

Michel Farah, Ugo Muhieddine, Lou Stührenberg

Ligue 1 boostée au Jet

Rapport du projet



Table des matières

1. Périmètre de l'étude.....	3
2. La situation actuelle.....	3
3. Calcul des trajets	5
3.A Hypothèses générales	5
3.B Trajets en avion.....	5
Hypothèses	5
Distance.....	6
Temps de trajets.....	6
Émissions CO ₂	6
3.C Trajets en train	7
Hypothèses	7
Distance et temps de trajet.....	7
Émissions CO ₂	7
3.C Trajets en bus.....	8
Hypothèses	8
Distance et temps de trajet.....	8
Émissions de CO ₂	8
4. Définition des scénarios.....	8
Scénario S-4h.....	8
Scénario S-6h.....	9
Scénario S-Xh.....	9
5. Résultats.....	9
6. Limites.....	10
7. Code.....	10

L'ambition de ce rapport est de comptabiliser les émissions de CO2 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 CO2.

1. Périmètre de l'étude

Cette étude se concentre exclusivement sur les émissions de CO2 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*.

faire 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 Nantes	FC Nantes	Le Havre AC	AJ Auxerre	Angers SCO	AS Saint-Étienne
PSG (se déplace)	/	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	bus	Aller en bus/Retur en avion
AS Monaco	avion	/	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
Stade brestois 29	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
LOSC Lille	bus	avion	avion	/	avion	avion	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
OGC Nice	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
Olympique lyonnais	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus
RC Lens	bus	avion	avion	bus	avion	avion	avion	/	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion
Olympique de Marseille	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion
Stade de Reims	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	/	avion	avion	avion	bus	avion	bus	bus	avion	bus
Stade rennais FC	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	avion	bus	bus	avion	bus	avion	avion
Toulouse FC	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion
Montpellier HSC	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	bus	/	avion	bus	avion	avion	avion	avion	bus
RC Strasbourg	train	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	/	avion	avion	avion	bus	avion
FC Nantes	bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	/	avion	bus
Le Havre AC	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	/	avion	bus	bus
AJ Auxerre	bus	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	bus	avion	avion	avion	avion	bus	bus	/	avion
Angers SCO	Aller en train/Retur ur en bus	avion	bus	avion	avion	avion	avion	avion	avion	bus	avion	avion	avion	bus	bus	avion	/	avion
AS Saint-Étienne	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 basé 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 données 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 disponible 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 à des hôtels, ou des 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 son 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 récoltés par l'API Google maps.
- **Portion bus :** Les distances stade/aéroport et aéroport/stade ont été récoltés 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, construit à partir des données [d'Aircraft Commerce](#).
- **Portion bus :** Les temps de trajet entre le stade/aéroport et aéroport/stade ont été récoltés par l'API Google maps.

Émissions CO2

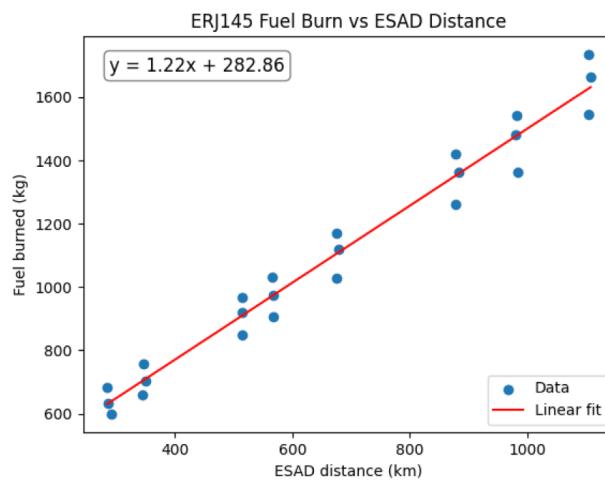


Figure 1: Relation entre kilogramme de kérésène brûlé et distance parcourue en kilomètres

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

- **Portion Avion :**

1. On détermine le kérésène 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 CO₂ à partir du kérésène brûlé. Les émissions sont estimées à l'aide du facteur suivant : 3.15 kg CO₂/ kg de kérésène. [Source p.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. [Source](#)

- **Portion Bus :**

1. Le facteur d'émission pour le bus est fixé à 0.030 kg CO₂/passager/km. [Source](#)
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, 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 sa gare, 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 et qu'un second bus 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 CO₂

- **Portion train :**

1. Le facteur d'émission pour le train est fixé à 0.0035 kg CO₂/passager/km pour le TGV et à 0.0075 kg CO₂/passager/km pour un Intercité. [Source](#)
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 CO₂/passager/km.
[Source](#)
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 CO₂

1. Le facteur d'émission pour le bus est fixé à 0.030 kg CO₂/passager/km.
[Source](#)
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](#).

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 CO₂ 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 utilisés dans notre optimisation, soit par des investissements supplémentaires dans les infrastructures ferroviaires.

7. Code

Le répertoire GitHub du projet est disponible à [ce lien](#).