Taille de la délégation** : le nombre de passagers est normalisé à **50 personnes** par équipe (joueurs, staff technique, médical et administratif).
- **Trajet direct** : pour chaque trajet, l'option la plus rapide identifiée par mode de transport est sélectionnée.
- Les trajets commencent au **stade de l'équipe visiteuse** et finissent au **stade de l'équipe receveuse**. Les trajets sont directs, sans détour par des hôtels ou terrains d'entraînement.

### 3.B Trajets en avion

#### Hypothèses

- Les trajets en avion sont effectués avec un [Embraer ERJ-145](#). Cela correspond à l'option classique retenue pour ces trajets selon les données collectées par [Ligue 1 | ON AIR](#).
- Une équipe effectue le trajet en bus entre son stade et l'aéroport, puis entre l'aéroport d'arrivée et le stade de l'équipe receveuse.
- Les aéroports utilisés par les équipes pour la saison 2024/2025 sont les mêmes que ceux publiés par le [compte Twitter Ligue 1 | ON AIR](#) pour la saison 2025/2026.
- Lorsque l'aéroport utilisé par l'équipe n'est pas connu, nous prenons l'aéroport le plus proche du stade. Cet aéroport est identifié par l'API Google Maps.
- Pour chaque déplacement, un bus à vide effectue le trajet pour apporter le matériel et conduire les équipes de l'aéroport au stade. Cette hypothèse provient de sources internes mentionnant cette pratique, qui semble être généralisée.
- Les émissions de l'avion pour arriver à l'aéroport de l'équipe visiteuse ne sont pas comptabilisées.
- Un seul avion est utilisé pour un trajet donné.

#### Distance

- **Portion avion** : la distance est calculée en utilisant la [distance orthodromique](#) entre les deux aéroports. Les coordonnées des aéroports ont été récoltées par l'API Google Maps.
- **Portion bus** : les distances stade/aéroport et aéroport/stade ont été récoltées via l'API Google Maps.

## Temps de trajets

- **Portion avion** : le temps de trajet a été estimé à partir de la distance parcourue à l'aide d'une régression linéaire, construite à partir des données [d'Aircraft Commerce](#) (2009).
- **Portion bus** : les temps de trajet entre le stade/aéroport et aéroport/stade ont été récoltés par l'API Google Maps.

## Émissions CO<sub>2</sub>

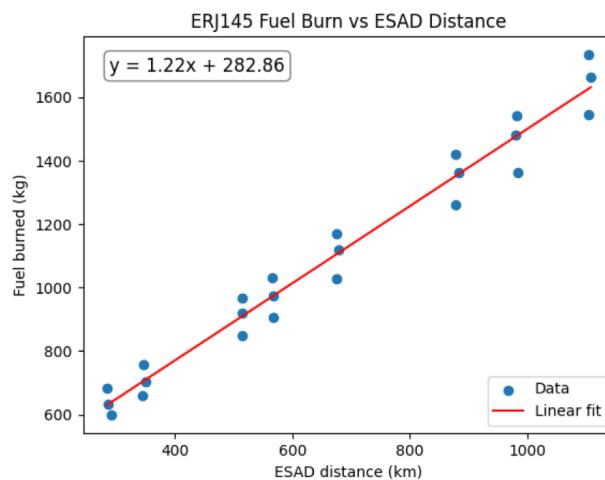


Figure 1 : Relation entre kilogramme de kéroslène brûlé et distance parcourue en kilomètres

Note : ESAD (Equivalent Still Air Distance) = Distance parcourue prenant en compte le vent. (Source : [Aircraft Commerce](#), 2009)

- **Portion avion** :
  1. On détermine le kéroslène brûlé. Cette valeur a été estimée à partir de la distance parcourue à l'aide d'une régression linéaire, construite à partir des données de la *figure 1*.
  2. Calcul des émissions de CO<sub>2</sub> à partir du kéroslène brûlé. Les émissions sont estimées à l'aide du facteur suivant : 3,15 kg CO<sub>2</sub>/ kg de kéroslène (Source : [Emission Inventory Guidebook](#), 2001. Page 22).
  3. Les émissions obtenues sont multipliées par un facteur correctif pour prendre en compte d'autres sources d'émissions (fabrication, maintenance, etc.). Ce facteur est fixé à 1,84 correspondant au rapport entre les émissions totales des avions court courriers et les émissions liées à l'usage (Source : [BPI France](#), 2024).
- **Portion bus** :
  1. Le facteur d'émission pour le bus est fixé à 0,030 kg CO<sub>2</sub>/passager/km (Source : [BPI France](#), 2024).
  2. Les émissions sont ensuite calculées en multipliant la distance par le facteur d'émission et le nombre de passagers (fixé à 50).

## 3.C Trajets en train

### Hypothèses

- Les trajets en train sont optimisés pour atteindre leur destination le plus rapidement possible, en prenant en compte les contraintes actuelles de l'infrastructure SNCF. Pour chaque trajet entre deux gares ferroviaires, nous prenons le trajet le plus rapide effectué entre ces deux gares au cours des 15 derniers jours.
- L'équipe visiteuse effectue le trajet en bus entre son stade et la gare ferroviaire, puis entre la gare et le stade de l'équipe receveuse.
- Pour chaque déplacement, un bus à vide effectue le trajet pour apporter le matériel et conduire les équipes de l'aéroport au stade. Cette hypothèse provient de sources internes mentionnant cette pratique, qui semble être généralisée.
- Nous considérons qu'un seul bus est suffisant pour transporter les joueurs et le personnel pour les trajets gare-stade, et qu'un unique second bus (nommé plus haut "bus à vide") est suffisant pour transporter le matériel.

### Distance et temps de trajet

- **Portion train** : la distance et le temps de trajet entre les deux gares ont été récoltés par l'API SNCF.
- **Portion bus** : la distance et le temps de trajet entre le stade et la gare ont été récoltés par l'API Google Maps.

### Émissions CO<sub>2</sub>

- **Portion train** :
  1. Le facteur d'émission pour le train est fixé à 0,0035 kg CO<sub>2</sub>/passager/km pour le TGV et à 0,0075 kg CO<sub>2</sub>/passager/km pour un Intercité (Source : [BPI France, 2024](#)).
  2. Les émissions sont ensuite calculées en multipliant la distance par le facteur d'émission et le nombre de passagers.
- **Portion bus** :
  1. Le facteur d'émission pour le bus est fixé à 0,030 kg CO<sub>2</sub>/passager/km (Source : [BPI France, 2024](#)).
  2. Les émissions sont ensuite calculées en multipliant la distance par le facteur d'émission et le nombre de passagers.

## 3.C Trajets en bus

### Hypothèses

- Nous supposons qu'un seul bus est suffisant pour transporter les joueurs, le personnel et tout le matériel supplémentaire. Dans ce scénario, nous ne prenons pas en considération un bus à vide supplémentaire.

### Distance et temps de trajet

La distance et le temps de trajet entre les deux stades ont été récoltés par l'API Google Maps.

### Émissions de CO<sub>2</sub>

1. Le facteur d'émission pour le bus est fixé à 0,030 kg CO<sub>2</sub>/passager/km (Source : [BPI France, 2024](#)).
2. Les émissions sont ensuite calculées en multipliant la distance par le facteur d'émission et le nombre de passagers.

## 4. Définition des scénarios

### Scénario S-4h

- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en avion, alors le trajet dans ce scénario alternatif :
  - Est attribué au bus si le bus est plus rapide que le train et son temps de trajet est inférieur à 4 heures.
  - Est attribué au train si le train est plus rapide que le bus et son temps de trajet est inférieur à 4 heures.
  - Est attribué à l'avion si aucune des deux conditions précédentes est remplie.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en train, alors le trajet est également effectué en train dans ce scénario alternatif.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en bus, alors le trajet est également effectué en bus dans ce scénario alternatif.

### Scénario S-6h

- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en avion, alors le trajet dans ce scénario alternatif :

- Est attribué au bus si le bus est plus rapide que le train et son temps de trajet est inférieur à 6 heures.
- Est attribué au train si le train est plus rapide que le bus et son temps de trajet est inférieur à 6 heures.
- Est attribué à l'avion si aucune des deux conditions précédentes est remplie.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en train, alors le trajet est également effectué en train dans ce scénario alternatif.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en bus, alors le trajet est également effectué en bus dans ce scénario alternatif.

## Scénario S-Xh

- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en avion, alors le trajet dans ce scénario alternatif :
  - Est attribué au bus si le bus est plus rapide que le train.
  - Est attribué au train si le train est plus rapide que le bus.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en train, alors le trajet est également effectué en train dans ce scénario alternatif.
- Si le trajet dans le scénario de référence s'effectue en bus, alors le trajet est également effectué en bus dans ce scénario alternatif.

## 5. Résultats

Les principaux résultats obtenus sont présentés [ici](#).

Ils peuvent également être retrouvés sur [notre site internet](#).

## 6. Limites

1. Les émissions calculées doivent être considérées comme conservatrices, notamment pour l'avion, pour plusieurs raisons :
  - Nous ne prenons pas en considération d'éventuels trajets supplémentaires par l'équipe visiteuse ;
  - Nous ne prenons pas en considération les émissions de CO<sub>2</sub> pour amener l'avion à l'aéroport de départ ;
  - Nous supposons que, quel que soit le mode de transport (avion, bus ou train), un seul véhicule assure le déplacement jusqu'à destination. Dans la réalité, les équipes peuvent utiliser plusieurs avions ou bus pour effectuer ce trajet ;

- Nous ne considérons pas de bus à vide si l'équipe utilise un bus pour se déplacer.
2. Le temps de trajet des trains doit être considéré comme une limite haute et peut sûrement être amélioré. Cette amélioration pourrait provenir soit d'une meilleure optimisation de l'infrastructure existante, en utilisant des lignes déjà présentes mais non exploitées ([voir ici](#)) et donc qui ne peuvent pas être utilisées dans notre optimisation, soit d'investissements supplémentaires dans les infrastructures ferroviaires.