

# ÉTUDE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU RÉSEAU FERROVIAIRE DU BASSIN DE VIE DE L'EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG



**AS**sociation des *usagers* des *Transports Urbains*  
de l'agglomération *Strasbourgeoise*

# Préambule

L'Astus est une association d'usagers créée en 1994, ayant pour but la représentation et la défense des utilisateurs des transports en commun de la région de Strasbourg. Mais outre une simple défense, l'association a également pour habitude de travailler aux côtés des divers acteurs en charge des transports, afin de proposer diverses solutions ou aménagements permettant d'améliorer nos conditions de déplacement. L'Astus est également membre d'autres associations, telles que la FNAUT Grand Est, et en comprend également dans les rangs de son conseil d'administration, cette démarche ayant pour but de tisser un véritable réseau associatif, œuvrant pour l'amélioration de nos transports du quotidien, quel que soit le mode de transport utilisé.

Cette étude fut réalisée dans le cadre d'un stage de 5 semaines prévu par mon cursus universitaire en faculté de chimie, à l'Université de Strasbourg. Si les transports en commun ne sont donc pas au centre de mes études, ces derniers n'en restent pas moins une passion personnelle, que j'espère avoir réussi à exprimer à travers ce document, qui constitue l'aboutissement de plusieurs années d'intérêt pour le sujet.

L'ensemble des graphes et photographies utilisés par la suite ont été réalisés spécifiquement pour cette étude, sauf mention contraire.

# **Sommaire**

**I – Introduction (p. 4)**

**II – État actuel de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise (p. 5)**

**III – Étude de divers modes de traction (p. 23)**

**IV – Application aux lignes de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise (p. 31)**

**V – Conclusion (p. 38)**

**VI – Annexes (p. 42)**

## **I – Introduction**

Capitale européenne, regroupant de multiples institutions nationales et internationales, Strasbourg est une métropole majeure de l'espace ouest-européen, située au cœur de nombreux flux de passagers et de marchandises. Au niveau ferroviaire, la Gare Centrale de la ville est l'un des 8 nœuds français centraux du réseau transeuropéen de transport (RTE-T), recoupant quatre de ses neuf grands axes<sup>1</sup>, et ne se limite donc pas en un simple point de liaison entre France et Allemagne ; depuis Strasbourg, il est ainsi possible de rejoindre de manière directe plus de 200 gares, réparties dans 6 pays différents (Allemagne, Autriche, Belgique, France, Luxembourg et Suisse)<sup>2</sup>.

Toutefois, outre les enjeux de transport à l'échelle européenne, Strasbourg est également un pôle ferroviaire majeur au niveau national et régional. Il s'agit ainsi de la 19<sup>ème</sup> gare la plus fréquentée du pays, de la 9<sup>ème</sup> en ne prenant en considération que les gares grande ligne, et de la 3<sup>ème</sup> gare de province, en nombre de voyageurs<sup>3</sup>, ainsi que de la première gare de France en nombre de circulations de TER, avec environ 640 départs et arrivées journalières en 2023 (hors cars TER)<sup>4</sup>. Ce nombre élevé de circulations TER s'explique en partie par la mise en service en décembre 2022 de la première phase du REME (« Réseau Express Métropolitain Européen »), un projet de RER métropolitain consistant en un premier temps à l'augmentation des fréquences et de l'amplitude horaire des circulations TER sur certaines lignes de l'étoile strasbourgeoise, ainsi qu'à la diamétralisation de certaines missions, afin d'améliorer la desserte du bassin de vie de Strasbourg, et d'augmenter l'attractivité du train face à d'autres modes de déplacement plus polluants<sup>5</sup>.

Le nombre de circulations TER devrait ainsi encore augmenter dans un avenir proche, ce sur l'ensemble des lignes constituant l'étoile ferroviaire strasbourgeoise. Toutefois, ces lignes sont pour la plupart à l'heure actuelle exploitées à l'aide de trains utilisant du gazole non routier (GNR), les voies n'étant pas électrifiées (c'est-à-dire non-équipées de caténaires). Or, à l'heure où les enjeux et impacts du changement climatique se font plus que pressants, ces développements posent ainsi la question de la pertinence écologique d'augmenter le nombre de circulations sur des lignes non électrifiées, et des possibles solutions à envisager qui permettraient d'améliorer le bilan carbone de ces dernières.

Cette étude s'attachera ainsi à réaliser dans un premier temps un bilan de la situation actuelle, notamment au niveau du nombre et du type de circulations effectuées et de leurs évolutions sur ces dernières années, ainsi qu'à leur impact écologique. Par la suite, diverses méthodes permettant possiblement d'améliorer le bilan carbone global du trafic local TER seront explorées, avant que ne soit discuté leur implémentation ligne par ligne, afin d'au final pouvoir tirer de grandes lignes directrices qu'il serait plus que pertinent de suivre, permettant ainsi d'accompagner les développements prévus, tout en prenant en compte les moyens financiers et humains dont disposent les divers acteurs impliqués.

## II – État actuel de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise

<sup>1</sup> Règlement (UE) n°1315/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 sur les orientations de l'Union pour le développement du réseau transeuropéen de transport (Accessible via : <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/1315/oi>)

<sup>2</sup> Calculé à partir des données compilées par le site Internet direkt.bahnhof (Accessible via : <https://direkt.bahn.guru/?origin=8700023>)

<sup>3</sup> Déterminé à partir des données ouvertes de la SNCF datant de 2021 (Accessible via : [https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/frequentation-gares/table/?disjunctive.nom\\_gare&disjunctive.code\\_postal&sort=nom\\_gare](https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/frequentation-gares/table/?disjunctive.nom_gare&disjunctive.code_postal&sort=nom_gare))

<sup>4</sup> Calculé à l'aide des fiches horaires fournies par la région Grand Est, du 11 décembre au 15 juillet 2023, hors plan de transport adapté (Accessible via : <https://www.ter.sncf.com/grand-est/se-deplacer/fiches-horaires>)

<sup>5</sup> <https://www.francebleu.fr/infos/transports/strasbourg-le-reseau-express-metropolitain-sur-les-rails-1602259853>

## A – Lignes du bassin de vie de Strasbourg

Cette étude s'intéressera aux lignes de chemin de fer desservant le bassin de vie de la métropole de Strasbourg, c'est-à-dire que les voyageurs les empruntant sont en majorité des personnes effectuant des liaisons travail – domicile, vers ou depuis la capitale alsacienne. Il sera ainsi pris en considération les liaisons suivantes :

- Strasbourg à Lauterbourg *via* Rœschwoog (puis Wœrth-sur-le-Rhin, via le réseau allemand)
- Strasbourg à Wissembourg *via* Vendenheim et Haguenau (puis Neustadt an der Weinstraße, via le réseau allemand)
- Strasbourg à Niederbronn *via* Vendenheim et Haguenau
- Strasbourg à Sarreguemines, *via* Mommenheim (puis Sarrebruck, via le réseau allemand)
- Strasbourg à Sarrebourg/Réding, *via* Vendenheim, Mommenheim et Saverne (puis Metz, Nancy et Paris)
- Strasbourg à Saint-Dié-des-Vosges, *via* Molsheim, Rothau et Saâles (puis Épinal)
- Strasbourg à Sélestat *via* Molsheim et Barr
- Strasbourg à Colmar *via* Sélestat (puis Mulhouse et Bâle)
- Strasbourg à Kehl (puis Offenbourg, via le réseau allemand)

Afin de réaliser un bilan carbone, une première étape fut de séparer ces lignes par sections, en fonction du nombre de circulations sur ces dernières. Par exemple, la ligne de Strasbourg à Lauterbourg fut séparée en deux à Rœschwoog, plusieurs missions effectuant un terminus partiel à cette gare depuis Strasbourg.

L'ensemble des sections considérées sont représentées schématiquement sur la *Figure 1* ci-après.

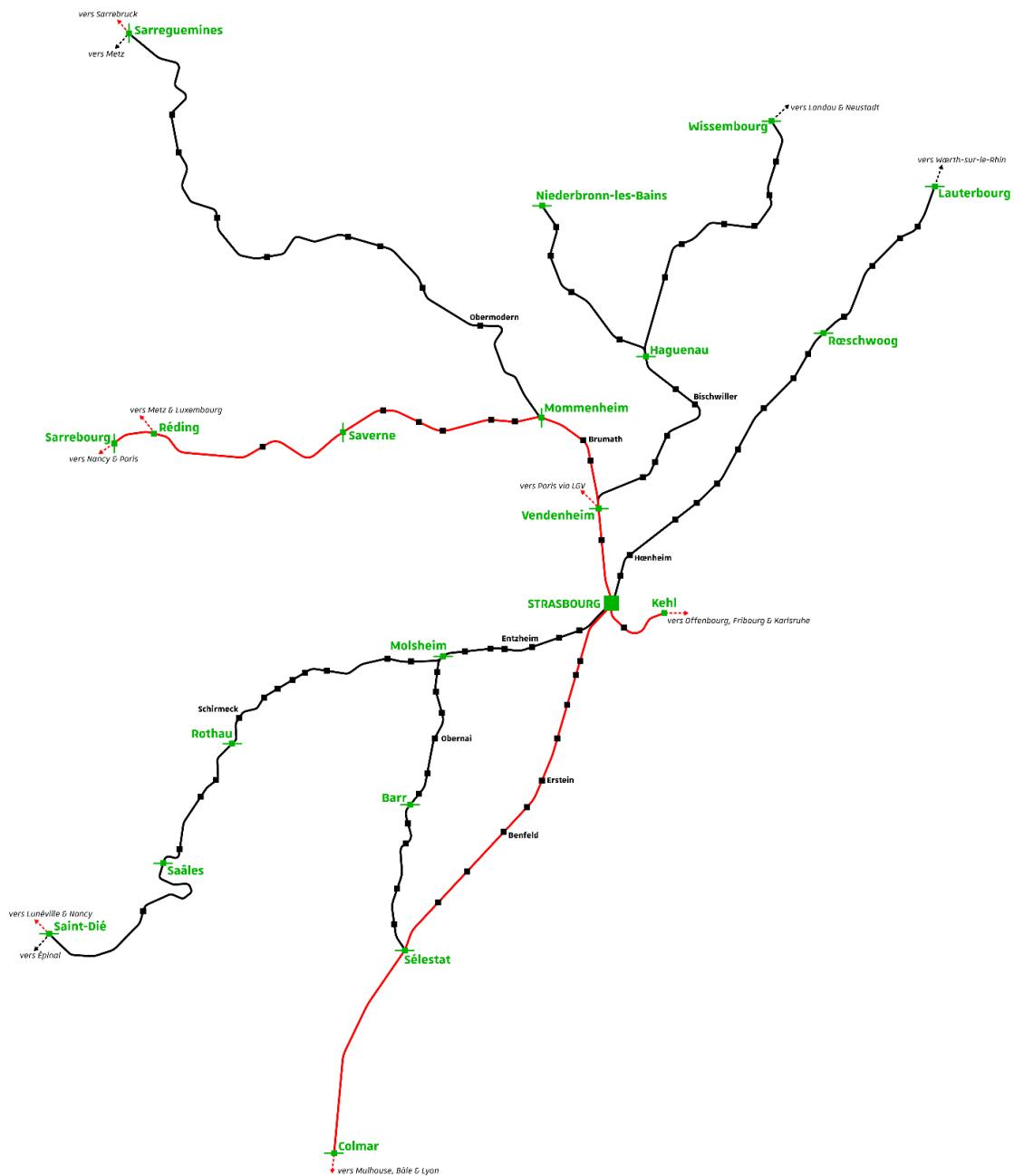
Il fut ensuite entrepris le référencement de la longueur de ces différentes lignes en utilisant les données publiées par SNCF Réseau<sup>6</sup>. Il fut également relevé le kilométrage de voies, un paramètre pouvant s'avérer pertinent quand il sera discuté de l'électrification potentielle de chaque ligne. Ainsi, une ligne comportant 2 voies verra sa longueur de voie être deux fois plus importante que sa longueur de ligne<sup>7</sup>. Le réseau du bassin de vie de Strasbourg se compose ainsi de :

- **520 kilomètres de lignes**, une longueur comparable à celle cumulée des lignes A, B, C et D du RER d'Île-de-France. Sur ces 520 kilomètres, seuls 144 kilomètres sont équipés de caténaires, soit environ 28% du total de la longueur des lignes<sup>8</sup>.
- **920 kilomètres de voies**, dont 307 kilomètres sont électrifiés, soit environ 34% du total. Ce pourcentage plus élevé s'explique par le fait que l'ensemble des lignes électrifiées possèdent 2 voies au minimum, au contraire des lignes diesels, souvent en voie unique.

<sup>6</sup> Distances calculées à l'aide des données ouvertes de la SNCF (Accessible via : <https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/formes-des-lignes-du-rfn/table/>)

<sup>7</sup> Ce décompte du nombre de voies fut réalisé à l'aide d'« OpenRailwayMap » (Accessible via : <https://www.openrailwaymap.org/>)

<sup>8</sup> La longueur des diverses lignes de RER fut déterminée à l'aide de divers jeux de données présents sur le site d'Île-de-France Mobilités regroupant certaines données ouvertes de leur réseau (Accessible via : <https://data.iledefrance-mobilites.fr/explore/>)



**Figure 1 : Représentation schématique des lignes du bassin de vie de la métropole strasbourgeoise.**  
 Les gares marquées en vert correspondent aux limites de sections de lignes qui ont été considérées pour les divers calculs qui seront réalisés par la suite, les autres gares sont représentées par des carrés noirs. Les lignes en rouge sont équipées de caténaires, les lignes en noir en sont dépourvues<sup>9,10</sup>. Par simplicité, les sections de Saverne à Réding, et de Saverne à Sarrebourg furent regroupées en une

<sup>9</sup> L'état de l'électrification des lignes fut établi de manière globale à l'aide de la carte du réseau ferré national de 2020, produite par SNCF Réseau (Accessible via : [https://www.sncf-reseau.com/sites/default/files/2020-06/CARTE%20RFN%202020\\_WEB\\_0.pdf](https://www.sncf-reseau.com/sites/default/files/2020-06/CARTE%20RFN%202020_WEB_0.pdf))

<sup>10</sup> L'état de l'électrification des lignes fut affiné à l'aide de la carte en ligne « OpenRailwayMap » (Accessible via : <https://www.openrailwaymap.org/>)

seule, dont la longueur relevée et utilisée pour les calculs correspond à la moyenne de celle des deux sections initiales.

Le nombre de gares par section de ligne fut également relevé en se basant sur les données publiées par SNCF<sup>11</sup>. La gare de Hunspach, sur la section d'Haguenau à Wissembourg, fut également comptabilisée bien que n'étant plus desservie depuis décembre 2022<sup>12</sup>. À l'aide de ces données, il fut également déterminé la distance moyenne séparant chaque gare, par section de ligne, une donnée pouvant s'avérer pertinente à considérer dans la suite de cette étude.

Le réseau considéré dispose ainsi de **103 gares**, espacées en moyenne de 6,7 kilomètres. Cet espace varie considérablement d'une section à l'autre, la section de Saâles à Saint-Dié comportant ainsi une gare tous les 25 kilomètres, là où à l'inverse, la section de Molsheim à Barr en comporte une tous les 2,2 kilomètres en moyenne.



*Figure 2 : Train TER « Régiolis » en gare de Lauterbourg*

## B – Circulations ferroviaires actuelles

Par la suite, un inventaire du nombre de circulations ferroviaires par section fut entrepris. Ce dernier ne recense uniquement que les circulations TER, et non les TGV, NightJet, trains de fret, ou tout autre train pouvant emprunter les sections comprises dans cette étude. Pour chaque section, il fut ainsi recensé le nombre de circulations par jour, en semaine, le samedi, et le dimanche, dans les deux sens de circulation, ce en s'appuyant sur les fiches horaires

<sup>11</sup> Le nombre et la position des gares furent relevés grâce aux données ouvertes SNCF sur la question (Accessible via : <https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/referentiel-gares-voyageurs/table/>)

<sup>12</sup> [https://www.bfmtv.com/alsace/il-n-y-a-pas-de-plan-b-le-desarroi-des-usagers-du-ter-prives-de-desserte-par-le-rme\\_AV-202212120418.html](https://www.bfmtv.com/alsace/il-n-y-a-pas-de-plan-b-le-desarroi-des-usagers-du-ter-prives-de-desserte-par-le-rme_AV-202212120418.html)

publiées par TER Grand Est<sup>13</sup>. Au final est obtenu le nombre total de circulations TER théoriques (hors de tout plan de transport adapté) pour une semaine standard (ne comprenant pas de jours fériés) :

- Environ 650 circulations TER par jour en semaine sur les sections considérées
- Environ 400 circulations TER les samedis
- Environ 220 circulations TER les dimanches
- Soit un total d'environ **3 900 circulations par semaine**, sur l'ensemble de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise (voir *Figure 1*)

Il est à noter qu'à quelques exceptions près, l'ensemble de ces circulations transitent par Strasbourg, la Gare Centrale voyant ainsi en semaine un mouvement de train toutes les 2 à 3 minutes environ (arrivée, ou départ), hors TGV et autres types de trains.



*Figure 3 : Train TER « Régiolis » au départ de la gare de Strasbourg*

Pour offrir un point de comparaison de l'évolution du nombre de circulations depuis la mise en service du REME en décembre 2022, il fut répertorié de la même façon les circulations ferroviaires TER, il y a 5 ans de cela, en 2017<sup>14</sup>. En appliquant les mêmes méthodes, des chiffres nettement inférieurs furent calculés :

- Environ 500 circulations TER par jour en semaine
- Environ 220 circulations TER les samedis
- Environ 200 circulations TER les dimanches

<sup>13</sup> Le nombre de circulations fut déterminé à l'aide des fiches horaires disponibles sur le site Internet TER Grand Est, hors plan de transport adapté, pour une semaine « standard » ne comptant aucun jour férié (Accessible en ligne : <https://www.ter.sncf.com/grand-est/se-deplacer/fiches-horaires>)

<sup>14</sup> Le nombre de circulations de 2017 fut déterminé à l'aide des fiches horaires papiers datant de cette année, qui ne sont plus accessibles en ligne.

- Soit un total d'environ **2 900 circulations par semaine**, en 2017

Entre les horaires de 2017 et ceux de 2023, il est donc constaté une augmentation de 30% des circulations en semaine, de 82% les samedis, et de 10% les dimanches, pour une augmentation globale de 35% sur la semaine complète. De même, en appliquant les mêmes calculs pour le service prévisionnels de 2030<sup>15</sup> :

- Environ 750 circulations TER par jour en semaine
- Environ 500 circulations TER les samedis
- Environ 350 circulations TER les dimanches
- Soit un total d'environ **4 500 circulations par semaine**, en 2030

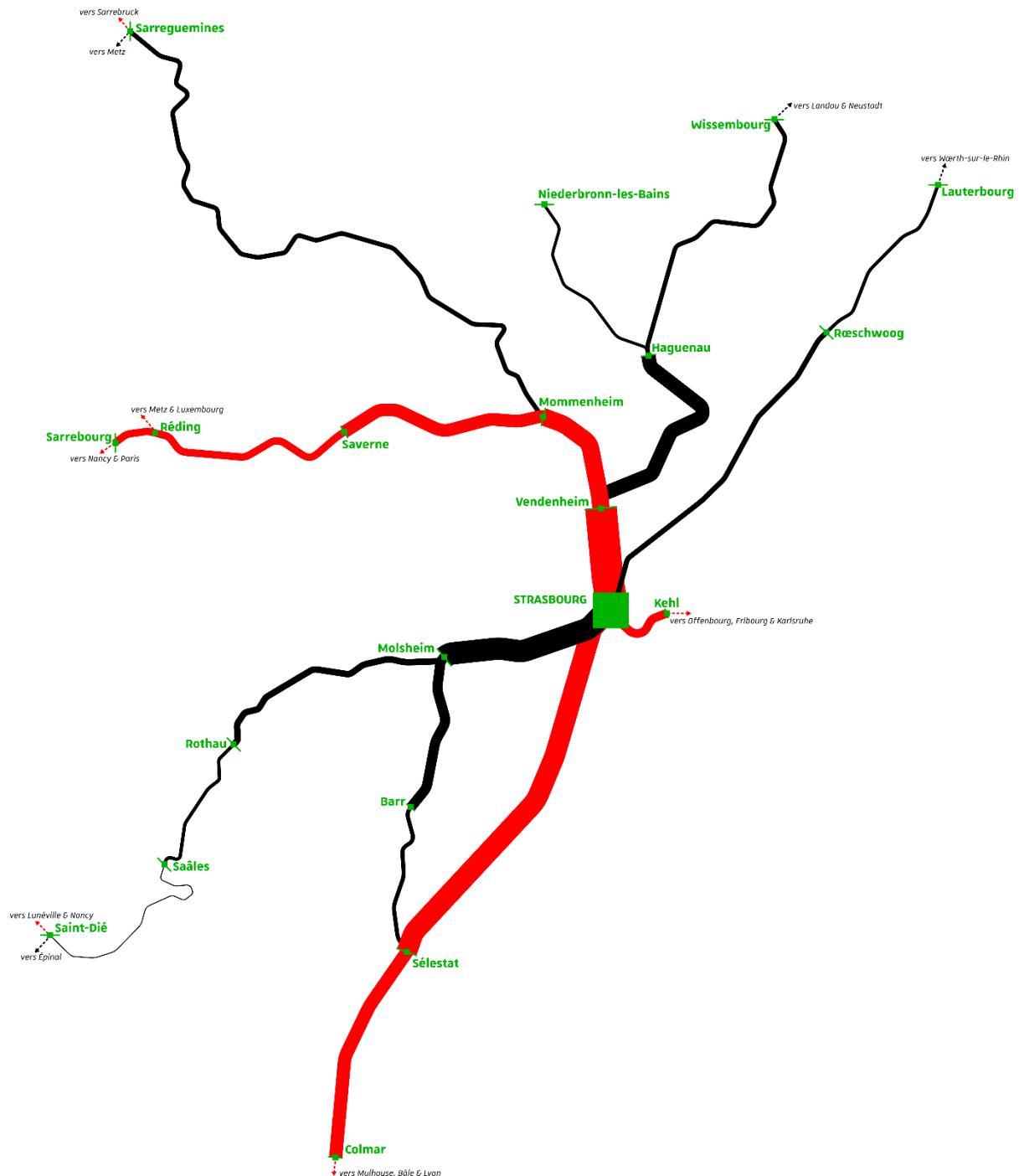
Entre les horaires de 2023 et de 2030, il est donc constaté une augmentation de 15% des circulations globales sur la semaine complète. Ce pourcentage relativement faible cache en réalité le défaut de cette méthode de comparaison, à savoir que les phases successives du REME vont à l'avenir de plus en plus s'attacher à étendre le réseau desservi plutôt qu'à augmenter le nombre de circulations totales sur des sections déjà desservies. Il est bien sûr à noter que ces prévisions sont approximatives, et sont amenées à grandement évoluer au fur-et-à-mesure de l'avancée du projet, ces valeurs ne sont à considérer qu'uniquement dans le but de donner un ordre de grandeur général du réseau en 2030.

Les valeurs relevées pour l'année 2023, 2017 et 2030 sont disponibles en *Annexe 1*, *Annexe 2* et *Annexe 3* de ce document sous forme de tableau récapitulatif.

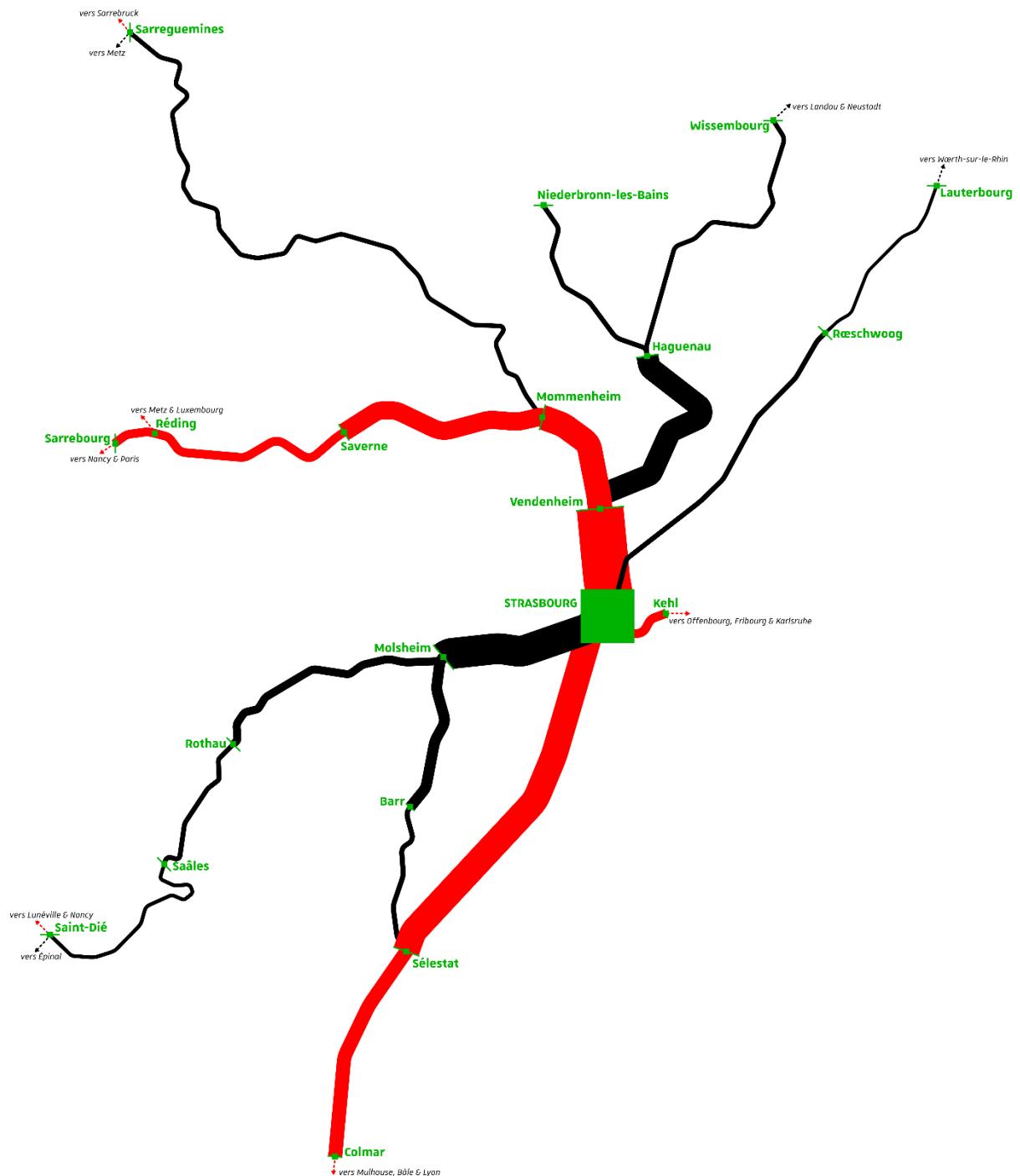
Outre les chiffres globaux, il est également intéressant de voir la répartition de ces circulations sur chaque section de ligne de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise. Cela est représenté de manière graphique sur les deux figures suivantes, la première pour 2017, la seconde pour 2023 :

---

<sup>15</sup> Le nombre de circulations de 2030 fut déterminé grossièrement à l'aide des pourcentages affichés durant la présentation du projet. Ces chiffres ne sont ainsi donnés qu'à titre indicatif (Accessible via : [https://twitter.com/oschneider\\_fub/status/1600822441768816644](https://twitter.com/oschneider_fub/status/1600822441768816644))

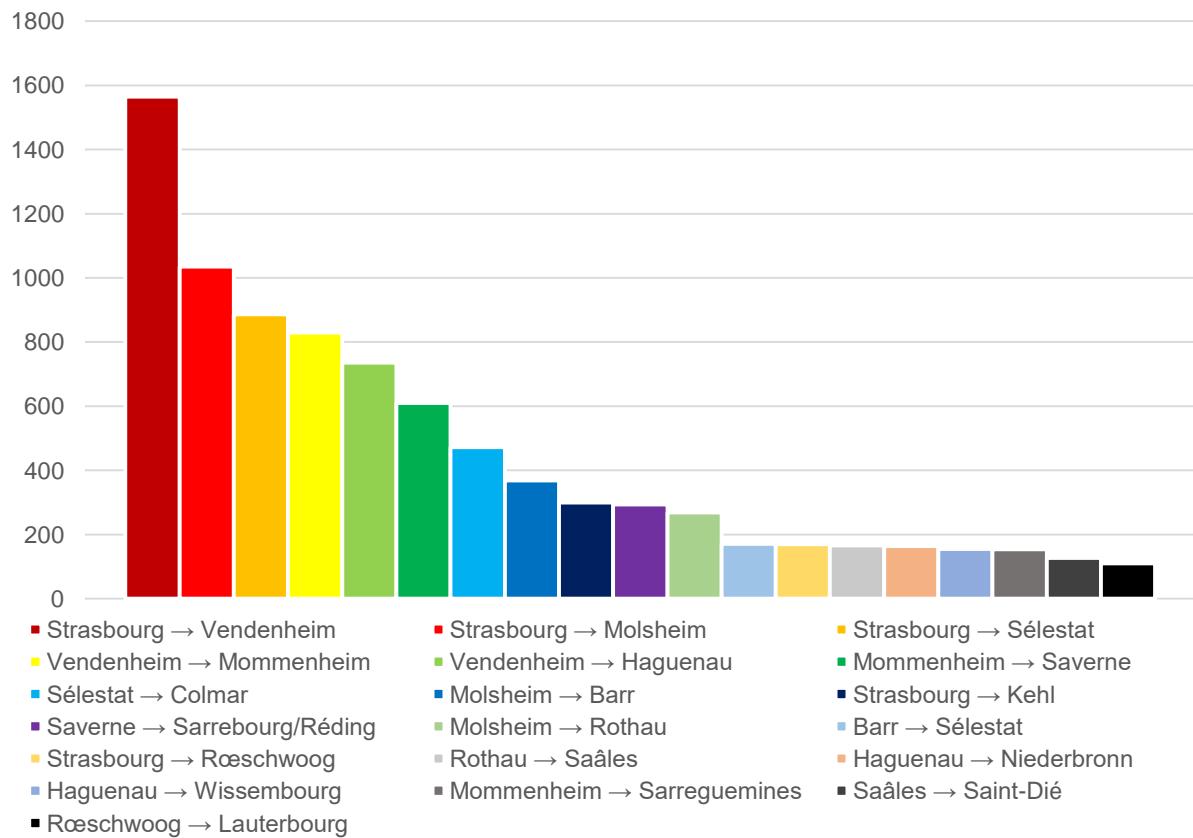


**Figure 4 :** Représentation schématique des lignes du bassin de vie de la métropole strasbourgeoise, en 2017. La largeur du trait de chaque section de ligne est proportionnelle au nombre de circulations par semaine. Les lignes en rouge sont équipées de caténaires, celles en noir n'en sont pas pourvues.



**Figure 5 :** Représentation schématique des lignes du bassin de vie de la métropole strasbourgeoise, en 2023. La largeur du trait de chaque section de ligne est proportionnelle au nombre de circulations par semaine. Les lignes en rouge sont équipées de caténaires, celles en noir n'en sont pas pourvues.

Ces représentations permettent de montrer de manière assez prononcée les sections les plus empruntées par les TER, mais également de mettre en lumière les impacts de la mise en place du REME, ayant entraîné l'augmentation du nombre de TER sur un grand nombre de sections de lignes (notamment sur les 4 grands axes actuels du projet, vers Haguenau, Saverne, Molsheim et Sélestat). La section la plus empruntée est à ce jour celle située entre Strasbourg et Vendenheim, parcourue par environ 1 570 trains TER par semaine.



**Figure 6 : Nombre de circulations TER par semaine, par section de ligne du réseau ferroviaire du bassin de vie de Strasbourg, en 2023.**

Comme vu plus haut, le nombre de circulations devrait continuer à augmenter progressivement d'années en années, grâce à la poursuite du déploiement du REME sur de nouvelles liaisons, et son renforcement sur les axes déjà concernés<sup>16</sup>, ainsi qu'à l'établissement de nouvelles liaisons régionales fréquentes et directes transfrontalières, à destination de multiples villes allemandes (comme Sarrebruck, Karlsruhe ou Fribourg)<sup>17</sup>.

## C – État du parc de matériel roulant TER

Un autre facteur à prendre en considération est le parc de matériel roulant dont dispose la région Grand Est pour assurer l'ensemble des circulations ferroviaires sur le territoire étudié. Ce dernier peut être divisé en trois catégories, en fonction du mode de traction des trains :

- **Électriques** : Ces trains ne peuvent circuler qu'uniquement sur des lignes électrifiées. En Alsace, tous ces trains sont équipés pour rouler sous les deux tensions françaises principales du RFN (25 000 V 50 Hz et 1 500 V continu), à l'avenir certaines rames

<sup>16</sup> <https://www.francebleu.fr/infos/transports/tout-comprendre-au-reme-a-strasbourg-le-premier-rer-de-province-lance-en-alsace-6824882>

<sup>17</sup> <https://infodujour.fr/societe/50925-regolis-transfrontaliers-un-projet-ferroviaire-franco-allemand>

seront également compatibles avec la tension allemande et suisse (15 000 V 16,7 Hz)<sup>18</sup>.

- **Diesels** : Ces trains ne peuvent circuler uniquement qu'en mode thermique, à l'aide de gazole non-routier (GNR), y compris sur les sections électrifiées. Plus aucune commande de rame neuve de ce type n'a été passée par les collectivités françaises depuis plus d'une décennie.
- **Bimodes** : Ces trains sont capables d'alterner entre les deux modes cités ci-dessus. Ce sont désormais les rames privilégiées par les collectivités, l'achat de ces trains permettant une interopérabilité entre les lignes équipées de caténaires, et celles en étant dépourvues.

Dresser une liste précise et exacte du matériel utilisé sur chaque section est assez complexe ; en effet, les trains utilisés diffèrent d'une journée à l'autre. De plus, les principales bases de données regroupant le matériel géré recoupent le matériel de la Supervision Technique de Flotte Alsace (STF Alsace), qui gère également les trains circulant dans les régions de Colmar et Mulhouse, qui ne sont donc pas pris en considération ici<sup>19</sup>. Il est toutefois possible de constituer une liste générale des types de matériels dont dispose le STF Alsace, et de leur attribuer des missions-types, que ces rames effectuent le plus souvent. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'il ne s'agit que de généralités, pouvant ne pas s'appliquer exactement aux circulations quotidiennes observées :

- **BB 22200 « Nez Cassés »**, locomotives à traction électrique généralement couplées à des voitures de type RRR, ou « Rames Réversibles Régionales ». Ce matériel, bien que de construction ancienne, est assez récent dans le parc alsacien, puisque ces locomotives furent acquises en 2022 à la région PACA, ce dans le but de disposer rapidement d'assez de trains pour pouvoir assurer la première phase du déploiement du REME<sup>20</sup>. Les voitures RRR tractées sont, elles, depuis de nombreuses années affectées au STF Alsace. Cette composition circule majoritairement sur la liaison diamétralisée Saverne → Sélestat, via Strasbourg.
- **BB 26000 « Sybic »**, locomotives à traction électrique généralement couplées à des voitures de type Corail. Ce matériel est désormais présent depuis de nombreuses années en Alsace, et est utilisé notamment sur le TER 200, reliant Strasbourg à Bâle, mais également sur certaines liaisons TER vers Nancy ou Paris. Ce matériel n'est donc que peu concerné par le REME, étant plus dédié aux liaisons grandes distances, à vitesses élevées (jusqu'à 200 km/h), comparable à des services types « Intercités ».
- **X 73900 « Suppos »**, rames automotrices monocabines à traction diesel, équipées des systèmes de signalisation français et allemands. Ces rames sont celles utilisées actuellement sur les liaisons transfrontalières (vers Sarrebruck, Offenbourg, ou encore Neustadt).
- **X 73500 « Suppos »**, rames automotrices monocabines à traction diesel, de la même famille que les X 73900 ci-dessus, mais n'étant pas aptes à rouler sur le réseau

---

<sup>18</sup> <https://www.railpassion.fr/materiel-actualites-rp/nouvelle-commande-de-regiolis-region-grand/>

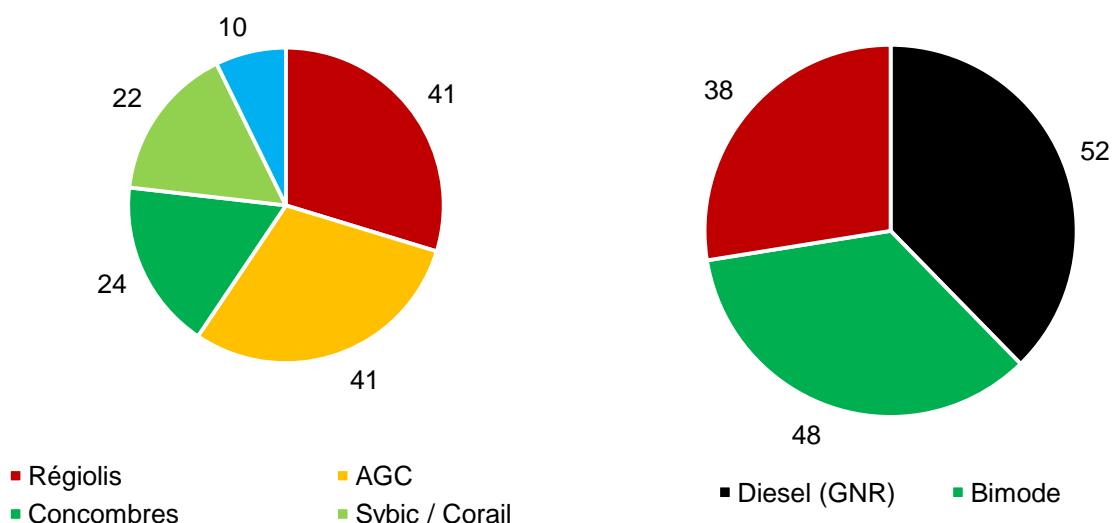
<sup>19</sup> Le parc global de matériel roulant fut dressé à l'aide d'une base de données d'un passionné en ligne (Accessible en ligne via : <https://trainsso.pagesperso-orange.fr/page9.html>), mais également à l'aide de la page Wikipédia recensant ces-mêmes matériels, mise-à-jour régulièrement (Accessible via : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riel\\_roulant\\_du\\_TER\\_Grand\\_Est](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riel_roulant_du_TER_Grand_Est))

<sup>20</sup> <http://www.trainsfrancais.com/forum/bb-22200-paca-dans-le-grand-est-t44259.html>

- allemand. Ces rames servent majoritairement sur des liaisons en heures creuses, quand la fréquentation est suffisamment faible, et notamment vers Lauterbourg, ou Saint-Dié.
- **X 76500 « AGC » ou « XGC »**, rames automotrices de 3 ou 4 caisses à traction diesel. Ces rames circulent sur la quasi-totalité des liaisons du bassin de vie ainsi que sur le reste du réseau alsacien, ce sont les rames les plus nombreuses du parc actuel du STF Alsace.
  - **Z 27500 « AGC » ou « ZGC »**, rames automotrices de 3 ou 4 caisses à traction électrique. Ces rames circulent uniquement sur les lignes électrifiées de l'Alsace, autour de Strasbourg mais également autour de Mulhouse, vers Belfort ou Bâle.
  - **B 82500 « AGC », « BGC » ou « Bi-Bi »**, rames automotrices de 4 caisses à traction bimode. Ces rames circulent sur la quasi-totalité des liaisons du bassin de vie, ainsi que sur le reste du réseau alsacien.
  - **B 83500 et B 84500 « Régiolis »**, rames automotrices de 4 ou 6 caisses à traction bimode. Ces rames circulent sur la totalité des liaisons du bassin de vie, à l'exception des missions ayant pour destination des villes situées en Allemagne.

Des photographies de chaque type de matériel sont disponibles en *Annexe 4* de ce document.

Le nombre total de trains TER gérés par le STF Alsace s'élève donc selon notre relevé à **138 locomotives ou rames automotrices** en service commercial, en date du mois de mai 2023. Il est important de noter à nouveau que ces rames circulent également en-dehors des sections concernées par cette étude, notamment autour de Colmar et Mulhouse. Il peut toutefois être intéressant pour la suite d'étudier la répartition de ces rames en fonction de chaque type, mais surtout en fonction de chaque mode de traction :



**Figures 7 et 8 : Répartition du matériel roulant du STF Alsace par type de train, et par mode de traction**

À l'heure actuelle, la composition du parc roulant alsacien est donc très hétérogène, et composé à un tiers de trains à traction diesel, d'un autre tiers à traction bimode, et d'un

dernier tiers à traction électrique. Cette proportion est amenée à évoluer, la région ne passant plus commande que de trains à traction bimode, ce sont ces derniers qui s'imposeront dans les années et décennies à venir si l'électrification des lignes du bassin de vie reste dans son état actuel.

Cette présence forte de matériel à traction diesel et bimode implique que sur certaines sections, ces rames peuvent être amenées à rouler en mode diesel sur des lignes pourtant équipées de caténaires. Cette situation pouvant paraître contre-intuitive fut observée sur trois sections<sup>21</sup> :

- Ligne de Strasbourg à Kehl (puis Offenbourg). Les trains y circulant (X 73900 français et « RegioShuttle RS 1 » allemands) n'étant pas bimodes, ces derniers sont donc incapables d'utiliser le courant de la caténaire, pourtant installée sur l'entièreté de la ligne. Cette situation devrait être amenée à évoluer à l'avenir, les nouveaux trains Régiolis transfrontaliers étant habilités à circuler en traction électrique sous tension française et allemande<sup>22</sup>. Cette ligne sera donc dans la suite de cette étude, notamment pour le calcul du bilan carbone, considérée comme exploitée uniquement en traction diesel.
- Ligne de Strasbourg à Sarreguemines, via Mommenheim. Si une majorité des trains y circulant sont de type Régiolis, et effectuent bien un changement de traction en gare de Mommenheim comme il nous fut possible de l'observer à plusieurs reprises, il est également noté la circulation de multiples trains X 73500 et 73900, à traction diesel, parcourant donc la section entre Strasbourg et Mommenheim sans utiliser la caténaire, pourtant présente. Une situation là encore amenée à évoluer à l'avenir avec l'introduction des rames Régiolis transfrontalières<sup>22</sup>. Il sera toutefois considéré par la suite par soucis de simplification des calculs que tous les trains parcourant la section Strasbourg → Mommenheim utilisent la traction électrique.
- Ligne de Strasbourg à Haguenau (puis Niederbronn, Wissembourg et Neustadt), via Vendenheim. Si quelques rames AGC diesels circulent sur cette section, la majorité des trains observés furent des rames Régiolis bimodes. Les missions directes entre Strasbourg et Bischwiller sont assurées en traction diesel uniquement, malgré la présence de caténaires jusqu'à Vendenheim, une situation, compréhensible actuellement de par l'absence de la signalisation dédiée sur la voie, nécessaire au changement de mode, celle-ci ne sera installée que dans les mois à venir<sup>23</sup>. Toutefois, il est également observé que de nombreuses rames bimodes en mission omnibus (s'arrêtant donc à Vendenheim) poursuivent jusqu'à Strasbourg en mode diesel. Sur 4h de passage en semaine, seule une unique rame a été observée effectuant un changement de traction en gare de Vendenheim. Il sera donc considéré par la suite que

<sup>21</sup> Observations réalisées sur place, du 9 au 14 mai 2023

<sup>22</sup> <https://www.railpassion.fr/materiel-actualites-rp/nouvelle-commande-de-regiolis-region-grand/>

<sup>23</sup> <https://blog.sylvainbouard.fr/les-ter-bimode-sous-catenaire-le-vrai-le-faux/>

l'ensemble des trains parcourant la section vers Haguenau utilisent la traction diesel, aux vues des observations ayant pu être effectuées sur place.



**Figure 9 : Rame « Régiolis » au départ de la gare de Vendenheim, circulant en traction diesel, malgré la présence de caténaires jusqu'au terminus de la rame, à Strasbourg.**

## D – Détermination du bilan carbone des circulations

À partir de toutes les informations regroupées dans les parties précédentes, il est désormais possible de s'essayer à l'établissement d'un bilan carbone des circulations TER sur les sections étudiées. Il est pour cela nécessaire premièrement de relever la consommation en électricité ou carburant des trains, en fonction de leur mode de traction. Afin de grandement simplifier les calculs, et au vu du matériel roulant n'étant pas fixe pour chaque section, il sera choisi l'utilisation de valeurs moyennes, soit une valeur pour les trains à traction électrique, et une autre pour les trains à traction diesel.

Ces données moyennes sont fournies notamment par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, et utilisées entre autres pour le calcul des émissions engendrées par le voyage de chaque passager, lors de l'achat d'un billet en ligne, par exemple<sup>24</sup>. Ainsi, il est relevé une consommation de :

- **13,5 kWh par kilomètre** parcouru pour un train régional express à traction électrique
- **1,7 litre par kilomètre** parcouru de GNR (gazole non-routier), pour un train régional express à traction diesel

---

<sup>24</sup> Les informations concernant la consommation moyenne en carburant et électricité des trains sont relevées dans le guide méthodologique GES des prestations transport du Ministère de la Transition écologique et solidaire, édité en 2018, visibles à la page 122 (Accessible via : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Info%20GES\\_Guide%20m%C3%A9thodo.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Info%20GES_Guide%20m%C3%A9thodo.pdf))

À partir de ces valeurs, il est ensuite possible d'estimer la quantité d'électricité et de gazole utilisée sur une semaine, en les multipliant par la longueur de chaque section, ainsi que le nombre de circulations par semaine y étant effectuées :

- **1 192 957 kWh** sont ainsi consommés chaque semaine par les trains circulant en traction électrique
- **176 544 litres de GNR** sont consommés chaque semaine par les trains circulant en traction diesel

Pour offrir un ordre de grandeur à ces chiffres, on peut déterminer qu'une voiture diesel, consommant 4,4 litres pour 100 km<sup>25</sup>, et effectuant un kilométrage moyen de 280 kilomètres par semaine<sup>26</sup> brûlera un total de 12,3 litres de gazole par semaine. L'ensemble des circulations TER considérées sur une semaine équivaut ainsi à la consommation d'environ 14 350 véhicules diesels sur la même durée. Il est à noter que les TER circulant sur une semaine, transportant chacun en moyenne 68 passagers par trajet seront empruntés en moyenne par 265 000 personnes<sup>27</sup>, là où les véhicules diesels équivalents, ayant un taux de remplissage moyen de 1,43 personne par automobile pour de courtes distances<sup>28</sup>, n'en transporteront que 20 520 sur une semaine, soit 13 fois moins.

Pour dresser le bilan carbone des circulations, il suffit ensuite de multiplier la consommation par semaine à l'émission de CO<sub>2</sub> équivalent généré par l'utilisation d'une unité (ici, soit des kWh ou des litres), en utilisant les valeurs suivantes :

- **36 gCO<sub>2</sub>éq. par kWh consommé en France**, pris sur l'année 2021 des données de RTE<sup>29</sup>
- **3 170 gCO<sub>2</sub>éq. par litre de GNR consommé**, pris sur la Base carbone de l'ADEME<sup>30</sup>

Une fois ces valeurs multipliées par la consommation sur la semaine des circulations TER, le bilan carbone des circulations TER considérées sur une semaine est établi :

- 43 tonnes de CO<sub>2</sub>éq. sont émis chaque semaine par les TER utilisant la traction électrique
- 560 tonnes de CO<sub>2</sub>éq. sont émis chaque semaine par les TER utilisant la traction diesel
- Soit un total de **603 tonnes de CO<sub>2</sub>éq. émis chaque semaine** par l'ensemble des circulation TER considérées

---

<sup>25</sup> La consommation moyenne correspond à celle relevée en 2019 par l'ADEME (Accessible via : <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionConsoMoyenne>)

<sup>26</sup> Kilométrage moyen par semaine déterminé à partir du kilométrage annuel d'une voiture diesel en France, relevé en 2019, soit ~15 000 km par an (Accessible via : <https://fr.statista.com/statistiques/484345/distance-parcourue-en-moyenne-par-voiture-france/>)

<sup>27</sup> Ce résultat fut déterminé à partir du nombre de circulations par semaine déterminé par cette étude (environ 3 900), ainsi qu'avec le nombre de passagers moyen dans une rame TER en traction diesel, fourni par le guide méthodologique GES des prestations transport listé en référence<sup>[24]</sup>

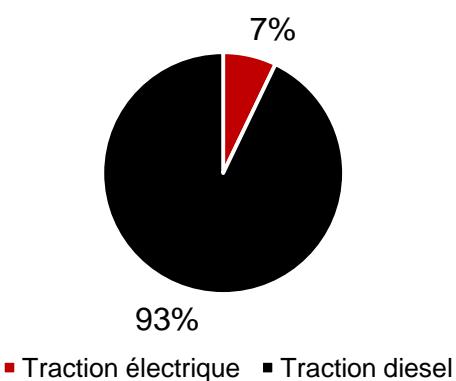
<sup>28</sup> Le taux d'occupation d'une voiture fut déterminé à partir des données du Ministère de la Transition écologique et solidaire (Accessible via : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/se-deplacer-en-voiture-seul-plusieurs-ou-en-covoiturage-0>)

<sup>29</sup> Valeur provenant du bilan annuel du réseau électrique français géré par RTE (Accessible via : <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2021>)

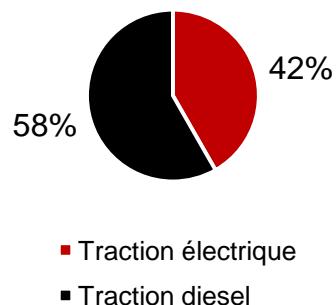
<sup>30</sup> Valeur provenant de la Base carbone de l'ADEME, listée sur le guide méthodologique GES des prestations transport, listé en référence<sup>[24]</sup>

Pour offrir là aussi un ordre de grandeur, cela représente 31 442 tonnes de CO<sub>2</sub>éq. émis chaque année, ce qui correspond aux émissions moyennes cumulées de 3 533 français sur une année<sup>31</sup>. Il est intéressant toutefois de noter la grande différence d'impact entre traction électrique et diesel sur ce résultat :

**Figure 10 :**  
**Répartition des émissions de CO<sub>2</sub>éq. par semaine, par mode de traction**



**Figure 11 :**  
**Répartition des circulations par semaine, par mode de traction**

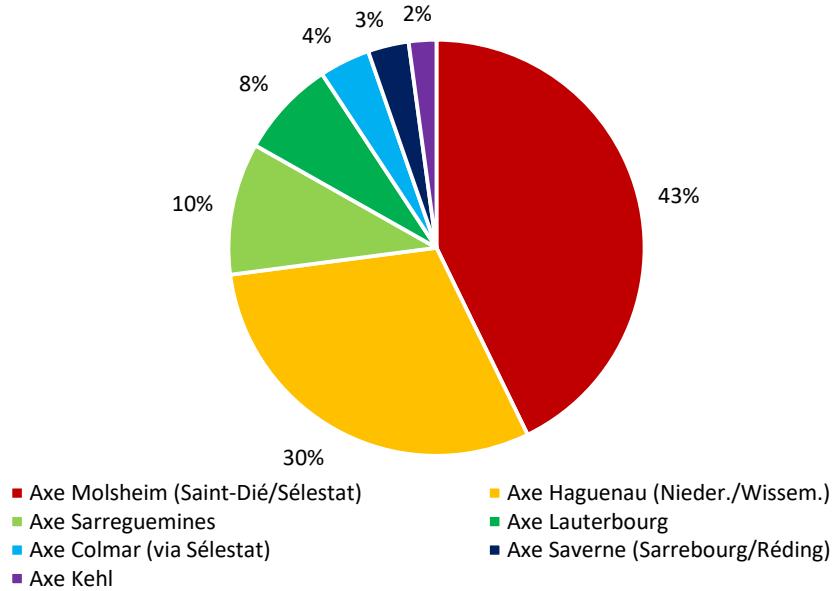


**Figure 10 et 11 : Répartition des émissions de CO<sub>2</sub>éq. en fonction du mode de traction utilisé, comparée à la répartition du nombre de circulations TER par semaine, par mode de traction utilisé**

La traction diesel représente ainsi 58% des circulations par semaine, une légère majorité, mais participe à 93% des émissions totales de CO<sub>2</sub>éq. des circulations de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise.

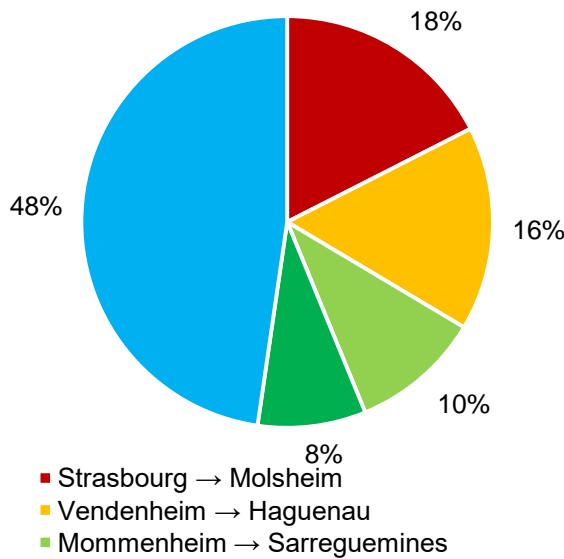
Il est également très intéressant de considérer les émissions de CO<sub>2</sub>éq. par section de ligne. Pour simplifier la lecture du graphique, dans un premier temps les sections de lignes ont été regroupées en grands axes de trafic pour donner une vision globale simple à interpréter :

<sup>31</sup> Calculé à partir des données 2019 du Ministère de la Transition écologique et solidaire (Accessible via : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/empreinte-carbone-de-la-france-de-1995-2021>)



**Figure 12** : Répartition des émissions de CO<sub>2</sub>éq. par grand axe de trafic.

Cette représentation est assez parlante, et permet de constater que 75% des émissions de CO<sub>2</sub>éq. actuelles proviennent de deux axes, à savoir celui partant vers Molsheim (puis Saint-Dié et Sélestat), et celui partant vers Haguenau (puis Niederbronn et Wissembourg). Pour comprendre plus en détail quelles sections de ces axes sont les plus émettrices, il est possible de réaliser le même graphe, mais en ne faisant apparaître que les sections participant le plus aux émissions totales :



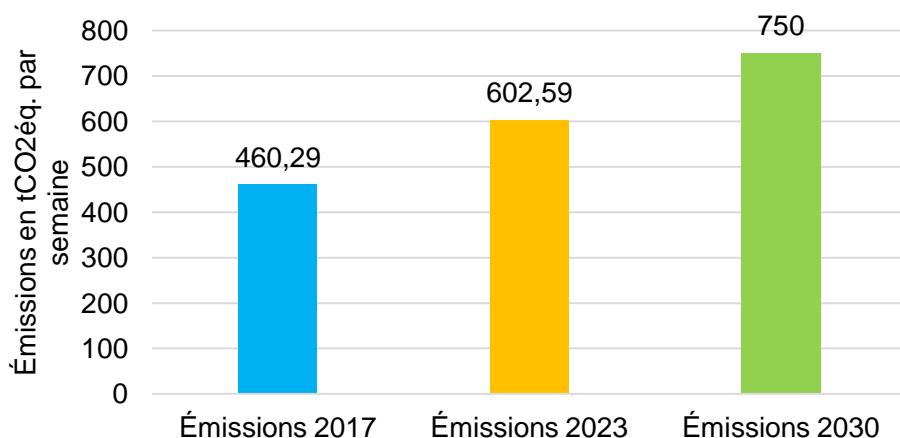
**Figure 13** : Répartition des émissions de CO<sub>2</sub>éq. par section de ligne, sur une semaine de circulations. Les sections de Strasbourg à Kehl, et de Strasbourg à Vendenheim (pour les missions se dirigeant vers Haguenau) furent regroupées sous l'appellation « Sections électrifiées exploitées en diesel »

Il est important de considérer ces chiffres d'émissions à l'état brut dans un premier temps, en effet, chaque tonne de CO<sub>2</sub>éq. émise participe directement au réchauffement de la planète, peu importe son origine, c'est sur ces valeurs brutes qu'il est important à terme d'agir pour faire diminuer l'impact du train sur le climat.

Les trois sections les plus émettrices du réseau considéré sont donc les sections de Strasbourg à Molsheim, et de Vendenheim à Haguenau, suivies de la section de Mommenheim à Sarreguemines. Les deux sections électrifiées exploitées en diesel arrivent elles en 4<sup>ème</sup> position. Au final ce sont donc 52% des émissions globales qui sont émises par 5 sections de ligne seulement.

En effectuant le même type de calculs pour les circulations de l'année 2017, en utilisant les données déterminées dans les parties précédentes, on trouve une répartition des émissions par section assez similaire, toutefois on constate facilement l'augmentation de ces dernières de manière globale sur ces 5 dernières années, due à l'augmentation du nombre de circulations sur la même période.

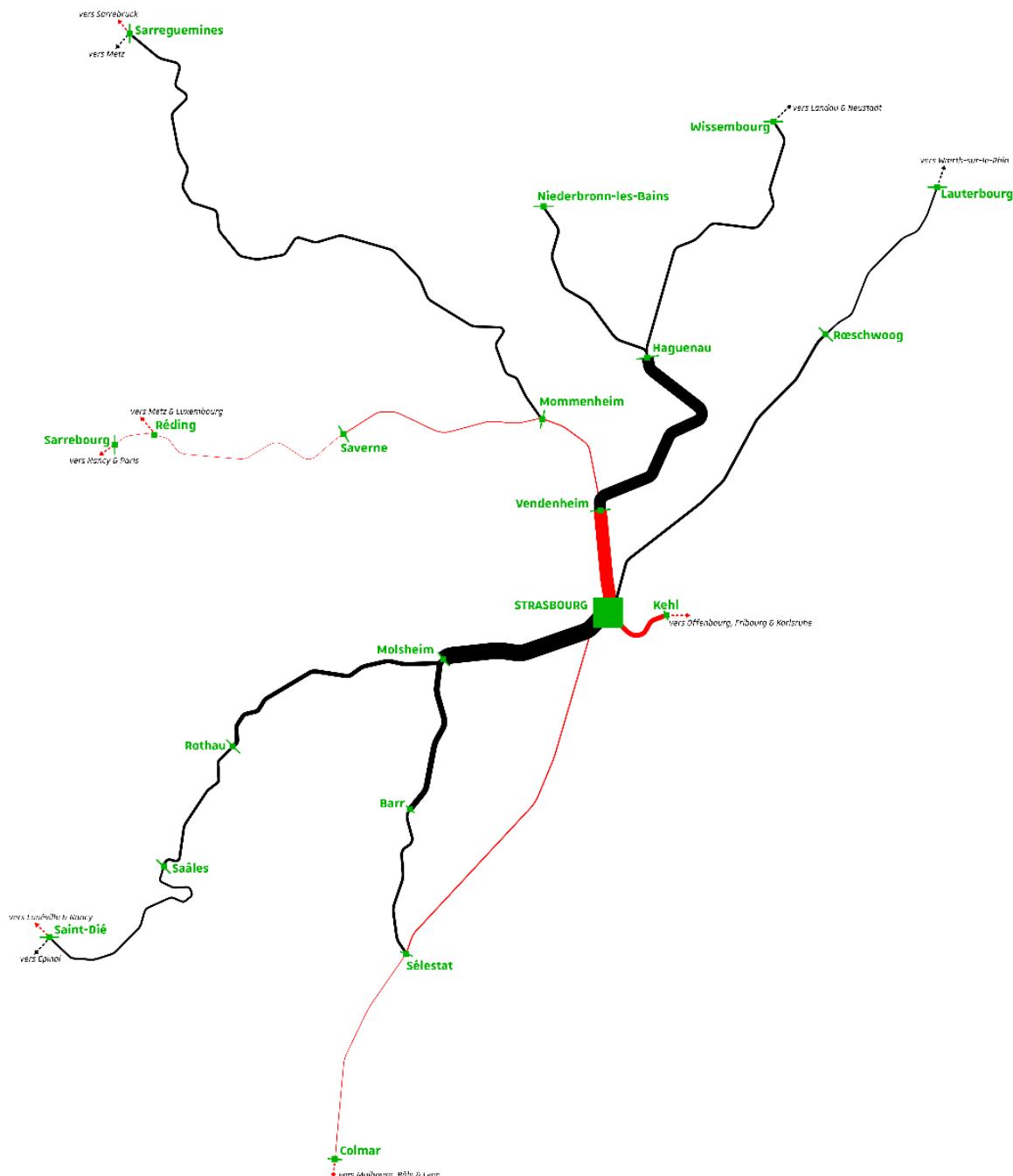
Ainsi, si entre 2017 et 2023 les circulations ont augmenté de 35% (comme calculé dans les parties précédentes), les émissions de CO<sub>2</sub>éq. par semaine ont elles **augmentées de 31%**. Ce pourcentage plus faible peut s'expliquer par le fait qu'un nombre important de nouvelles circulations imputables au REME soient effectuées en traction électrique (notamment à l'aide des locomotives « Nez cassés » sur la liaison Saverne – Sélestat, comme observé dans la partie précédente).



**Figure 14 :** Comparaison des émissions en tCO<sub>2</sub>éq. par semaine, entre 2017, 2023 et 2030 (prévisionnel)

Outre ces considérations en valeurs brutes, il peut également être intéressant de rapporter ces émissions hebdomadaires au nombre de kilomètres de chaque section considérée. Cela permet d'offrir une visualisation plus claire des sections concentrant la majorité des émissions. Cette manière de représenter est donc directement liée au nombre de circulations sur une section ;

plus il y a de circulations sur une section, et plus celle-ci sera courte, plus cette valeur sera élevée. Cela est représenté schématiquement sur la carte ci-dessous :



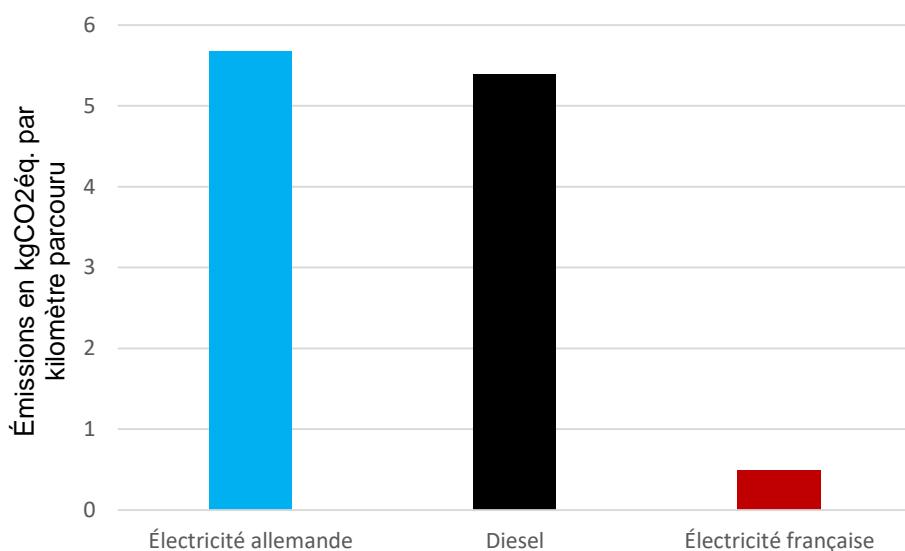
**Figure 15 : Représentation schématique du réseau ferroviaire du bassin de vie de Strasbourg. La largeur du trait est proportionnelle aux émissions de CO<sub>2</sub>éq. par semaine des circulations TER, divisée par la longueur de la section parcourue, en kilomètres.**

Cette représentation permet de mettre notamment en avant les sections sur lesquelles la mise en place de technologies permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> seraient les plus efficaces. Ainsi, pour prendre un exemple parmi d'autres, engager des travaux d'électrification sur la section de Mommenheim à Sarreguemines aura certes un effet notable sur les émissions, mais sera peu efficace en termes de coûts, de complexité et temps

d'installation de par la grande longueur de la section (environ 75 kilomètres), là où l'installation de caténaires sur des sections plus courtes, mais plus utilisées (vers Molsheim ou Haguenau) aura possiblement un impact plus notable sur le bilan des émissions globales, pour un coût réduit.

Enfin, il est également important de rappeler que les émissions engendrées par l'utilisation de la traction électrique varient considérablement d'un pays à l'autre, en fonction du mix énergétique de ces derniers. Si cette étude ne se penche que sur le réseau du bassin de vie situé en France, il faut rappeler que ces chiffres divergent fortement sur le réseau allemand, du fait de la production électrique du pays se basant en grande partie sur le gaz et le charbon, ressources fortement émettrices de CO<sub>2</sub>. En se basant, comme ce qui a été fait pour la France, sur les données du Ministère allemand de l'Écologie (Umwelt Bundesamt) datant de 2021, un kWh consommé entraîne l'émission de 420 gCO<sub>2</sub>éq., contre 36 gCO<sub>2</sub>éq. en France<sup>32</sup>.

En effectuant les mêmes calculs que précédemment, bien que cela puisse paraître contre-intuitif, il apparaît donc ainsi qu'**un train utilisant de l'électricité allemande entraîne légèrement plus d'émissions de CO<sub>2</sub>éq. qu'un train utilisant du diesel**, comme montré par le graphe suivant :



**Figure 16 : Comparaison des émissions en kgCO<sub>2</sub>éq. d'un train TER parcourant un kilomètre, en fonction du mode de traction utilisé, et de la provenance de l'électricité**

Cette information, bien que n'étant pas directement liée au réseau étudié ici, sera à considérer quand il sera étudié plus en détail le cas de lignes se poursuivant en Allemagne, c'est-à-dire celles reliant Strasbourg à Kehl (puis Offenbourg), Lauterbourg (Wörth), Wissembourg (Neustadt) et Sarreguemines (Sarrebruck).

La réalisation de ce bilan carbone aura permis de mettre en lumière les sections les plus émettrices de CO<sub>2</sub> sur le réseau considéré, ainsi que d'offrir une comparaison chiffrée entre les émissions liées à l'utilisation de la traction électrique face au diesel. Les données accumulées jusqu'ici nous permettent donc d'obtenir une vue d'ensemble du réseau actuel, du

<sup>32</sup> Valeur provenant du site du Ministère allemand de l'Écologie (Accessible via : <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen>)

nombre de circulations effectuées, du matériel roulant utilisé, et de l'impact écologique de la mise-en-place du REME par rapport aux circulations TER « classiques » précédemment en place. Cela nous permettra par la suite, après une comparaison de diverses technologies de traction différentes, de pouvoir essayer d'attribuer, section par section, des solutions envisageables et réalistes au vu des moyens financiers et humains dont disposent les acteurs concernés, afin d'à terme, faire diminuer, ou à défaut limiter au maximum les émissions de CO<sub>2</sub> engendrées par les développements prévus du REME, ainsi que le reste des circulations TER « classiques ».



**Figure 17 :** Rame « Régiolis » en gare de Vendenheim, effectuant un changement de traction, de l'électrique vers le diesel, en direction de Haguenau.

### III – Étude de divers modes de traction

#### A – Traction thermique au diesel (GNR)

La traction thermique au diesel est, comme nous avons pu l'observer précédemment, la plus utilisée actuellement sur l'étoile ferroviaire strasbourgeoise en termes de nombre de circulations.

Elle tire sa généralisation en France des années 50, époque à laquelle la SNCF souhaitait remplacer son parc vieillissant de matériel à vapeur par du matériel utilisant du diesel, qui se voulait alors moins cher, moins lourd, et moins complexe à construire, exploiter et entretenir. Son développement s'est ainsi réalisé en parallèle de celui de la traction électrique qui était déjà alors bien entamé, cette dernière étant réservée alors aux axes majeurs du pays<sup>33</sup>.

Il existe diverses manières d'exploiter le diesel sur un train, nous allons nous intéresser ici aux deux utilisées sur les matériels dont dispose la région (voir partie II, section C) :

- Transmission diesel-hydraulique : Sur ce type de transmission, le moteur diesel entraîne une pompe à huile, qui grâce à cette mise sous pression peut ensuite être utilisée dans des moteurs hydrauliques, faisant directement avancer le train. Il s'agit de la technologie la plus répandue sur les trains régionaux allemands, ou encore sur les locomotives étasuniennes par exemple. Pour ce qui est du parc dont dispose le STF Alsace, ce type de transmission est utilisé sur les X73500 et X73900. Son utilisation implique qu'un potentiel changement de traction lors d'une modernisation, en convertissant le véhicule à la traction bimode, électrique, à batteries, ou à dihydrogène, ne peut se faire qu'en remplaçant intégralement la chaîne de traction ainsi que les bogies. L'unique manière d'améliorer le bilan carbone de ces trains sans avoir à effectuer de lourdes modifications est ainsi de trouver des carburants plus écologiques, compatibles avec une utilisation sur un moteur diesel, comme il en sera discuté dans la partie suivante<sup>34</sup>.
- Transmission diesel-électrique : Sur ce type de transmission, le moteur diesel entraîne directement un générateur électrique, électricité qui est ensuite utilisée pour faire avancer le train comme elle le serait sur un train à traction électrique standard. Il s'agit de la technologie utilisée sur les trains AGC et Régiolis. Contrairement à la transmission diesel-hydraulique, il est ainsi possible d'envisager sur ce type de matériel une conversion, avec le remplacement des éléments dédiés à la traction diesel, par des batteries ou des piles à combustible (dont le fonctionnement sera décrit ci-dessous), conversion qui est actuellement à l'état d'essais, notamment menés sur des rames Régiolis, auxquels la région Grand Est participe<sup>35</sup>.

---

<sup>33</sup> <https://books.openedition.org/editionscnrs/34203?lang=fr>

<sup>34</sup> Discussion récente de passionnés et cheminots à ce sujet : <https://www.lineoz.net/forum/viewtopic.php?f=9&t=27347>

<sup>35</sup> <https://presselib.com/alstom-tarbes-bigorre-train-hydrogène/>

Comme il a déjà été relevé précédemment, au niveau écologique, le diesel entraîne l'émission de 3 170 gCO<sub>2</sub>éq. par litre consommé, soit 5,39 kgCO<sub>2</sub>éq. par kilomètre parcouru pour un TER classique.

Il est également important de noter que la combustion du diesel relâche des particules fines en plus du CO<sub>2</sub>, et que ses émissions se font le long du parcours du train ; l'utilisation de ce dernier participe donc à la détérioration de la qualité de l'air aux abords des lignes exploitées en traction diesel. De plus, la présence des moteurs diesels entraîne des nuisances sonores plus importantes, notamment durant l'accélération des trains après leur départ d'une gare, comparé à un train utilisant la traction électrique. Il s'agit d'un élément à prendre en compte surtout pour les lignes évoluant à proximité de zones urbanisées et habitées.

La traction diesel fournie également une accélération plus faible. Ainsi, pour des trains de type « Régiolis », il est constaté jusqu'à 50 km/h<sup>36</sup> :

- Une accélération de 0,53 m.s<sup>-2</sup> en mode diesel
- Une accélération de 0,88 m.s<sup>-2</sup> en mode électrique pour une rame bimode
- Une accélération de 0,95 m.s<sup>-2</sup> pour une rame tout électrique

La traction diesel est donc une technologie maintes fois éprouvée, qui a démontré sa fiabilité sur la durée, et son adaptabilité sur de multiples matériels roulants. Toutefois ses impacts environnementaux, sonores et son coût d'exploitation plus élevé que celui de la traction électrique font qu'il est intéressant de trouver diverses façons de s'en passer, par la conversion de matériel existant, ou l'achat de nouveau.



**Figure 18 :** Rame « Régiolis » bimode, à transmission diesel-électrique, en gare d'Haguenau.

---

<sup>36</sup> <https://www.connaissance-du-rail.com/trains-de-france/mat%C3%A9riel-roulant/les-rames-r%C3%A9giolis-d-alstom/>

## B – Traction thermique au biocarburant (B100)

La distinction avec la traction diesel se fait ici uniquement au niveau du carburant utilisé, le B100, produit à partir de colza. Cela évite donc le recours au diesel, qui est un produit du pétrole, et réduit de fait la dépendance du ferroviaire à ce dernier, puisque ce biocarburant B100 est à l'heure actuelle entièrement produit en France, de la culture à la transformation.

Le B100 est à l'heure actuelle utilisé sur quelques rames « Régiolis » de la région Normandie, circulant sur la ligne Paris → Granville, moyennant de très légères modifications, que ce soit sur les trains ou les installations de remplissage<sup>37</sup>.

Il est annoncé par la SNCF que l'utilisation de B100 permettrait de réduire 60% des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à la combustion du diesel<sup>37</sup>. Nous pouvons donc déterminer qu'il émettrait 1 268 gCO<sub>2</sub>éq. par litre consommé, soit 2,16 kgCO<sub>2</sub>éq. par kilomètre parcouru pour une rame TER classique.

Bien qu'améliorant le bilan carbone, l'utilisation de B100 ne règle toutefois pas les problèmes des émissions produites le long des voies ferrées, de l'impact sonore, et de l'accélération réduite des trains, puisque les éléments de tractions, et la motorisation reste similaire à celle utilisée pour le diesel. De même, la production de biocarburant nécessite l'utilisation de terres cultivables, qui ne sont pas conséquent plus disponibles pour y réaliser des cultures alimentaires traditionnelles. Toutefois la conversion d'une rame au B100 est peu coûteuse et complexe, et peut consister en une solution provisoire rapide à mettre en œuvre pour une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à très court terme.

## C – Traction électrique via caténaires

La traction électrique via caténaire est la technologie la plus utilisée en France, aux côtés de la traction diesel classique. Elle consiste à déployer un câble de contact au-dessus de la voie (la caténaire), dans lequel circule un courant électrique. Le train, à l'aide du pantographe, pièce montée sur ressort le reliant à la caténaire, peut ainsi directement capter le courant pour avancer. Cela permet donc au train de se passer de la masse entraînée par l'emport de son propre carburant, rendant de fait le train plus léger, et moins gourmand en énergie. De plus, l'énergie générée lors du freinage est récupérée, reconvertie en électricité et renvoyée dans la caténaire.

La traction via caténaire a toutefois des inconvénients, les trains sont dépendants de la présence de cette dernière, et ne peuvent pas circuler sur des lignes non-équipées, d'où l'existence de rames bimodes palliant ce problème en embarquant également un moteur diesel. De plus, cela nécessite donc d'importants travaux pour équiper ces lignes, au coût souvent rédhibitoire pour de petites lignes de campagne (environ 1 million d'euros du

---

<sup>37</sup> <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/ter-roulent-au-colza-pour-sortir-diesel>

kilomètre<sup>38</sup>), expliquant de fait la présence toujours très importante de lignes non électrifiées, malgré un coût d'exploitation de la traction électrique fortement réduit par rapport à la traction diesel<sup>39</sup>. Les caténaires ont également un impact visuel sur le paysage, et peuvent représenter un danger pour certaines espèces animales, notamment les oiseaux. Ces risques sont toutefois connus de longue date, et de mieux en mieux maîtrisés par SNCF afin de limiter au maximum les impacts de l'installation de caténaires sur les lignes<sup>39</sup>.

La traction électrique via caténaires présente également plusieurs avantages, des émissions réduites comparé à la traction diesel, 36 gCO<sub>2</sub>éq. par kWh consommé, soit 0,486 kgCO<sub>2</sub>éq. sur un kilomètre parcouru pour une rame TER classique. Ces chiffres correspondent à l'électricité produite et consommée en France, et sont ainsi différents dans d'autres pays en fonction notamment du mix énergétique de ces derniers, comme nous avons pu le constater dans la partie précédente avec le cas de l'Allemagne.

Outre son avantage écologique, la traction électrique n'entraîne pas d'émissions directes de long des voies de chemin de fer, le niveau sonore des trains est également diminué comparativement à une rame diesel, et l'accélération des rames est plus forte. Il s'agit ainsi d'une technologie plébiscitée par de nombreux pays dans le monde, électrifiant peu-à-peu leurs réseaux (comme le font la Suisse, l'Inde, le Luxembourg, la Chine, la Suède, l'Autriche ou les deux Corées par exemple). Un comparatif détaillé de l'état de l'électrification dans les pays du monde est disponible en *Annexe 5*. Un comparatif similaire, mais à l'échelle du continent européen et des régions françaises est disponible en *Annexe 6*.



**Figure 19 : Rame Régiolis en traction électrique, transitant en gare de Vendenheim**

<sup>38</sup> <https://dis-leur.fr/occitanie-le-premier-train-hybride-regional-arrive-dans-nos-gares/>

<sup>39</sup> <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/electrification-frugale-decarboner-petites-lignes>

## D – Traction électrique via troisième rail

La traction électrique via troisième rail est similaire en principe à celle reposant sur des caténaires, toutefois au lieu de câbles suspendus au-dessus des voies, l'électricité est acheminée aux trains via un troisième rail, légèrement surélevé, sur lequel un patin du train vient frotter pour capter le courant.

Si ce système n'est pas couramment utilisé en France, mis-à-part sur quelques réseaux isolés spécifiques ( métro parisien, ligne du train jaune, etc...), le troisième rail est largement répandu sur les lignes régionales du sud de l'Angleterre, ainsi que sur divers réseaux de métro dans le monde. Malgré un coût d'exploitation et d'installation réduit comparé aux caténaires, ainsi qu'un impact moindre sur le paysage, le troisième rail nécessite une vitesse réduite des trains (120 à 160 km/h maximum en fonction des réseaux) pour fonctionner de manière optimale, en plus de représenter un danger pour des voyageurs qui tomberaient sur la voie, ou des animaux la traversant<sup>40</sup>. Les émissions engendrées, les nuisances sonores et les avantages liés à l'accélération plus forte des trains sont similaires à ceux de la traction électrique via caténaires. La mise en place de lignes équipées de troisième rail sur le bassin de vie de Strasbourg imposerait toutefois l'achat de matériel neuf, adapté à ce type d'alimentation.



*Figure 20 : Rame MF01 du métro parisien, utilisant un troisième rail pour son alimentation (ici situé entre les deux voies), entre les stations Gare d'Austerlitz, et Quai de la Rapée*

## E – Traction électrique via batteries

---

<sup>40</sup> [https://www.railjournal.com/in\\_depth/traction-choices-overhead-ac-vs-third-rail-dc/](https://www.railjournal.com/in_depth/traction-choices-overhead-ac-vs-third-rail-dc/)

La traction électrique via batteries repose sur le principe du stockage de l'électricité sur des batteries embarquées par le train. Cela lui permet de parcourir une ligne non-équipée de caténaires ou de troisième rail, sans avoir pour autant à utiliser un générateur thermique. Ce mode de traction possède ainsi tous les avantages de l'électrique, sans avoir à s'encombrer d'installations fixes, mais possède toutefois deux inconvénients majeurs, à savoir la masse importante que représente l'ajout de ces batteries, et l'autonomie limitée du train.

C'est pour contrer ces aspects négatifs que les trains à batteries sont généralement pensés pour être hybrides, et pouvoir également utiliser la caténaire, ou le troisième rail, quand ces derniers sont disponibles, pour pouvoir se recharger. L'intérêt est de pouvoir réaliser une « électrification frugale » selon les termes de la SNCF, c'est-à-dire limiter les coûts de l'électrification d'une ligne via l'utilisation de trains à batteries, et de sections courtes équipées de caténaires, permettant de recharger le train<sup>41</sup>.

L'utilisation généralisée de batteries soulève toutefois de nombreuses problématiques, notamment sur le plan environnemental, et éthique, les matériaux nécessaires à la réalisation de ces batteries étant extraits le plus souvent dans des conditions déplorables, tant au niveau humain qu'environnemental. Si cette technologie est choisie, il sera ainsi nécessaire de s'assurer de la provenance des matières utilisées pour la réalisation de ces batteries, possiblement en s'assurant d'utiliser des matières provenant du continent européen. De même, il faudra s'assurer du bon recyclage ou réutilisation de ces-mêmes batteries une fois leur cycle de vie terminé, cette étape pouvant également entraîner de lourds impacts environnementaux.

Des essais sont actuellement en cours visant à éprouver la technologie d'hybridation sur une rame Régiolis, essais auxquels la région Grand Est participe<sup>42</sup>. Cette rame n'a toutefois vu que 2 de ses 4 générateurs diesels être remplacés par des batteries électriques, et ne possède par conséquent qu'une vingtaine de kilomètres d'autonomie en ne fonctionnant que grâce à ses batteries, il s'agit ainsi d'une rame hybride bimode. Cette configuration présente l'avantage d'une autonomie montant jusqu'à 1 000 kilomètres quand les batteries sont couplées à l'utilisation du diesel, ces premières pouvant notamment se recharger au freinage du train, et évite ainsi le recharge obligatoire des batteries passé un certain nombre de kilomètres, ce qui serait une perte de temps rédhibitoire sur un long trajet.

## F – Traction via pile à combustible (Dihydrogène)

La traction via pile à combustible est un sujet d'actualité régulièrement présenté par divers constructeurs comme une traction d'avenir. Le principe repose, à la manière de la traction diesel, sur la combustion de dihydrogène, stocké et embarqué à bord du train, pour entraîner un générateur électrique. L'avantage majeur de la traction via pile à combustible face au diesel est l'absence d'émissions directes de CO<sub>2</sub> et particules fines le long du trajet, la combustion de dihydrogène ne relâchant que de l'eau, et du dioxygène. De plus, les trains équipés de piles à combustible sont tout aussi silencieux que les trains à traction électrique, et disposent de la même accélération. Enfin, il n'est ainsi pas nécessaire d'équiper la ligne d'infrastructures (troisième rail ou caténaires).

<sup>41</sup> <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/electrification-frugale-decarboner-petites-lignes>

<sup>42</sup> <https://www.alstom.com/fr/press-releases-news/2022/2/sncf-voyageurs-et-alstom-presentent-le-premier-train-hybride-francais>

L'utilisation de dihydrogène présente toutefois plusieurs inconvénients, outre les risques d'explosion que son utilisation entraîne, son impact sur les émissions de CO<sub>2</sub>éq. dépend fortement de la manière dont il est produit. Deux méthodes sont généralement utilisées :

- Le vaporeformage de méthane, un procédé reposant sur l'utilisation d'hydrocarbures fossiles, et notamment de méthane, qui permet la formation de dihydrogène en réagissant avec de la vapeur d'eau. Il s'agit du procédé le plus répandu à ce jour (environ 95% de la production mondiale de dihydrogène<sup>43</sup>). Ce procédé, outre l'utilisation de carburants fossiles, engendre directement l'émission de monoxyde et dioxyde de carbone, ainsi que de divers oxydes d'azotes, participant directement au réchauffement climatique, ainsi qu'à la dégradation de la qualité de l'air. L'utilisation de dihydrogène provenant de ce procédé sur un train n'est absolument pas souhaitable, et ne ferait que déplacer et augmenter des émissions de CO<sub>2</sub> qui seraient de toute façon réalisées.
- L'électrolyse de l'eau, un procédé reposant sur la décomposition de l'eau en dihydrogène et dioxygène via la circulation d'un courant électrique. Cette étape ne génère aucune émission directe, toutefois elle nécessite une grande quantité d'électricité, puisque le rendement de la réaction se situe autour de 60 à 75% (c'est-à-dire le rendement de l'énergie électrique en énergie chimique du dihydrogène). Ce procédé représentait, en 2021, 0,04% de la production de dihydrogène mondial<sup>44</sup>. L'électricité utilisée pour l'électrolyse produit des émissions de CO<sub>2</sub>, comme pour tout autre utilisation de cette dernière. Un train utilisant du dihydrogène produit via ce procédé sera donc plus polluant qu'un train entièrement électrique, de par le rendement réduit de la production de dihydrogène, et les émissions générées durant son transport. Du point de vue énergétique, l'utilisation de dihydrogène produit par électrolyse ne fait donc qu'ajouter un intermédiaire entre électricité et électricité, en diminuant de fait le rendement final.

L'utilisation de trains à dihydrogène nécessite également des infrastructures adaptées pour pouvoir les entretenir, et les remplir convenablement. De plus, l'achat d'une rame neuve fonctionnant au dihydrogène entraîne un surcoût de 30 à 40% comparé à une rame diesel ou électrique classique<sup>45</sup>. L'autonomie de ces rames peut aller de 400 à 600 kilomètres.

En termes d'émissions par kilomètre, en partant du principe que le dihydrogène utilisé serait produit par électrolyse, son utilisation permettrait de réduire de 80% les émissions carbone par rapport à une rame thermique<sup>46</sup>, et seraient ainsi du même ordre de grandeur qu'une rame électrique, en restant toutefois plus élevées. Il est important de noter que ces chiffres se basent sur une production de dihydrogène locale, à partir d'électricité provenant de sources décarbonées, des filières qui à ce jour, quand elles existent, sont loin d'être en capacité de soutenir une généralisation globale d'une telle technologie. De plus, il serait plus qu'important de s'assurer du pays d'origine du dihydrogène utilisé, puisque le bilan carbone du mix électrique varie fortement d'une nation à l'autre comme vu précédemment.

---

<sup>43</sup> <https://4thgeneration.energy/life-cycles-emissions-of-hydrogen/>

<sup>44</sup> <https://www.connaissancesdesenergies.org/un-elan-croissant-pour-la-production-dhydrogène-bas-carbone-mais-220922>

<sup>45</sup> <https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/le-train-a-hydrogène-dalstom-fait-ses-premiers-tours-de-roue-en-france-1343666>

<sup>46</sup> <https://www.connaissancesdesenergies.org/sites/default/files/pdf-pt-vue/synthese-etude-perspectives-train-hydrogène-france-2020.pdf>

L'utilisation de dihydrogène allemand serait ainsi pénalisante pour l'empreinte carbone des trains, comparativement à une rame diesel.

## G – Comparaison

Les solutions listées ci-dessus présentent toutes des avantages et des inconvénients, qui sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Traction utilisée	Émissions par km parcouru (kgCO <sub>2</sub> éq.)	Autonomie	Accélération (m.s <sup>-2</sup> )	Nécessité d'installations sur la voie
Diesel	5,39	~1 000 km	0,53	Non
B100	2,16	~1 000 km	0,53	Non
Caténaires	0,486	Illimitée	~0,9	Oui
3 <sup>ème</sup> Rail	0,486	Illimitée	~0,9	Oui
Batteries	0,486	~20 à 40 km	~0,9	Oui/Non
Hybride-bimode	Non fournies	~1 000 km	0,53 ou ~0,9	Non
Dihydrogène	Non fournies	~600 km	~0,9	Non

*Figure 21 : Tableau comparatif des diverses solutions envisageables*

Premièrement, l'utilisation de troisièmes rails ne paraît pas être une solution technique pertinente dans notre cas d'étude ; cela nécessiterait l'achat de matériel roulant dédié, et rendrait la ligne *de facto* incompatible avec le reste du réseau ferré, empêchant une interconnexion aisée avec le reste du réseau français et allemand. Il sera ainsi préféré par la suite au troisième rail les caténaires, qui posent de surcroît beaucoup moins de risques d'électrocution pour les passagers et animaux, les lignes du bassin de vie de Strasbourg étant majoritairement situées en campagne, et dépourvues de clôtures empêchant leurs traversées.

Deuxièmement, l'utilisation de rames utilisant du dihydrogène ne semble également pas pertinent dans le cas des lignes étudiées, qui seront toutes dans un avenir proches concernées par le REME. Les difficultés d'implémentation de la technologie, les surcoûts engendrés à l'achat du matériel, le bilan environnemental dépendant de beaucoup de paramètres et qui présente au final un intérêt écologique moins intéressant que la traction électrique sont autant de facteurs rendant ce mode de traction peu attractif au regard des objectifs affichés du REME. En effet, comme le note un document de synthèse de l'ADEME portant sur l'utilisation de dihydrogène dans le ferroviaire :

*« [...] l'électrification des voies reste un investissement conséquent pertinent sur des portions courtes et denses en trafic ferroviaire. [...] La solution hydrogène est, quant à elle, pertinente économiquement sur des lignes régionales à plus faible trafic et peu, ou pas, électrifiées. Cette solution est caractérisée par un coût d'investissement potentiellement plus faible qu'une électrification de voie, selon la distance à électrifier, et par un coût énergétique plus élevé, le prix d'hydrogène étant plus cher que l'électricité de traction. »<sup>47</sup>*

<sup>47</sup> Extrait tiré d'une étude de l'ADEME sur le sujet de l'utilisation de dihydrogène dans le ferroviaire (Accessible via : <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-pt-vue/synthese-etude-perspectives-train-hydrogène-france-2020.pdf>)

Le réseau de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise se compose en effet de lignes se caractérisant par une longueur assez faible comparée à d'autres lignes régionales en France, la plus longue mission effectuée en traction diesel considérée ici étant celle reliant Strasbourg à Saint-Dié, sur un parcours de 130 km. La plupart des missions se concentrent toutefois sur des distances courtes, Strasbourg → Molsheim (19 km) ou Strasbourg → Haguenau (34 km). De plus, le REME prévoit à l'avenir des cadences élevées sur ces-mêmes sections, allant d'un minimum d'un train à l'heure par sens, jusqu'à la demi-heure voir le quart d'heure sur certaines sections. Aux vues des conclusions de l'étude de l'ADEME sur le sujet, il ne paraît ainsi pas pertinent de continuer à considérer la traction via pile à combustible comme une solution envisageable tangible pour une réduction efficace et rapide des émissions de CO<sub>2</sub>, d'autant plus quand le bilan économique face à une électrification lui semble défavorable sur le long terme.

Par la suite seront ainsi étudiées chaque ligne constituant l'étoile ferroviaire strasbourgeoise afin de déterminer quelle solution serait la plus adaptée à son cas. Il sera toutefois important de prendre en considération l'interopérabilité entre les différentes lignes du réseau, ce qui permet une flexibilité accrue du matériel en cas d'avarie, et des coûts d'achat et d'exploitation réduits.

## IV – Application aux lignes de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise

Les lignes de Strasbourg à Colmar (puis Mulhouse et Bâle), et de Strasbourg à Sarrebourg/Réding (puis Metz, Nancy et Paris), étant déjà électrifiées et parcourues par des trains à traction électrique, ces dernières ne seront pas détaillées par la suite.

### A – Ligne de Strasbourg à Kehl

La ligne de Strasbourg à Kehl (puis Offenbourg en Allemagne) mesure 8 kilomètres de long, et dispose d'une gare intermédiaire (Krimmeri-Meinau), et est entièrement située en milieu urbain. Si l'axe est déjà électrifié, les trains régionaux y circulant utilisent toutefois la traction diesel (X 73500 français et RegioShuttle RS1 allemands). Cet axe est à l'origine de 2,1% des émissions totales de CO<sub>2</sub>éq. sur une semaine de circulations de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise, ce malgré sa faible longueur.

Une solution sera bientôt apportée à cette situation grâce à l'arrivée de rames Régiolis capables de rouler sous tension française et allemande, qui devrait remplacer à terme l'ensemble des rames circulant sur les missions Strasbourg → Offenbourg, dont certaines seront par la suite prolongées à Fribourg-en-Brisgau. Une fois cette transition effectuée, les émissions de CO<sub>2</sub>éq. sur l'axe devraient être réduites de 91%, et ne représenter plus que 0,2% du total des émissions (si la situation des autres lignes reste similaire à ce qu'elle est aujourd'hui).

La question de cette transition vers du matériel électrique peut toutefois être remise en question sur l'ensemble de l'axe Strasbourg → Offenbourg, étant donné que l'utilisation de la traction électrique en Allemagne pollue plus que la traction diesel, comme vu dans la partie précédente. Cette transition se traduira ainsi par une augmentation des émissions de 5 à 7%

sur la partie allemande de la ligne, augmentation qui sera toutefois largement compensée par la réduction de 91% des émissions sur la section française de la ligne. Le passage à la traction électrique reste ainsi souhaitable sur l'ensemble de la ligne Strasbourg → Offenbourg, et permettra également de réduire la pollution sonore aux abords des gares, chose notable de par la nature très urbaine de la section Strasbourg → Kehl. Cela éliminera également les émissions directes de CO<sub>2</sub> et de particules fines le long des voies.

## B – Ligne de Strasbourg à Haguenau

La ligne de Strasbourg à Haguenau mesure 34 kilomètres, dont 9,5 kilomètres entre Strasbourg et Vendenheim qui sont déjà électrifiés. La SNCF a d'ores-et-déjà prévu d'installer la signalisation nécessaire d'ici septembre afin de permettre le changement de mode des trains en ligne en niveau de la gare de Vendenheim ; cela permettra ainsi rapidement de limiter en partie les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de la traction diesel sur la section Strasbourg → Vendenheim.

La ligne est très empruntée, et située en assez grande partie en milieu urbain en plus d'être relativement courte, il serait ainsi plus que pertinent d'également envisager à court terme de compléter l'électrification de la ligne entre Vendenheim et Haguenau. L'amélioration de l'accélération des trains permettrait, en conservant les horaires actuels, d'offrir une plus grande flexibilité aux conducteurs, afin de pouvoir rattraper de potentiels retards plus aisément. Les trains circulant sur l'axe étant majoritairement des rames Régiolis, il serait ainsi possible de passer la ligne en traction électrique sans avoir à modifier les trains.

## C – Ligne de Haguenau à Niederbronn-les-Bains

La section d'Haguenau à Niederbronn-les-Bains mesure environ 22 kilomètres de long. Il s'agit d'une ligne majoritairement en voie unique, doublée au niveau de la gare de Reichshoffen, et entre Schweighouse-sur-Moder et Haguenau. À l'heure actuelle la ligne n'est pas très circulée, mais devrait toutefois voir son trafic augmenter dans les années à venir, jusqu'à atteindre un train par heure et par sens minimum d'ici 2030. Une électrification complète serait ainsi souhaitable, toutefois au vu du prix élevé d'un tel investissement, il pourrait être envisagé à la place de déployer une flotte de trains hybrides bimodes. Ainsi, une fois passé Haguenau, les trains pourraient passer de la traction électrique via caténaires, à la traction via batteries.

Ces trains ayant à l'heure actuelle environ 20 à 30 kilomètres d'autonomie, il leur serait ainsi possible d'effectuer le trajet complet jusqu'à Niederbronn sur batteries. Il serait ensuite envisageable d'installer des caténaires le long de la gare de Niederbronn, permettant ainsi durant le temps de battement au terminus la recharge des batteries, temps qui est généralement d'environ 10 minutes. Si cela ne s'avérait pas suffisant pour une recharge complète, il pourrait également être envisageable d'électrifier la ligne jusqu'à la gare de Reichshoffen. Cette recharge permettrait de fait aux trains de réaliser l'aller, et le retour à Haguenau en traction autonome sur batteries, à travers ce qui est qualifié « d'électrification frugale » par la SNCF. Cela éviterait ainsi l'investissement nécessaire à une électrification complète, autoriserait la

circulation de trains plus écologiques, ce dans un laps de temps assez court puisque seule la gare de Niederbronn serait à équiper.

## **D – Ligne de Haguenau à Wissembourg/Neustadt**

La ligne de Haguenau à Wissembourg mesure 33 kilomètres de long, et est majoritairement à voie unique, bien qu'ayant été par le passé à double voie. Le nombre de circulations devrait également à l'avenir augmenter suffisamment pour rendre une électrification pertinente, toutefois, de même que pour la ligne de Niederbronn, une électrification frugale serait justifiée de par l'investissement conséquent que représenterait une électrification standard. La ligne dépassant les 33 kilomètres, il serait toutefois nécessaire de s'assurer que les trains aient suffisamment d'autonomie pour rejoindre Wissembourg uniquement en mode batterie, possiblement en remplaçant un générateur diesel de plus sur les 4 par des batteries. Il serait ainsi possible en équipant de caténaires la gare de Wissembourg de recharger les batteries au terminus, et ainsi d'exploiter la ligne en 100% traction électrique, sans avoir à investir pour la pose de caténaires tout le long de la ligne.

## **E – Ligne de Strasbourg à Molsheim**

La ligne de Strasbourg à Molsheim est relativement courte, et mesure 19 kilomètres. De même que la ligne Vendenheim → Haguenau, son électrification complète paraît plus que pertinente au vu du nombre de circulations sur cet axe, du parcours de la ligne majoritairement en zone urbanisée, et du gain de régularité que pourrait apporter la plus forte accélération des trains. Cela pourrait également faciliter le passage des quelques trains de fret empruntant la ligne. Il est également à noter que les divers ouvrages d'art (passerelles, ponts, etc...) semblent avoir été dimensionnés pour permettre une telle électrification.

Toutefois, le matériel roulant de la ligne étant majoritairement composé de rames AGC diesels, il serait ainsi complexe de bénéficier de l'électrification sur cet axe. Son électrification semble ainsi moins prioritaire que celle des axes Strasbourg → Haguenau et Strasbourg → Lauterbourg, et pourrait ainsi se réaliser dans un second temps, une fois une solution trouvée au niveau du matériel roulant (achat de matériel bimode, conversion des AGC en rames bimodes, etc...).

## **F – Ligne de Molsheim à Sélestat**

La ligne de Molsheim à Sélestat mesure 33 kilomètres de long, et est majoritairement à voie unique. De même que pour les lignes de Niederbronn et Wissembourg, il pourrait être ici également d'envisager une électrification frugale, qui ne nécessiterait pas de nouvelles installations puisque l'ensemble des quais de la gare terminus de Sélestat sont équipés de caténaires. Cela permettrait de pouvoir utiliser la ligne en traction électrique via batteries, sans avoir à réaliser d'investissements supplémentaires sur cette section. Toutefois, si le trafic fret est amené à s'intensifier à l'avenir vers l'usine Kronenbourg ou d'autres industries, il pourrait être intéressant de possiblement électrifier la ligne jusqu'à Obernai afin de permettre aux trains de marchandises de pouvoir rallier aisément le réseau ferré national.

## G – Ligne de Molsheim à Saint-Dié/Épinal

La ligne de Molsheim à Saint-Dié (puis Épinal) mesure 67 kilomètres, et devrait rester à l'avenir assez peu circulée par rapport à sa relative grande longueur, une électrification ne paraît ainsi pas prioritaire à considérer dans un avenir proche. Une électrification frugale paraît également exclue, toutefois la circulation de rames hybrides bimodes permettraient de bénéficier de 20 à 30 kilomètres de circulation sous batteries avant que la traction diesel/B100 ne prenne le relais, ce dans les deux sens puisque la gare de Saint-Dié est équipée de caténaires sur l'ensemble de ses quais.

## H – Ligne de Strasbourg à Lauterbourg

La ligne de Strasbourg à Lauterbourg est relativement longue, 57 kilomètres, et à ce jour très peu fréquentée. À l'avenir toutefois, il est prévu d'augmenter de façon drastique le nombre de circulations sur l'axe, pour atteindre une fréquence allant jusqu'au quart d'heure en heure de pointe vers Herrlisheim. Mais surtout, la ligne possède un immense potentiel dans le transport fret ; en effet elle pourrait constituer une alternative viable à la *Rheintalbahn* allemande, longeant le Rhin de Bâle à Karlsruhe, et étant désormais proche de la saturation.

En effet, en moyennant une lourde modernisation, et une électrification complète de l'axe, il serait ainsi possible selon la Confédération suisse de pouvoir y faire passer jusqu'à 60 trains de fret par jour, reliant l'Allemagne à la Suisse via Lauterbourg et Strasbourg. Ces circulations supplémentaires représenteraient également des revenus de plusieurs millions d'euros par an en droits de péage à SNCF Réseau<sup>48</sup>. Mais outre un simple transit fret, une électrification complète de l'axe permettrait également de relier le Technicentre de Bischheim au réseau national sans avoir recours à la traction diesel, de même pour les installations du Port Autonome de Strasbourg situées à Lauterbourg. L'électrification complète de cet axe est donc plus que pertinente à considérer, et ce à court terme, en même temps qu'une modernisation de la ligne. Les rames circulant sur la ligne à ce jour étant majoritairement des Régiolis, qui seront complétées à l'avenir d'autres rames transfrontalières, l'électrification ne poserait ainsi pas de problème de compatibilité avec le matériel roulant. Cela permettra la création d'un réel second axe structurant dans la région entre France et Allemagne, permettant de délester la ligne de Kehl, actuellement très empruntée.

## I – Ligne de Strasbourg à Sarreguemines

La ligne de Strasbourg à Sarreguemines est divisée entre la section de Strasbourg à Mommenheim, qui est électrifiée et exploitée en mode électrique par la majorité des rames (à l'exception des X37500), et la section de Mommenheim à Sarreguemines qui n'est pas équipée de caténaires, et mesure 75 kilomètres de long. Étant donné la grande longueur de la ligne, et l'assez faible nombre de circulations prévues à l'avenir, une électrification complète ne paraît pas prioritaire comparé aux autres sections. Équiper l'ensemble des quais de la gare

<sup>48</sup> <https://www.railjournal.com/freight/switzerland-wants-action-to-relieve-rhine-bottleneck/>

de Sarreguemines de caténaires (seul le quai 1 est équipé, en tension allemande) pourraient toutefois permettre d'exploiter la ligne sur une trentaine de kilomètres en mode électrique sur batteries, dans un sens comme dans l'autre.

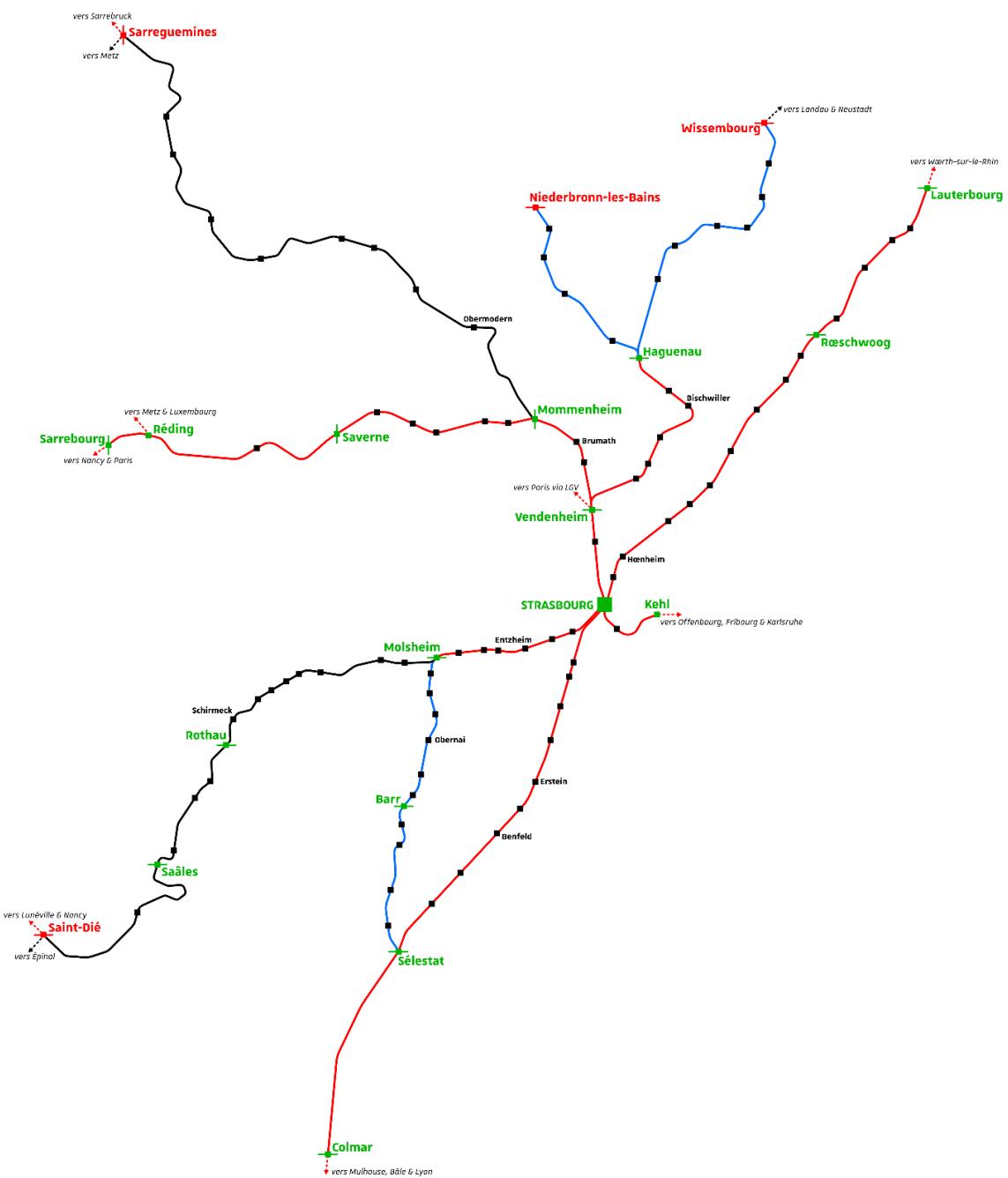
Étant donné la difficulté que représente souvent l'équipement en caténaires des tunnels, et le fait que la majorité des trains qui circuleront à l'avenir sur cette ligne seront bimodes, il pourrait être intéressant de profiter d'hypothétiques travaux de rénovation du tunnel situé entre Mommenheim et Obermodern pour équiper à minima cette section de caténaires. Bien que les trains seraient toujours obligés d'utiliser du diesel/B100 par après, cela permettrait tout-de-même de réduire la consommation totale de ces derniers en diesel, en plus de réduire les impacts sonores pour les habitants des villages traversés par cette petite section.

## V – Conclusion

L'ensemble de ces recherches ont permis de montrer qu'il était nécessaire d'agir sur le bilan carbone des circulations TER du bassin de vie de Strasbourg, ce via diverses possibilités applicables à notre cas d'étude. Il est ainsi possible de tirer de grandes lignes directrices qu'il serait plus que pertinente de suivre :

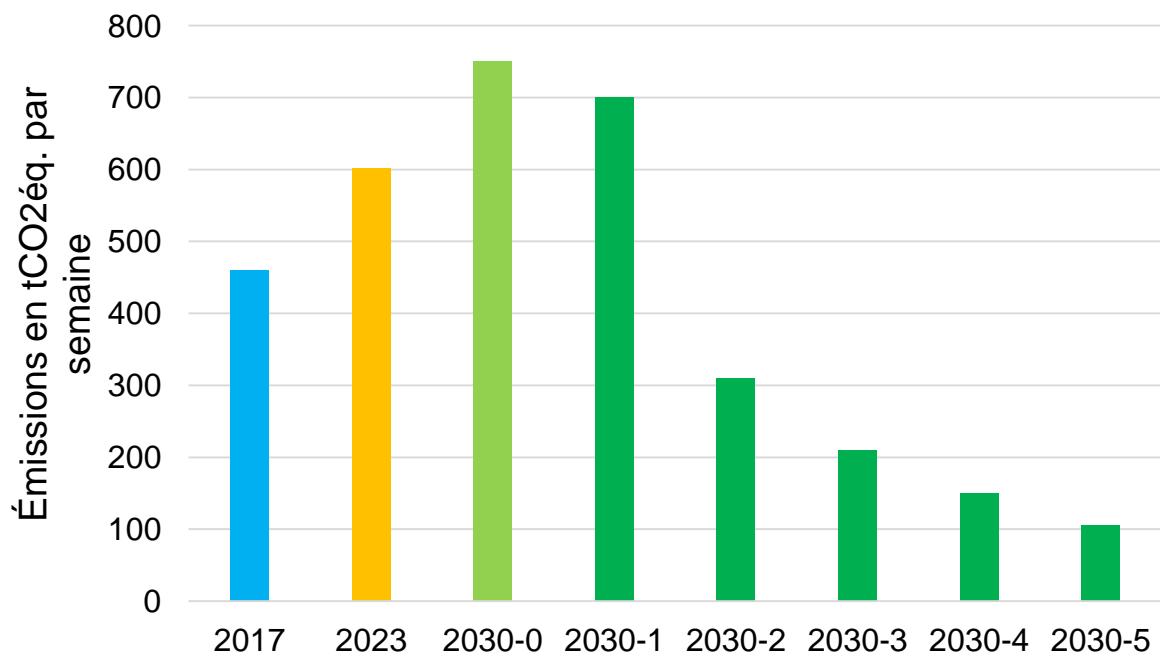
- À court terme, engager une transition du diesel vers le biocarburant (type B100 ou autre) paraît être pertinent d'un point de vue environnemental, et permettrait de réduire efficacement une partie des émissions. L'utilisation de biocarburant ne doit toutefois pas être vue comme une solution viable sur le long terme, mais plus comme une étape temporaire pour accompagner le verdissement progressif du transport ferré. De même, il serait également pertinent de lancer au plus vite des études pour l'électrification rapide des axes Strasbourg → Lauterbourg (puis Wörth), et Vendenheim → Haguenau, de même que d'étudier la possibilité de convertir les rames AGC diesel en rames bimodes afin d'également mettre à l'étude l'électrification de la section Strasbourg → Molsheim.
- À moyen terme, il faudrait que les collectivités concernées se penchent sur la vision qu'ils souhaitent aborder par la suite ; soit se lancer dans un programme d'électrification intégrale du réseau ferré, réalisée progressivement, qui nécessiterait de lourds investissements (~375 millions d'euros au total, en prenant un coût de 1 million d'euros du kilomètre électrifié), mais qui permettrait une simplification, et une baisse notable des coûts d'exploitation, soit entamer la conversion du parc diesel et bimode actuel en rames hybrides bimodes, et ainsi réaliser une électrification frugale, comme proposée dans la partie précédente. Cela nécessiterait l'électrification d'une centaine de kilomètres de voies (vers Molsheim, Haguenau et Lauterbourg), ainsi que d'aménagements restreints en gare de Niederbronn, Wissembourg et Sarreguemines, soit un coût d'environ 100 millions d'euros en reprenant le même chiffre d'un million d'euros du kilomètre électrifié. Cette solution présente toutefois l'inconvénient d'imposer la conversion de la flotte existante en rames hybrides, et de pérenniser l'utilisation de trois modes de traction différents sur un unique matériel roulant, ce qui engendrera un surcoût comparé à des rames équivalentes à traction uniquement électrique. Cela restera également plus émetteur en CO<sub>2</sub>éq. que des rames à traction

électrique classiques, notamment dû à la pollution engendrée par la production, et le recyclage des batteries.



**Figure 22 :** Schéma du réseau de l'étoile ferroviaire à terme, si une électrification frugale est choisie. En rouge, les lignes équipées de caténaires, en bleu les lignes non-équipées mais étant parcourues uniquement en traction électrique grâce aux batteries, en noir les lignes à exploitation mixte batteries/diesel.

Au niveau des émissions, il est possible de comparer les différentes étapes proposées ici, sur les émissions totales prévues en 2030 :



**Figure 23 :** Comparaison des émissions engendrées par une semaine de circulations ferroviaires sur l'étoile strasbourgeoise en fonction des années et des trajectoires proposées ici :

- **2030-0** → Aucune modification n'est réalisée par rapport à aujourd'hui sur le réseau
- **2030-1** → Exploitation des sections Strasbourg → Kehl et Strasbourg → Vendenheim entièrement en traction électrique
- **2030-2** → Passage au biocarburant pour l'ensemble des trains
- **2030-3** → Électrification des sections Strasbourg → Molsheim, Strasbourg → Lauterbourg et Vendenheim → Haguenau
- **2030-4** → Électrification « frugale » des lignes restantes
- **2030-5** → Électrification complète de l'étoile ferroviaire strasbourgeoise

Il est ainsi possible de réduire de manière très significative les émissions de CO<sub>2</sub>éq. générées par les circulations, ce peu importe les améliorations réalisées. Nous espérons ainsi que la SNCF et les collectivités sauront s'intéresser à ces problématiques dans un avenir très proche, et, si une électrification complète du réseau serait certes souhaitable, pouvoir choisir l'alternative de l'électrification frugale si les finances s'avèrent trop limitées.

## VI – Annexes

### Annexe 1 – Nombre de circulations par section de ligne, 2017

1	A	B	F	G	H	I	J	K	L
	Section	Alimentation	Circulations/semaine	Circulations/samedi	Circulations/dimanche	TOTAL 7j		Gares	km/gare
2	Strasbourg → Kehl	Diesel	46	30	30	290		2	4
3	Strasbourg → Sélestat	Électrique	118	48	48	686		10	4,3218
4	Sélestat → Colmar	Électrique	73	36	41	442		1	22,599
5	Strasbourg → Molsheim	Diesel	133	53	28	746		7	2,702857143
6	Molsheim → Barr	Diesel	60	27	13	340		7	2,289571429
7	Barr → Sélestat	Diesel	22	15	13	138		5	3,4868
8	Molsheim → Rothau	Diesel	36	22	15	217		9	2,889555556
9	Rothau → Saâles	Diesel	18	13	12	115		4	8,904
10	Saâles → Saint-Dié	Diesel	3	7	9	31		2	25,443
11	Strasbourg → Rœschwoog	Diesel	30	10	14	174		10	3,6314
12	Rœschwoog → Lauterbourg	Diesel	18	10	14	114		5	4,1052
13	Strasbourg → Vendenheim	Électrique	72	35	31	426		2	4,827
14	Strasbourg → Vendenheim	Diesel	82	36	31	477		2	4,827
15	Vendenheim → Haguenau	Diesel	82	36	31	477		6	4,059833333
16	Haguenau → Wissembourg	Diesel	24	17	14	151		7	4,762571429
17	Haguenau → Niederbronn	Diesel	15	15	10	100		5	4,2864
18	Vendenheim → Mommenheim	Électrique	98	48	43	581		3	4,205666667
19	Mommenheim → Sarreguemines	Diesel	26	13	12	155		9	8,276222222
20	Mommenheim → Saverne	Électrique	72	35	31	426		6	3,619666667
21	Saverne → Sarrebourg/Réding	Électrique	41	20	23	248		3	8,728666667

Figure 24 : Tableau des circulations par section de ligne en 2017, accompagné du nombre de gares sur ces-mêmes sections et de leur espacement moyen.

### Annexe 2 – Nombre de circulations par section de ligne, 2023

1	A	B	F	G	H	I	J	K	L
	Section	Alimentation	Circulations/semaine	Circulations/samedi	Circulations/dimanche	TOTAL 7 jours		Gares	km/gare
2	Strasbourg → Kehl	Diesel	48	30	30	300		2	4
3	Strasbourg → Sélestat	Électrique	142	100	76	886		10	4,3218
4	Sélestat → Colmar	Électrique	72	66	46	472		1	22,599
5	Strasbourg → Molsheim	Diesel	171	99	81	1035		7	2,70285714
6	Molsheim → Barr	Diesel	60	39	29	368		7	2,28957143
7	Barr → Sélestat	Diesel	25	25	21	171		5	3,4868
8	Molsheim → Rothau	Diesel	44	28	21	269		9	2,88955556
9	Rothau → Saâles	Diesel	26	19	17	166		4	8,904
10	Saâles → Saint-Dié	Diesel	20	14	13	127		2	25,443
11	Strasbourg → Rœschwoog	Diesel	30	10	10	170		10	3,6314
12	Rœschwoog → Lauterbourg	Diesel	18	10	10	110		5	4,1052
13	Strasbourg → Vendenheim	Électrique	137	76	68	829		2	4,827
14	Strasbourg → Vendenheim	Diesel	121	73	58	736		2	4,827
15	Vendenheim → Haguenau	Diesel	121	73	58	736		6	4,05983333
16	Haguenau → Wissembourg	Diesel	24	19	16	155		7	4,76257143
17	Haguenau → Niederbronn	Diesel	26	20	14	164		5	4,2864
18	Vendenheim → Mommenheim	Électrique	137	76	68	829		3	4,205666667
19	Mommenheim → Sarreguemines	Diesel	26	12	12	154		9	8,276222222
20	Mommenheim → Saverne	Électrique	98	64	56	610		6	3,619666667
21	Saverne → Sarrebourg/Réding	Électrique	48	30	24	294		3	8,728666667

Figure 25 : Tableau des circulations par section de ligne en 2023, accompagné du nombre de gares sur ces-mêmes sections et de leur espacement moyen.

### Annexe 3 – Nombre de circulations par section de ligne, 2030 (prévisionnel)

1	A	B	F	G	H	I	J	K	L
	Section	Alimentation	Circulations/semaine	Circulations/samedi	Circulations/dimanche	TOTAL 7 jours		Gares	km/gare
2	Strasbourg → Kehl	Électrique	67	42	42	419		2	4
3	Strasbourg → Sélestat	Électrique	157	60	60	905		10	4,3218
4	Sélestat → Colmar	Électrique	73	40	40	445		1	22,599
5	Strasbourg → Molsheim	Diesel	170	68	36	954		7	2,70285714
6	Molsheim → Barr	Diesel	70	30	20	400		7	2,28957143
7	Barr → Sélestat	Diesel	30	10	20	180		5	3,4868
8	Molsheim → Rothau	Diesel	50	30	20	300		9	2,88955556
9	Rothau → Saales	Diesel	31	10	20	185		4	8,904
10	Saales → Saint-Dié	Diesel	23	16	15	146		2	25,443
11	Strasbourg → Rœschwoog	Diesel	76	40	35	455		10	3,6314
12	Rœschwoog → Lauterbourg	Diesel	50	30	30	310		5	4,1052
13	Strasbourg → Vendenheim	Électrique	150	65	59	829		2	4,827
14	Strasbourg → Vendenheim	Diesel	144	64	55	736		2	4,827
15	Vendenheim → Haguenau	Diesel	144	64	55	839		6	4,05983333
16	Haguenau → Wissembourg	Diesel	40	31	26	257		7	4,76257143
17	Haguenau → Niederbronn	Diesel	40	24	20	244		5	4,2864
18	Vendenheim → Mommenheim	Électrique	150	65	59	874		3	4,20566667
19	Mommenheim → Sarreguemines	Diesel	40	20	19	239		9	8,27622222
20	Mommenheim → Saverne	Électrique	100	45	40	585		6	3,61966667
21	Saverne → Sarrebourg/Réding	Électrique	70	40	40	430		3	8,72866667

**Figure 26 :** Tableau des circulations prévisionnelles estimées par section de ligne en 2030, accompagné du nombre de gares sur ces-mêmes sections et de leur espacement moyen.

#### Annexe 4 – Photographies du matériel roulant TER



**Figures 27 & 28 :** Voitures RRR tractées par une locomotive BB 22200 « Nez cassé » (gares de Vendenheim et Strasbourg)



**Figures 29 & 30 :** Rames « Régiolis », en traction électrique et thermique (gares de Vendenheim et Haguenau)



**Figures 31 & 32 : Rames « AGC », en traction thermique (gares de Strasbourg et Sarreguemines)**

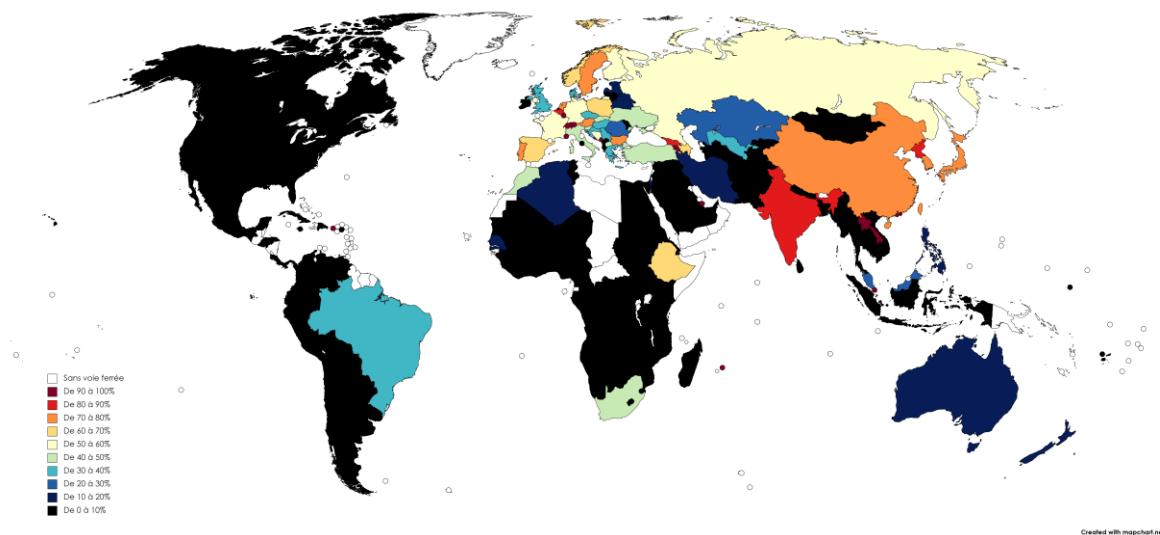


**Figures 33 & 34 : Voitures Corail, tractées par une BB 26000 « Sybic » (gares de Strasbourg et Bâle CFF)**



**Figure 35 : Rame X37900 en Allemagne (également similaire en forme aux X37500, en gare de Sarrebruck)**

## Annexe 5 – L'électrification ferroviaire à l'échelle mondiale



**Figure 36 : État de l'électrification ferroviaire (en % du réseau total) dans le monde**

Il est intéressant de relever la grande disparité au niveau mondial pour ce qui est de l'électrification ferroviaire :

- En Amérique (nord et sud), l'électrification n'est pas développée, ce malgré un réseau très étendu (notamment aux États-Unis), et de nombreuses circulations, où le fret représente la majeure partie de ces dernières.
- En Afrique, la situation est assez disparate en fonction des pays, et des investissements réalisés dans le secteur ferroviaire. Ainsi, les pays possèdent soit un réseau datant de l'époque colonial, généralement à écartement métrique (1 000 ou 1 067 mm), qui n'est souvent que peu entretenu, soit quelques lignes modernes, généralement construites aux standards européens, qui sont souvent électrifiées dès leur conception. Dans les deux cas, les réseaux ferrés des divers pays africains restent généralement limités et ne sont souvent pas interconnectés entre eux, l'électrification est ainsi loin d'être la préoccupation première de ces nations.
- En Océanie, le réseau ferré des quelques pays en possédant un est également peu dense, mal connecté et généralement réservé au trafic fret. Des efforts y sont certes entrepris pour tirer parti de la traction électrique, mais cela représente à ce jour une très faible part du réseau total.
- En Asie, l'électrification est soit limitée à quelques lignes principales (Kazakhstan, Iran, Arabie Saoudite), soit généralisée dans des proportions impressionnantes, c'est le cas notamment du réseau indien, mesurant 63 140 kilomètres (3 fois le réseau français), électrifié à 86%, ou encore du réseau chinois, mesurant 155 000 kilomètres, et électrifié à 65%.
- L'Europe est le continent possédant le plus haut pourcentage de lignes électrifiées, bien que la situation varie d'un pays à l'autre, comme ce sera détaillé en Annexe 6.

## Annexe 6 – L'électrification ferroviaire à l'échelle européenne et nationale

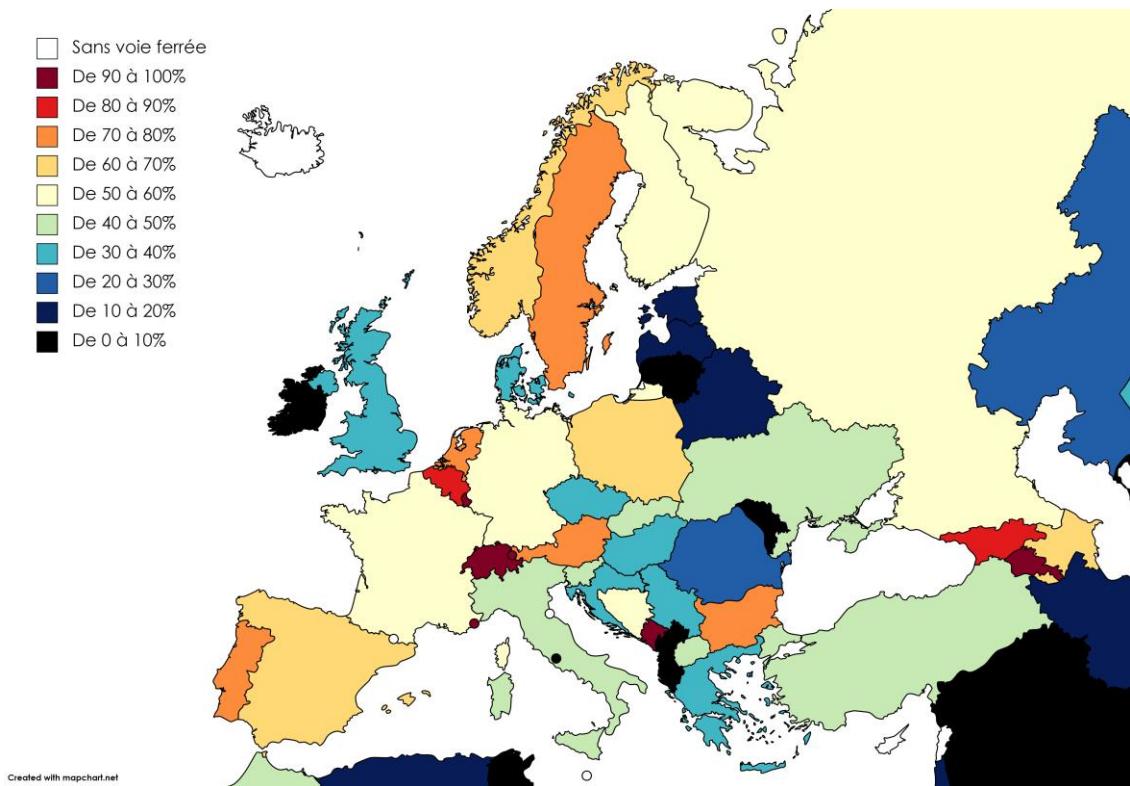


Figure 37 : État de l'électrification ferroviaire (en % du réseau total) en Europe

À l'échelle européenne, la différence au niveau de l'électrification se fait avant tout selon la séparation Europe de l'Ouest et de l'Est, avec toutefois de nombreuses exceptions. La France est elle entourée de voisins ayant tous un réseau comparativement plus électrifié, à l'exception de l'Italie, avec notamment la Suisse et le Luxembourg, ayant entièrement équipé de caténaires leurs réseaux, ainsi que de la Belgique, se rapprochant fortement de cet objectif.

La France est ainsi classée légèrement en-dessous de la moyenne de l'Union Européenne pour ce qui est de l'électrification de ses voies ferrées, à savoir 54% pour la France contre 57% pour l'UE.

L'indisponibilité de données complètes et détaillées par région rend complexe l'établissement d'une carte à la manière des de l'annexe précédente. Le réseau français se caractérise toutefois par des disparités importantes en fonction des régions :

- L'Île-de-France, dont le réseau est désormais quasiment entièrement électrifié
- L'Alsace nous intéressant ici, ou la Bretagne, dont environ la moitié du réseau ferré est électrifié
- La Corse, dont le réseau à écartement métrique n'est pas électrifié
- Les autres régions de métropole, dont le taux d'électrification varie beaucoup de l'une à l'autre, pouvant aller jusqu'à l'ancien Nord-Pas-de-Calais qui ne disposait que de deux lignes non-électrifiées, avant la fusion des régions, à l'ancien Limousin, qui au contraire n'était traversé que d'une unique ligne électrifiée
- Les territoires d'outre-mer, ne disposant pas de voies ferrées ouvertes au service voyageur/fret, hors lignes touristiques ou voies de transport de lanceurs spatiaux