



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*



programme
CONVERT



Compétences Opérationnelles Nouvelles pour Valoriser les Entreprises du Rail et du Transport

Premier levier des transitions numériques et écologiques, la formation des jeunes et des salariés permet de renforcer le capital humain indispensable au fonctionnement de nos entreprises et au-delà de toute la société. C'est aussi le meilleur moyen pour proposer des emplois durables et de tous niveaux de qualification sur l'ensemble du territoire.

C'est également une des conditions majeures pour la réussite du plan France 2030 : soutenir l'émergence de talents et accélérer l'adaptation des formations aux besoins de compétences des nouvelles filières et des métiers d'avenir. 2,5 milliards d'euros de France 2030 seront mobilisés sur le capital humain pour atteindre cette ambition.

L'appel à manifestation d'intérêt « **Compétences et métiers d'avenir** » s'inscrit dans ce cadre et vise à répondre aux besoins des entreprises en matière de formations et de compétences nouvelles pour les métiers d'avenir.

Dans le cadre de ce dispositif, **la réalisation de diagnostics des besoins en compétences et en formations sont financés et diffusés.**

DIAGNOSTIC DE FORMATION

09 juin 2023



Sommaire

<i>Présentation du projet CONVERT et de la démarche méthodologique associée</i>	3
• <i>La maintenance d’engins de travaux ferroviaires, une activité stratégique pour toute la filière ferroviaire</i>	3
• <i>À propos de la méthodologie de travail pour rédiger le rapport CONVERT</i>	6
<i>Contexte et enjeux du ferroviaire en France</i>	9
• <i>Européanisation des marchés ferroviaires</i>	9
• <i>Éclairage sur l’Allemagne</i>	14
• <i>Évolution récente de l’écosystème des travaux ferroviaires et de l’emploi dans la filière</i>	20
• <i>L’écosystème des engins de travaux ferroviaires et les métiers associés</i>	23
<i>Caractéristiques structurelles du parc d’engins ferroviaires et perspectives d’évolutions technologiques à l’horizon 2030 et au-delà</i>	33
• <i>Caractéristiques générales du parc d’engins</i>	34
<i>Prospective de l’emploi et des compétences pour la maintenance des engins de travaux ferroviaires</i>	58
• <i>Les enjeux de la filière de maintenance industrielle en termes d’emplois et compétences</i>	59
• <i>Projection des besoins en emplois à l’horizon 2030</i>	68
<i>Quel scénario probable pour l’évolution des métiers et des compétences à l’horizon 2030 et après... ?</i>	73
• <i>Le scénario retenu par les acteurs de la filière des engins de travaux ferroviaires</i>	73
• <i>Principaux axes de développement en matière de recrutements, compétences et formation</i>	77
<i>Conclusion</i>	87

Présentation du projet CONVERT¹ et de la démarche méthodologique associée

La maintenance d'engins de travaux ferroviaires, une activité stratégique pour toute la filière ferroviaire.

Les engins de travaux ferroviaires sont au cœur des enjeux stratégiques pour l'exploitation et le développement du transport ferroviaire.

Situés en amont de la chaîne de valeur de la production ferroviaire, ils contribuent à garantir la sécurité des biens et des personnes en réalisant des ouvrages complexes à fortes contraintes techniques et physiques, sur de très longues distances.

Ces outils de production sont le fer de lance de l'industrie ferroviaire nationale pour développer et régénérer les réseaux ferrés tant en France qu'à l'international. Ils sont des actifs stratégiques que les exploitants doivent maintenir en conditions opérationnelles optimales pour garantir la compétitivité de leur savoir-faire dans un contexte d'ouverture à la concurrence européenne des marchés de travaux ferroviaires.

Face aux enjeux de développement durable, et plus particulièrement des efforts à réaliser en matière de décarbonation et de mobilité verte, les engins sont créateurs de valeur. Mais bien qu'ils soient utilisés à des fins honorables, il faut prendre en compte que ces engins, avec leurs motorisations thermiques dont beaucoup sont des diesels de fortes puissances, sont d'importants pollueurs, le parc national actuel étant encore très largement dépendant des énergies fossiles.

A l'instar des autres secteurs de l'industrie, l'écosystème des engins ferroviaires voit désormais émerger des technologies qui vont lui permettre de réduire très significativement son empreinte carbone. Et rappelons-le, ces évolutions technologiques majeures s'opèrent dans un contexte d'eupéanisation des marchés ferroviaires, que l'on parle de transport de passagers, de fret ou de réalisations de chantiers. Elles doivent nécessairement être appréhendées en avance pour que l'industrie ferroviaire nationale conserve à la fois son rang et son savoir-faire dans les années à venir.

En effet, si l'ouverture à la concurrence est une opportunité de s'exporter à l'international pour les acteurs de la filière nationale, c'est également un risque de perdre des parts de marché en France au profit d'autres acteurs européens dans un contexte où la rentabilité des chantiers ferroviaires va devenir de plus en plus dépendante des gains de productivité réalisés par les titulaires de chantiers.

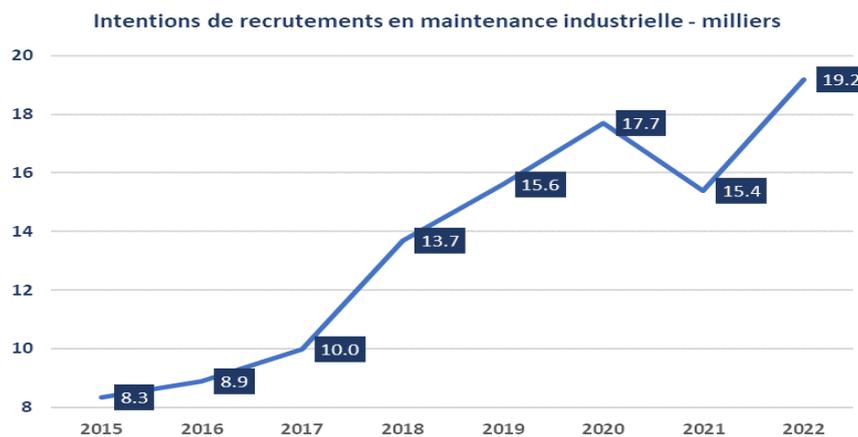
Consciente des enjeux et de la transformation de l'écosystème des engins de travaux de voies, toute la profession de la filière des engins s'est fédérée au sein de Mecateamcluster pour à la fois pérenniser le savoir-faire, mais également développer les compétences métiers à travers

¹ CONVERT est l'acronyme de **C**ompétences **O**pérationnelles **N**ouvelles pour **V**aloriser les **E**ntreprises du **R**ail et du **T**ransport

des axes majeurs tels que l'innovation, la formation et le développement de l'attractivité au sein de la filière.

Tout comme la plupart des autres secteurs industriels, l'industrie ferroviaire fait face à un déficit important de main d'œuvre qualifiée. Compte tenu de la place du rail dans un mode de développement durable pour nos sociétés modernes, il est particulièrement stratégique de maintenir un volume d'emplois et de compétences idoines pour assurer la croissance du transport ferroviaire.

Or, les métiers de l'industrie pris dans leur ensemble souffrent d'une désaffection et d'un manque de connaissance du grand public. Les donneurs d'ordres industriels n'arrivent majoritairement pas à réaliser les projets de recrutement planifiés tant le marché de l'emploi et plus particulièrement celui de la maintenance industrielle souffrent d'un déséquilibre avec une offre de postes largement supérieure à la demande pour ce type de métiers. Ainsi l'enquête « **Besoins en main d'œuvre de Pôle Emploi** » 2022 estimait à près de vingt mille les projets recrutements en maintenance industrielle uniquement pour les besoins de l'industrie hors secteurs du tertiaire, alors même que la formation initiale délivrait moins de dix mille diplômés spécialisés dans cette spécialité.



Source : Valouy Conseil d'après l'enquête annuelle de Pole Emploi « Besoins en main

Il va de soi qu'au-delà du projet CONVERT, c'est toute la filière maintenance qui doit retrouver un niveau d'attractivité suffisant pour satisfaire aux besoins des entreprises nationales dans ce domaine de compétences.

Les métiers de la maintenance d'engins de travaux ferroviaires à l'instar d'autres industries dites « outdoor » sont encore moins plébiscités par les candidats car ils présentent des contraintes professionnelles majeures telles que des déplacements sur tous types de distances, de moyennes à longues durées, des tâches de travail en extérieur, tout temps, toutes heures avec des créneaux de chantiers qui empiètent fréquemment sur les weekends, les périodes de congés scolaires et les jours fériés, ce qui en fait des professions difficilement conciliables avec une vie familiale traditionnelle.

Ce sont également des métiers souvent jugés difficiles, l'exécution de certaines tâches essentielles générant des efforts et de la pénibilité.

L'innovation technologique et digitale confère néanmoins un atout majeur pour l'attractivité de la filière car au fur et à mesure de sa diffusion dans l'outil de production, elle va contribuer à diminuer la pénibilité au travail. Mais cette amélioration des conditions de travail va également nécessiter une montée en compétences des mainteneurs qui vont devoir s'approprier :

- Des nouvelles générations d'engins plus automatisés, plus connectés et plus électrifiés ;
- Des nouvelles techniques de maintenance plus axées sur la collaboration homme/machine que l'on parle de réalité virtuelle mixte, de cobotisation ou de télémaintenance par exemple ;
- Des nouvelles méthodes de travail plus optimisées grâce à des nouveaux outils tels que la maintenance prévisionnelle.

Autant d'atouts apportés par les progrès techniques et technologiques pour faire gagner en efficacité opérationnelle avec des meilleures conditions de travail qui s'accompagneront de gains de productivité dans un contexte de concurrence accrue sur ce marché.

A l'instar des autres industries, l'écosystème des engins de travaux ferroviaires est à l'aube de sa révolution digitale et énergétique. Et si ces évolutions, bien utilisées, doivent permettre de faire des gains de productivité pour s'adapter à la nouvelle donne ferroviaire, elles peuvent également pallier partiellement le déficit chronique de main d'œuvre qui va perdurer pour encore quelques années.

Le rapport CONVERT (Compétences Opérationnelles Nouvelles pour Valoriser les Entreprises du Rail et du Transport) a vocation à restituer une vision prospective de la déformation de la structure de l'emploi en maintenance à l'horizon 2030 et au-delà dans la filière des engins de travaux ferroviaires pour que ses acteurs puissent anticiper :

- Le volume d'emplois nécessaire pour réaliser la maintenance des engins de travaux de voies ;
- L'évolution des besoins en compétences en maintenance qui se doit d'être mise en perspective avec les évolutions technologiques qui se diffusent dans la filière ;
- L'adaptation des formations actuelles ainsi que les nouvelles formations qui doivent être rapidement déployées pour répondre aux besoins des entreprises quelque soit leur positionnement dans la chaîne de valeur des travaux ferroviaires.

Les travaux conduits pour le réaliser s'appuient sur des méthodes prospectives permettant de formaliser un scénario tendanciel d'évolution de l'emploi et des compétences en maintenance d'engins de travaux ferroviaires à l'horizon 2030. Ce scénario est enrichi par des hypothèses alternatives permettant d'envisager son évolution de manière plus favorable ou à contrario plus défavorable selon les degrés d'aléas qui pèsent sur des variables structurantes.

Les éléments relatifs à la méthodologie sont présentés dans le chapitre ci-après.

À propos de la méthodologie de travail pour rédiger le rapport CONVERT

Le rapport CONVERT est un prolongement des travaux déjà réalisés dans le cadre du cluster et qui ont notamment permis d'avoir une vision économique structurée de la filière en termes :

- De connaissance du parc industriel d'engins et des différentes familles qui le composent ;
- Des effectifs dédiés à la maintenance industrielle et des profils métiers qui y sont associés ;
- Des grands enjeux actuels en termes de gestion des ressources humaines et pérennisation des compétences maintenance au sein de la filière.

La méthodologie utilisée pour rédiger le rapport CONVERT s'appuie sur des méthodes d'investigations prospectives destinées à forger un scénario d'évolution consensuel pour toutes les parties prenantes de la filière maintenance des engins de travaux ferroviaires, à l'horizon 2030.

Les objectifs de l'étude CONVERT sont :

- Identifier les principales tendances technologiques qui, en se diffusant dans la filière vont directement ou indirectement nécessiter de faire évoluer les compétences opérationnelles de maintenance ;
- Estimer les besoins en main d'œuvre maintenance à l'échelle de la filière ;
- Analyser la déformation de la structure de la grille des métiers en intégrant les composantes technologiques qui vont nécessiter la mise en œuvre de nouvelles formations ou l'adaptation de formations existantes.
- Transmettre les principales recommandations pour accompagner la filière dans ses principales mutations stratégiques pour y parvenir.

La formalisation du scénario tendanciel du rapport CONVERT s'est appuyée sur plusieurs étapes complémentaires :

- **Une enquête quantitative** : Conduite auprès d'un échantillon de plus de 40 entreprises représentant la quasi-totalité des acteurs de la filière, cette enquête avait pour objet de fournir un point de départ actualisé des effectifs maintenance de la filière en 2022 et sur les projections que s'en font les entreprises à l'horizon 2030. L'enquête apporte par ailleurs des informations structurelles utiles pour analyser l'évolution de l'emploi et des compétences telles que celles sur la pyramide des âges, les catégories socio-professionnelles, les niveaux académiques de recrutements, etc ;
- **Une modélisation du cycle de vie du parc d'engins** : Un modèle de projection du parc a été réalisé pour simuler un cycle complet de renouvellement d'engins. Cette phase exploratoire avait pour objectif de comprendre, en fonction du renouvellement des

différentes familles d'engins, quelles seraient les principales évolutions technologiques qui vont se diffuser dans leur conception, afin de pouvoir en déduire les besoins en termes d'évolution des métiers de la maintenance et des compétences associées. Les résultats de la modélisation sont présentés dans le chapitre consacré au scénario tendanciel.

- **Une phase d'entretiens individuels** : Ces derniers ont été conduits auprès d'un échantillon représentatif de l'ensemble des acteurs positionnés sur la chaîne de valeur maintenance de la filière, que ce soient des constructeurs d'équipements ou de sous-ensembles, des exploitants d'engins ou de matériels ferroviaires roulants, des prestataires de services à l'industrie ferroviaire, des institutionnels métiers. Deux types de population ont été adressés : des opérationnels métiers pour investiguer les dimensions techniques et technologiques ; des spécialistes de la gestion des ressources humaines pour étudier les dimensions sociétales ainsi que les aspects relatifs au recrutement et à la formation. Au total ce sont 24 entretiens qui ont été réalisés dans l'écosystème des engins pour recueillir des informations qualitatives qui forgent les hypothèses retenues dans le scénario prospectif.
- **Des ateliers de réflexion** : A partir des données quantitatives de l'enquête et de la synthèse des informations qualitatives recueillies dans les entretiens, deux ateliers de réflexion ont été conduits.
Le premier atelier a consisté à formaliser le scénario technologique en s'appuyant sur la synthèse des entretiens conduits auprès des opérationnels métiers.
Le second a permis de structurer une vision commune sur les besoins en main d'œuvre de la filière maintenance, ainsi que sur les différentes spécialités métiers nécessaires pour assurer l'activité maintenance autour des engins.

Les résultats de ces ateliers de travail ont permis de formaliser un scénario tendanciel ainsi que de déterminer ses facteurs d'influences à la hausse et à la baisse.

Le scénario a été amendé lors d'une dernière réunion de travail plénière avec une population représentant l'ensemble des parties prenantes de la maintenance d'engins de travaux ferroviaires.

Pour mieux appréhender les différents enjeux en lien avec l'évolution de l'emploi dans cet écosystème, la première partie du rapport CONVERT est consacrée à la description de ce dernier.

Le chapitre est destiné à familiariser le lecteur avec les spécificités de l'univers industriel des engins de travaux ferroviaires, ses familles d'engins, les différentes catégories d'acteurs qui sont amenées à intervenir sur les aspects maintenance. Il présente en outre les grands enjeux auxquels est confrontée la filière.

La seconde partie du rapport est dédiée aux évolutions technologiques qui vont impacter la structure des métiers. Il s'appuie sur la synthèse des entretiens individuels ainsi que sur les résultats de l'enquête auprès des services ressources humaines des entreprises.

Enfin la troisième et dernière partie du rapport est consacrée à la présentation du scénario central tel qu'il est envisagé par les parties prenantes. Ce chapitre détaille les projections

d'emploi, l'évolution des compétences selon la grille des métiers de Mecateamcluster. Il fait également la proposition de pistes d'actions pour améliorer l'attractivité de la filière et l'offre existante de formations en lien avec les engins de travaux de voies.

Contexte et enjeux du ferroviaire en France

Afin de mieux appréhender les grands enjeux inhérents à l'activité maintenance dans la filière des engins de travaux de voies, il convient tout d'abord d'avoir une vision éclairée sur les grandes mutations et les défis que cette industrie va devoir relever au cours des prochaines années. Le chapitre ci-après est une synthèse des variables structurantes qu'il faut donc également prendre en compte pour comprendre l'impact de facteurs qui viennent directement ou indirectement contribuer à l'évolution de la maintenance des engins et à celle des compétences métiers pour la réaliser.

Européanisation des marchés ferroviaires

Ouverture à la concurrence des réseaux ferrés européens : les « paquets ferroviaires »

Au cours des décennies qui ont suivi les trente glorieuses (1945-1975), le développement du transport ferroviaire tant en France qu'à l'international a été fortement concurrencé par la montée en puissance des transports automobile et aéronautique jugés souvent plus pratiques et moins contraignants dans des déplacements de moyennes à longues distances.

Consciente de la désaffection du rail et de son déclin progressif, la Communauté économique européenne s'est préoccupée dès la fin des années 70 de redynamiser le secteur en s'attaquant à trois chantiers prioritaires :

- Le financement et la tarification de l'infrastructure ;
- Les obstacles à la concurrence ;
- La surveillance réglementaire pour la sécurité des biens et des personnes.

Historiquement, les réseaux ferrés étaient restés des monopoles naturels de chacun des États membres, une situation logique au regard des niveaux d'investissements à réaliser pour les exploiter, les entretenir et les développer. Mais cette situation a généré un morcellement juridique et technique de l'espace ferroviaire européen.

En juillet 1991, une première directive européenne a été adoptée qui impose la séparation comptable entre le gestionnaire d'infrastructures et l'exploitant ferroviaire, ouvrant ainsi pour la première fois un accès au réseau ferroviaire, bien que ce dernier soit à l'époque limité aux trains de transport combiné rail/route.

Mais c'est à partir de 2001, avec l'adoption de trois directives communément appelées **1^{er} paquet ferroviaire** que la concurrence est réellement instaurée mais alors uniquement limitée au fret ferroviaire. Il s'agit de :

- La directive 2001/12/CE du 26 février 2001 qui modifie la directive 91/440/CEE et prévoit l'ouverture à la concurrence du fret sur le réseau trans-européen de fret ferroviaire ;
- La directive 2001/13/CE du 26 février 2001 qui modifie la directive 95/18/CE du Conseil relative aux licences des entreprises ferroviaires ;
- La directive 2001/14/CE du 26 février 2001 relative à la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire, à la tarification de l'infrastructure ferroviaire et à la certification en matière de sécurité.

Après leur entrée en vigueur courant 2003, ces directives ont acté les règles d'ouverture à la concurrence tant pour le fret que le transport de passagers, l'autorité de la concurrence ayant veillé à garantir à ce que tous les concurrents aient accès au réseau sans discrimination

Le 2^{ème} paquet ferroviaire, adopté en 2004, acte l'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire en Europe. Il repose sur 4 directives :

- Le règlement 2004/881/CE du 29 avril 2004 qui crée une agence ferroviaire européenne à Valenciennes, dont la tâche essentielle est de proposer des mesures d'harmonisation progressive des règles de sécurité et d'élaborer des spécifications techniques d'interopérabilité (STI) ;
- La directive 2004/49 du 29 avril 2004 relative à la sécurité des chemins de fer ferroviaires qui prévoit l'institution dans chaque Etat membre d'une autorité nationale de sécurité et d'un organisme permanent d'enquête sur les accidents ;
- La directive 2004/50 du 29 avril 2004 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire trans-européen à grande vitesse et conventionnel ;
- La directive 2004/51 du 29 avril 2004 modifiant la directive 91/440/CEE, qui élargit à la concurrence l'activité de fret sur l'ensemble du réseau ferroviaire international au 1er janvier 2006 et sur le marché national au 1er janvier 2007.

Le 3^{ème} paquet ferroviaire est adopté en 2007 ; il acte l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire européen de passagers. Il s'appuie sur trois directives :

- La directive 2007/58/CE du 23 octobre 2007 qui modifie la directive 91/440/CEE et la directive 2001/14/CE pour permettre l'ouverture à la concurrence du transport international de voyageurs ;
- La directive 2007/59/CE du 23 octobre 2007 relative à la certification des conducteurs de train qui institue une certification au niveau communautaire ;
- Le règlement 2007/1371/CE du 23 octobre 2007 qui institue un régime unifié des droits et obligations des voyageurs ferroviaires au sein de l'Union européenne.

Courant 2010, le bilan de cette mise en œuvre réglementaire s'avère décevant au point que l'on constate que le fret ferroviaire a même diminué au profit du fret routier beaucoup plus polluant. Le constat est moins alarmant pour le transport de passagers, mais ce dernier

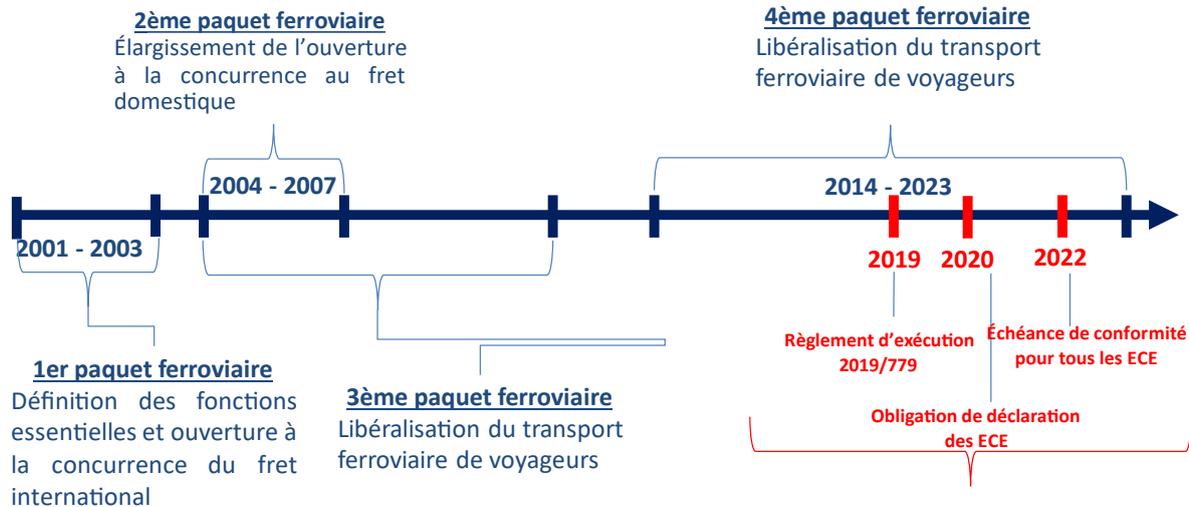
n'arrive toutefois pas à occuper son rang vis-à-vis des enjeux environnementaux ; il peine à évoluer face à une offre aérienne « low cost » en pleine croissance et toujours plus concurrentielle. Par ailleurs, l'évolution du service ferroviaire transnational se heurte à de nombreux obstacles, techniques, juridiques, politiques, la volonté des États membres n'étant parfois pas très affirmée à voir cette mutation s'opérer.

Face à ces multiples défis, les États membres ont acté d'agir sur les deux freins principaux aux mécanismes du marché :

- Des sous-investissements chroniques au détriment du développement et de l'entretien des réseaux ferroviaires. L'exploitation ainsi que l'état de ces derniers restent toujours trop hétérogènes d'un pays membre à l'autre, avec comme conséquence principale une détérioration de la qualité du réseau à l'échelle européenne.
- L'opacité des marchés ferroviaires qui limite l'accès à la concurrence telle que définie par le paquet ferroviaire.

L'optimisation du cadre réglementaire s'est opérée par l'adoption des six mesures suivantes :

- Le règlement 2016/796, qui réactualise le règlement de l'agence ferroviaire européenne ainsi que son rôle ;
- La directive 2016/787, laquelle vise à favoriser l'interconnexion et l'interopérabilité des réseaux ferroviaires nationaux en rationalisant et en harmonisant les procédures d'autorisation au niveau de l'Union européenne.
- La directive 2016/798, qui aborde la question de la sécurité ferroviaire. Celle-ci propose de faire en sorte que tout utilisateur européen puisse bénéficier des mêmes règles ferroviaires en matière de sécurité, quel que soit le pays où il se trouve. L'objectif est également de réduire le nombre de règles nationales, susceptibles d'engendrer une transparence insuffisante et de créer des discriminations parmi les nouveaux opérateurs potentiels.
- Le règlement 2016/2338, dont l'objectif est de réguler les procédures de mises en concurrence effectuées par les autorités ;
- La directive 2016/2370, qui introduit de nouvelles exigences visant à garantir l'indépendance du gestionnaire d'infrastructures en ce qui concerne la gestion du trafic et la planification de l'entretien ;
- La directive 2016/2337, qui abroge le règlement 1192/69. Ce règlement autorisait les États membres à verser une compensation à 40 entreprises ferroviaires pour les dépenses liées à des obligations que les sociétés d'autres modes de transport ne sont pas tenus de prendre en charge. Avec l'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire, ce règlement est devenu obsolète.



Source : Valouy Conseil

La nouvelle directive sur la sécurité ferroviaire a également révisé le rôle des autorités nationales de sécurité (ANS) pour réattribuer les responsabilités entre elles et l'European Railway Agency (ERA) qui hérite d'un rôle majeur en tant que seule autorité autorisée à délivrer le certificat de sécurité unique aux entreprises ferroviaires. Le 1^{er} novembre 2020, l'ERA est devenue la seule autorité chargée de la certification et de l'autorisation du matériel roulant dans toute l'Union Européenne.

La crise sanitaire mondiale et ses conséquences de mise à l'arrêt de pans entiers de l'économie ont mis un coup de frein important à l'activité ferroviaire avec des dégâts économiques pour toute filière ce qui laissait envisager une remise en question des politiques ferroviaires des États membres. Mais il semble finalement que ce ne fut pas le cas puisque dans tous les pays où des mesures d'urgence ont été instaurées, la poursuite des politiques en faveur du développement ferroviaire s'est poursuivie, comme notamment dans des pays tels que l'Allemagne, la France et même au Royaume Uni qui même depuis sa sortie de l'Europe continue à tenir ses engagements tels qu'ils étaient en tant que pays membre.

Quels impacts de l'ouverture à la concurrence des marchés de travaux ferroviaires ?

L'ouverture à la concurrence est à la fois source de risques et d'opportunités pour les entreprises de travaux ferroviaires.

Sur le plan des opportunités, l'eupéanisation des réseaux ferroviaires, en harmonisant la réglementation et les conditions d'accès aux marchés, devient un relais de croissance pour toutes les entreprises de la filière tant sur le plan de la régénération des réseaux existants, que sur le développement de nouveaux maillages tels que les dessertes fines par exemple.

La volonté des États membres de positionner le ferroviaire comme emblème de la mobilité verte confère aux entreprises de la filière une vision pérenne de leurs activités sur le moyen et long terme.

Mais le revers de médaille, l'adaptation des entreprises à la nouvelle donne ferroviaire doit se faire dans un contexte de contraintes accrues, avec au premier plan celles qui pèsent sur la gestion économique et financière des chantiers ferroviaires, la concurrence croissante limitant encore plus les marges des exploitants d'engins, lesquelles étaient déjà à des niveaux relativement bas.

Ce sera notamment le cas sur tous les chantiers qui touchent à la régénération de voies. Ces opérations sont déjà complexes à réaliser, car les fenêtres de maintenance sont programmées en fonction du trafic sur les faisceaux avec des pénalités de retard à la minute qui peuvent très vite détériorer la rentabilité économique et financière des chantiers.

Dans la perspective d'une densification du trafic ferroviaire européen, il devient stratégique pour tout opérateur de travaux d'optimiser sa productivité pour maintenir un équilibre entre les charges d'exploitation et la rentabilité financière des projets.

Or la productivité d'un chantier est principalement dépendante de celles des engins de travaux de voies qui doivent nécessairement être en conditions opérationnelles pour les réaliser dans les fenêtres imparties.

Plus que par le passé, leur maintenance va devenir une activité aussi importante que le cœur de métier des entreprises puisqu'elle en est l'un des outils à la fois essentiels pour les raisons déjà évoquées et différenciants pour asseoir le rang des opérateurs de travaux ferroviaires français dans un contexte de concurrence accrue.

Éclairage sur l'Allemagne

L'Allemagne partage avec la France un réseau ferroviaire important – plus de 38 000 km de lignes – et une filière ferroviaire complète intégrant des constructeurs de tout type d'engins, des entreprises de travaux ferroviaires, des prestataires et des exploitants parmi les plus importants en Europe.

Via sa filiale DB Netz AG (DB Réseau), la DB assure l'entretien de 33 000 km de lignes, soit environ 87% de l'ensemble du réseau ferré. Les 5 000 km restants sont maintenus par chaque propriétaire (exploitants ferroviaires secondaires et territoires)

Malgré une interconnexion de leurs réseaux et diverses alliances, notamment en matière d'exploitation et d'offres commerciales conjointes, ces deux écosystèmes ferroviaires restent assez indépendants l'un de l'autre en termes de choix techniques dans différents domaines comme la signalisation, l'alimentation électrique ou en matière de choix d'offres en matière de grande vitesse ou de dessertes régionales. Ces différences s'expliquent souvent par les différences des structures politiques d'un pays à l'autre ; état fédéral en Allemagne et beaucoup plus centralisé en France ce qui influence les financements des projets d'investissement et même de l'exploitation du réseau et de ses infrastructures.

Des enjeux assez proches

Au-delà de ces différences factuelles, les deux réseaux partagent plusieurs enjeux techniques et économiques parmi lesquels le vieillissement de leurs infrastructures et la dégradation de leur performance technique et économique. La maintenance des voies, des caténaires et des systèmes de signalisation sont de plus en plus prégnants et représentent des défis financiers de plus en plus importants. Confrontés tous les deux à une double pression économique et écologique, les écosystèmes français et allemand recherchent à la fois des économies de coût et des innovations technologiques et / ou organisationnelles pour répondre efficacement et économiquement aux objectifs de moindre pollution et décarbonation tout en s'inscrivant dans un contexte européen complexe – 4^{ème} paquet ferroviaire –, qui tend aussi à remettre en cause les organisations et les modes de fonctionnement d'écosystèmes historiquement structurés autour de pôles publics très puissants. En Allemagne comme en France, l'exploitant ferroviaire public dispose d'une filiale spécialisée dans les travaux ferroviaires, mais il recourt de façon très significative à la sous-traitance.

Ces évolutions et ces mutations sont à la fois politiques, juridiques, réglementaires, technologiques et humaines notamment en termes de compétences requises pour rester un acteur majeur de l'écosystème ferroviaire. Elles deviennent réalité et elles prennent forme dans un contexte sociétal plutôt favorable au transport ferroviaire à travers des objectifs ambitieux de développement de son trafic et de sa part de marché relative aux autres modes de transport dans le secteur du transport voyageurs comme dans le domaine du fret. Signe de cet engagement politique et sociétal, le gouvernement allemand a prévu dans son contrat de coalition d'investir fortement sur le transport ferroviaire, 45 milliards € d'ici 2027

Des enjeux techniques largement communs

La modernisation du réseau en termes de pérennité et de qualité des infrastructures ainsi qu'en termes de capacité de trafic et de sécurité des usagers et des agents sont aussi des préoccupations communes aux acteurs français et allemand. Enfin l'environnement dans ses dimensions air, eau, sol est aussi devenu ces dernières années un sujet de réflexion et d'innovation important sur les deux rives du Rhin. Dans les deux pays, l'équation économique est difficile. Pour les Allemands, de nouveaux schémas de financement seront nécessaires pour répondre à ces défis, en particulier sur ce que la DB désigne comme le réseau haute performance. Il représente aujourd'hui 3 500 km, et 9 000 km de lignes demain. La focalisation sur ce réseau s'explique d'abord par le fait qu'il est fréquenté par 25% des trains aujourd'hui alors qu'il en représente à peine 10%

Le besoin d'innovation se fait de plus en plus sentir pour relever les défis de décarbonation, de compétitivité et de performance. Ainsi ROBEL a développé – ROBEL Mobile Maintenance System – un wagon atelier « fermé » permettant de travailler en toute sécurité sur des chantiers où la voie contigüe est circulée. Mis en service sur le réseau allemand de la DB, ce véhicule limite le recours à des interruptions de trafic ou à des fermetures partielles de ligne et contribue donc à une meilleure compétitivité tout en préservant la sécurité des circulations et des agents de travaux sur les chantiers.

Comme dans d'autres secteurs, l'automatisation des process et la robotique progressent dans le domaine des travaux ferroviaires. L'émergence d'exosquelettes pour soulager les opérateurs qui interviennent sur les voies et les infrastructures est plus récente mais s'appuie sur des technologies déjà bien maîtrisées.

La **décarbonation** de la filière passe largement par son **électrification**. Le recours à des carburants de substitution comme l'e-fuel est encore expérimental et donc très limité. En matière d'électrification, plusieurs solutions sont mises en œuvre ; la captation du courant sur le réseau caténaire classique, le développement des motorisations hybrides, des solutions batterie ou l'hydrogène. Les solutions hydrogène se situent aujourd'hui plutôt au stade expérimental. Le développement des solutions batterie ou hydrogène se heurte à un double obstacle, d'une part le surcoût d'investissement que l'utilisateur – entreprise de travaux ou exploitant du réseau – n'est pas forcément prêt à supporter et, d'autre part les réticences des personnels et des organisations syndicales, qui sont très fortes en Allemagne. La demande explicite de solutions électrifiées n'est donc pas forcément systématique, notamment au niveau des cahiers des charges. Pour davantage fléchir vers des solutions électrifiées, une réorientation et une nouvelle répartition des coefficients de notation des offres sont nécessaires. Le scénario qui se dessine depuis ces dernières années est celui de la recherche d'une plus forte adéquation entre l'usage, l'engin et le système énergétique. En d'autres termes il n'existe pas de solution unique et encore moins universelle au vu de la diversité des usages, des engins et des outils mis en œuvre. On peut imaginer que l'électrification des gros engins passera par l'utilisation des réseaux existants d'alimentation électrique par caténaire lorsque cela est possible ou par des motorisations hybrides pour réduire les émissions dans les environnements de travail les plus exigeants comme les tunnels par exemple tandis que celles des petits engins rail-route et des outillages comme les tirefonneuses s'appuiera davantage sur des solutions batterie. Cette substitution énergétique est en cours partout en

Europe. En avance sur cette tendance, les Pays-Bas expriment même leur volonté d'interdire l'exploitation des machines diesel à partir de 2030. Certains constructeurs comme PLASSER & THEURER, n°1 mondial des bourreuses de fort tonnage, proposent déjà des engins électriques captant leur énergie sur la caténaire, ce qui suppose le maintien de l'alimentation électrique du réseau pendant le chantier.

Autre tendance de fond, la **digitalisation** concerne tous les métiers et tous les acteurs de la filière ferroviaire et pas seulement les entreprises de travaux ferroviaires. Le développement de Digital Railway Solutions Alliance – DRS Alliance – traduit la mobilisation sur ces sujets de près de 40 acteurs européens de la filière ferroviaire et notamment des constructeurs d'engins de travaux et d'entreprises de travaux ferroviaires. La forte présence d'acteurs de l'espace germanique traduit l'engagement et l'existence de coopérations.

Autre signe d'évolution de la filière à une échelle de plus en plus européenne le déploiement progressif des protocoles de contrôle des trains ETCS et de signalisation ERMTS dans toute l'Europe qui se traduisent par des enjeux d'équipements supplémentaires sur tous les engins moteurs. La digitalisation intègre des technologies diverses et elle a de fortes conséquences sur les parcs existants de matériel avec parfois des enjeux d'investissements additionnels significatifs sur les engins quelle que soit leur taille et leur coût initial.

La digitalisation concerne aussi des opérations emblématiques du monde ferroviaire comme l'attelage des véhicules ferroviaires. La mise au point du DAC – Attelage Automatique Digital de Fret – représente une source d'innovation majeure pour améliorer et sécuriser cette opération à la fois dangereuse et consommatrice de temps pour organiser un convoi ferroviaire et s'assurer de sa conformité aux règles de sécurité.

Le DAC doit aussi permettre l'exploitation de trains de fret plus longs et plus lourds dans une perspective de doublement du trafic ! Il est composé de quatre éléments majeurs, mécanique, pneumatique, électrique et communication des données. Ce dernier élément est le plus révolutionnaire car il existe déjà des systèmes automatiques d'attelage. La mise en place d'une connexion numérique dans le train de fret va permettre une surveillance des éléments de chaque wagon (roue, frein, position du chargement...), la surveillance de l'intégrité du train, la transmission d'alertes au conducteur.

Cette digitalisation des éléments du train constitue une source de sécurité et d'informations pour mieux gérer le convoi et le trafic. Pour être possible et efficace, sa mise en place doit se faire au plan européen et elle représente un enjeu technique, économique et d'ingénierie – coordination des différents acteurs – assez colossal. Un préalable est l'alignement des différents acteurs – constructeurs, loueurs, exploitants, gestionnaires d'infrastructures – au plan européen alors qu'ils n'ont pas forcément les mêmes besoins ou les mêmes exigences. De par leurs interconnexions et leur importance sur le marché du fret ferroviaire, l'Allemagne – 4,2 milliards € de CA pour la filiale fret, DB CARGO en 2021, 18,6% de part de marché pour le fret ferroviaire en Allemagne mais un objectif d'atteindre 25% en 2030 – et la France sont très directement concernées.

L'objectif de ce programme européen qui s'inscrit dans le programme Europe's Rail doté à hauteur de 1,3 milliard € est d'aboutir à la conception d'un tel système digital d'attelage d'ici fin 2025.

Pour conclure ce paragraphe observons que la demande semble plus dynamique sur les réseaux urbains que sur le réseau fédéral de la DB. La diversité des situations locales rencontrées et un nombre plus élevé d'acteurs et décideurs locaux sont aussi des facteurs explicatifs de ce dynamisme.

Des enjeux humains très largement partagés

Sur un plan plus opérationnel, les filières françaises et allemandes des travaux ferroviaires sont toutes les deux confrontées à un enjeu assez fort de recrutement, à la fois pour des raisons démographiques, surtout en Allemagne et pour des raisons d'attractivité en Allemagne comme en France, liées notamment aux conditions de travail – travail de nuit, éloignement des chantiers... – dans les différents métiers des travaux ferroviaires.

Au défi du recrutement s'ajoutent des enjeux de qualification et de formation. Cette filière intègre de plus en plus de nouvelles technologies – électronique, automatismes, informatique, télécommunications... – qui complètent et enrichissent le portefeuille des technologies plus traditionnelles – mécanique, électricité, hydraulique... – mais sans pour autant s'y substituer.

Cette double évolution du développement des technologies traditionnelles et de l'émergence de nouvelles technologies est facteur de complexité et de forts enjeux d'adaptation, d'appropriation de nouvelles connaissances et de nouveaux savoir-faire au sein des équipes opérationnelles des entreprises de travaux ferroviaires et donc des besoins de plus en plus importants en termes de qualification et de formation. Ces enjeux de qualification concernent toutes les spécialités techniques tant en France qu'en Allemagne. En matière de formation, les besoins sont importants dans quasiment tous les domaines mais les contraintes sont plus fortes également, notamment en termes de temps disponible accordé à chaque programme ou à chaque thème.

Les spécificités de l'écosystème allemand

Faisons d'abord un focus sur la situation générale du système ferroviaire allemand. Selon le dernier rapport de la Cour Fédérale des Comptes allemande paru en mars 2023, il est fragilisé sur les plans économique et technique. Le rapport considère que DB AG est une entreprise en difficulté confrontée à une performance économique médiocre, à un niveau d'endettement en croissance, de l'ordre de 30 milliards€ aujourd'hui et à des problèmes fréquents et récurrents de ponctualité et de fiabilité, supportés par les usagers voyageurs et par les clients fret.

La Cour Fédérale des Comptes allemande évoque plusieurs pistes de transformation pour relever ces défis. La réduction des activités à l'international et le désengagement des filiales de DB AG présentes dans des activités non ferroviaires sont les deux principales

recommandations structurelles de la Cour des Comptes allemande pour redresser la situation de DB AG. Elle appelle aussi à une plus grande clarté des engagements, des contrats et des règles de fonctionnement entre DB AG et sa tutelle, l'Etat fédéral. En résumé, l'écosystème ferroviaire allemand est confronté à de forts enjeux de modernisation et de performance dans un contexte économique et financier plus tendu et dans un contexte institutionnel et européen en évolution.

Une première spécificité structurelle majeure de l'écosystème et du réseau ferroviaire allemand est clairement sa forte décentralisation. L'absence de réseau en étoile impacte nécessairement les modes d'exploitation du réseau et le pilotage des activités des territoires, notamment les travaux. Le maillage du réseau ferroviaire allemand se traduit par de nombreuses correspondances sur l'ensemble du territoire, une interdépendance très forte des trains en circulation les uns par rapport aux autres et par des possibilités de contournement de zones de chantiers offrant alors la possibilité de fermer un segment de ligne sans abandonner totalement la desserte du territoire et des populations locales sur une assez longue période. Ces possibilités de fermeture partielle sont de plus en plus utilisées sur le réseau fédéral.

Dans ce contexte, le rôle et le poids des Régions – Länder – est déterminant dans l'organisation, le pilotage et le contrôle des travaux ferroviaires. Chaque région dispose d'un pouvoir réglementaire et de contrôle au travers d'autorisations d'exploitation par exemple. Les différences sont assez nombreuses entre les régions occidentales et les nouveaux Bundesländer de l'ex-Allemagne de l'Est. Remarquons que ces derniers ont développé une réglementation commune pour faciliter les opérations de maintenance du réseau et les activités des différents opérateurs, là où leurs voisins à l'Ouest ont plutôt cultivé leurs particularismes. Comme dans les autres pays, l'écosystème ferroviaire allemand est à la fois constitué de grandes lignes et de réseaux secondaires constitués de petites infrastructures plus locales.

Sur le réseau fédéral des grandes lignes, les réponses aux défis économiques et écologiques sont plutôt technologiques et guidées par l'innovation, notamment au travers de l'électrification des engins, de l'automatisation des process et de la digitalisation.

Défi technique et humain à la fois, la digitalisation est au cœur des activités d'IZBTM – Centre d'Innovation pour la filière ferroviaire et de la mobilité – à Munich. Ce centre intervient sur des projets d'innovation et anime des sessions et des programmes de formation sur la digitalisation des activités ferroviaires.

Les réseaux secondaires sont globalement confrontés aux mêmes enjeux de performance et de modernisation. Ils sont évidemment très différents d'un endroit à l'autre en termes de configuration, de vocation et de trafic acheminé ainsi que d'opérateurs exploitants. En matière de maintenance, ces opérateurs peuvent suivre des stratégies différentes, mais certains sont très intégrés, tant en termes d'équipes et qu'en termes d'engins de travaux. Ainsi un spécialiste de la maintenance de wagons exploite sur ces différents sites un réseau secondaire représentant au total environ 80 km de lignes sur lequel circulent exclusivement des wagons vides. Pour la maintenance de son réseau, il a fait le choix d'une forte intégration et il dispose d'une dizaine de salariés dédiés à l'entretien de ses infrastructures ferroviaires –

à l'exception des aiguillages dont l'entretien est sous-traité à la fois pour des raisons de compétences, d'habilitations et de sécurité – et de 3 engins de travaux rail-route équipés de différents outillages adaptés aux différentes opérations d'entretien des voies et des infrastructures. Mais les technologies les plus récentes comme des outils numériques et digitaux, qui sont déployées sur les grandes lignes, s'avèrent souvent difficiles à mettre en œuvre sur ces infrastructures secondaires, principalement pour des raisons de coût d'investissement.

Des convergences à renforcer pour relever ces défis et pour consolider un écosystème ferroviaire européen

La proximité géographique des deux pays, l'interconnexion forte de leurs réseaux ferrés et la réalité de la complémentarité industrielle et d'exploitation de leurs écosystèmes ferroviaires sont autant de facteurs objectifs favorables à la recherche de convergences et de coopérations pour développer des synergies et des partages de coûts sur les axes prioritaires de la recherche d'économies et de performance écologique.

Confrontés à des enjeux technologiques et humains très proches, les deux premiers réseaux et opérateurs ferroviaires européens investissent fortement dans le domaine ferroviaire et retiennent souvent des technologies identiques – électrification et digitalisation – pour répondre à ces défis. Les nouvelles technologies et solutions digitales envisagées et en cours de développement ne se justifient d'un point de vue économique, tant en ce qui concerne l'investissement ou leur exploitation, qu'au plan européen. Il en est de même en ce qui concerne la performance et la fiabilité de ces systèmes techniques qui doivent aussi contribuer à une plus grande fluidité des transports et des échanges. L'enjeu d'homogénéisation, d'unification et de simplification des systèmes et des moyens techniques déployés pour la maintenance des infrastructures est mis en avant par de nombreux acteurs et notamment les exploitants.

La recherche, l'optimisation et la valorisation de ces convergences restent néanmoins des sujets à part entière et exigent une plus forte mobilisation des différents acteurs français et allemands, qui ont parfois tendance à se vivre davantage en rivaux qu'en partenaires. Ce sont pourtant des facteurs clés de succès essentiels pour que les objectifs de reconquête par le transport ferroviaire affichés partout en Europe, notamment en France et en Allemagne soient atteints.

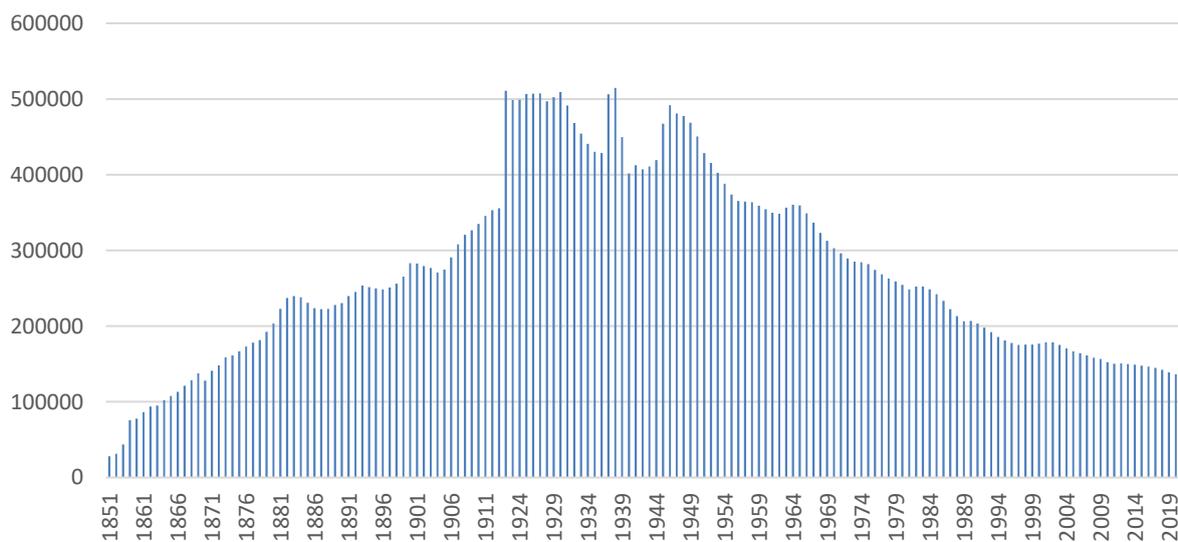
Évolution récente de l'écosystème des travaux ferroviaires et de l'emploi dans la filière.

Historiquement portée par la croissance du transport ferroviaire dans un contexte économique qui a traversé des conflits mondiaux, les trente glorieuses et de nouvelles aspirations sociales à la mobilité, la SNCF s'était imposée comme l'héritière naturelle de la gestion et de l'exploitation du patrimoine ferroviaire français.

Forte d'un effectif ayant dépassé les cinq cent mille cheminots au plus haut de son activité, elle a amorcé un déclin dès la fin de la seconde guerre mondiale, concurrencée par les transports automobile et aérien.

De plus, depuis la fin des années 90 elle a également subi les effets directs et indirects d'une succession de crises complexifiant à la fois sa gestion et sa rentabilité économique et financière.

Évolution des effectifs de la SNCF (nombre de personnes)



Graphique source Valouy Conseil d'après Opendata SNCF.

A l'instar d'autres industries, celle du ferroviaire a procédé, pour s'adapter, à un recentrage sur ses activités cœur de métier.

Il est en effet important de comprendre que si la SNCF est toujours un acteur de la maintenance du patrimoine ferroviaire, elle n'en est plus le seul maître d'ouvrage, son rôle étant désormais centré sur des actions de maintenance préventive et d'entretien des voies plus en lien avec la sécurité des personnes et des marchandises qu'avec de la maintenance

patrimoniale technique (ex : remplacement d'un tronçon de voie ou réparation d'une caténaire).

Pour s'adapter à l'évolution de son écosystème, la SNCF qui avait assuré à la fois le développement, l'exploitation et la maintenance du patrimoine ferroviaire a délégué une partie de son périmètre d'activités historiques à des entreprises privées.

Ces dernières sont principalement issues de l'industrie des travaux publics et parmi ses représentants les plus emblématiques, on peut notamment citer des entreprises telles que les groupes Vinci, Bouygues, NGE, et plus récemment Eiffage.

C'est ainsi que s'est consolidé l'écosystème des travaux de voies et que se sont développées des filiales spécialisées représentées par des entités telles que TSO (rachetée par NGE), Colas Rail (filiale de Bouygues), ETF et Eurovia (filiales du groupe Vinci) et comme dernier entrant sur le marché Eiffage Rail qui a rapidement grandi avec le rachat de Meccoli

Ces acteurs, en tant qu'exploitants d'engins de travaux ferroviaires, sont au cœur de la chaîne de valeur de l'industrie ferroviaire puisqu'ils contribuent en amont à la recherche et au développement de nouvelles techniques de construction de voies, à la conception d'engins spéciaux pour les réaliser tout en permettant la création d'une offre de services spécialisée dans l'écosystème des travaux ferroviaires et dans lequel on va retrouver des profils d'acteurs tels que des constructeurs, des équipementiers, des prestataires de services, des spécialistes de la réglementation et de la sécurité ferroviaire etc.

En aval de la chaîne de valeur, ils permettent de garantir la sécurité des personnes et des marchandises tout en contribuant à accélérer la mobilité verte en créant ou en régénérant des faisceaux de liaisons ferroviaires.

En plus de leurs compétences en matière de travaux ferroviaires, ils proposent pour certains d'autres services, dont notamment des services de maintenance d'engins de travaux ou de transport ferroviaire pour des opérateurs tiers. La notion d'engins pouvant inclure à la fois des machines pour réaliser les travaux, mais aussi des engins de traction ou encore des wagons, que ce soient des outils techniques de chantier ou des wagons de fret dédiés au transport de marchandises.

C'est ainsi que s'est progressivement opéré un transfert de ces compétences maintenance spécifiques du public vers le privé, permettant à des entreprises privées de créer de l'emploi ferroviaire pour compenser le déclin de celui de la SNCF.

La SNCF a conservé un réseau d'ateliers spécialisés et centrés sur son cœur de métier dont ceux de la maintenance de son propre parc d'engins, que l'on parle de matériel roulants voyageurs ou d'engins techniques pour intervenir sur les voies ferrées. Ces ateliers sont soit des technicentres de maintenance (exclusivement dédiés à la réalisation d'opérations de maintenance courante et de nettoyage), soit des technicentres industriels (exclusivement dédiés à la réalisation d'opérations de maintenance lourde), soit des centres d'entretien (emprise ferroviaire et/ou établissements de SNCF voyageurs dans lesquels sont localisées des installations permettant la réalisation d'opérations de maintenance sur les véhicules).

Il est désormais complexe d'avoir une vision précise sur l'évolution récente de l'emploi maintenance que génère l'industrie ferroviaire et encore plus dès lors que l'on s'intéresse à la filière particulière de la maintenance d'engins quelque en soit le type.

La filière maintenance se répartit sur une constellation d'entreprises dont beaucoup de PME et de TPE. Mais il est toutefois juste d'affirmer que le volume d'emplois en maintenance n'a fait que croître au cours des dernières années pour plusieurs raisons :

- La première déjà évoquée : le transfert de compétences historiques de la SNCF a nécessité un ajustement de main d'œuvre pour les entreprises qui sont devenues titulaires des marchés.
- Les différents programmes industriels ou publics réalisés au cours des dernières années ont généré un surcroît d'activité dans les entreprises du secteur et elles ont dû recruter pour atteindre les tailles critiques. Parmi ces grands programmes on peut notamment citer ceux du « Grand Paris » ou encore le développement et la régénération de lignes grande vitesse (LGV) dont récemment la LGV Bretagne Pays de la Loire.

Enfin, et c'est encore une preuve de maturité du marché, l'écosystème des engins de ferroviaires s'est consolidé autour de grands groupes et d'ETI qui se développent beaucoup par croissance externe en rachetant des PME complémentaires de leur cœur de métier.

Cette tendance à l'instar de celle qu'a connu l'industrie automobile ou plus récemment celle de la construction aéronautique permet de consolider un savoir-faire industriel tout en pérennisant l'activité des plus petites entreprises dont certaines par exemple n'auraient pas survécu à la crise sanitaire de 2020.

L'écosystème des engins de travaux ferroviaires et les métiers associés

Ce chapitre apporte des précisions sur la structure de l'écosystème des engins de travaux ferroviaires. Il permet d'avoir une vision d'ensemble :

- Sur les différents types d'engins qui composent le parc français ;
- Les différentes catégories d'acteurs qui interviennent directement ou indirectement dans l'activité maintenance de ce parc ;
- Les profils métiers qui sont associés au besoin de maintenance

Les différentes familles d'engins de travaux de voies.

Pour décrire l'écosystème des engins, il est nécessaire de préciser quelles sont les différentes familles de matériels industriels qu'il recouvre.

En matière de travaux ferroviaires on peut distinguer trois grandes familles de matériels qui rentrent dans le périmètre d'analyse de l'activité maintenance et une quatrième famille certes moins stratégique mais nécessaire au maintien en conditions opérationnelles des engins.

- **Les engins de traction** : Ce sont principalement des locomotives à moteur diesel de forte puissance et plus marginalement quelques autres engins de traction pour des charges plus légères. Leur usage est lié à l'acheminement et au convoyage d'engins, de wagons techniques ou de wagons matières sur les chantiers.
- **Les wagons** : Cette famille d'utilitaires se divise elle-même en deux sous-familles
 - les wagons techniques qui sont des outils tractables avec des fonctions (souvent primaires) d'entretien des voies notamment pour des opérations de lavage ou de débroussaillage par exemple, mais certains wagons peuvent avoir des fonctions techniques à plus forte valeur ajoutée comme les wagons de télémétrie par exemple pour contrôler la géométrie des voies.
 - Les matériels plus basiques qui sont spécifiquement destinés à du transport de fret ferroviaire que ce soit sous forme solide, liquide ou gazeuse. En raison de la dangerosité de certaines matières transportées, cette famille de wagons peut faire l'objet d'aménagements particuliers qui nécessitent une maintenance régulière en lien avec les obligations réglementaires qui régissent son domaine d'usage.

Qu'ils appartiennent à la première ou à la seconde sous-famille, une part marginale des wagons est dite autonome, ce qui veut dire que le matériel est équipé d'une motorisation (historiquement thermique mais avec une part croissante d'électrification) lui permettant de se déplacer sans moyen de traction sur des petites distances (cas fréquent sur les chantiers ferroviaires). En revanche, les wagons pour répondre à la réglementation et à la sécurité ferroviaire doivent systématiquement être tractés par des matériels agréés dès lors qu'ils font de la moyenne ou de la longue distance sur le réseau ferré.

- **Les engins de travaux ferroviaires :** Ce sont les outils cœur de métier qui servent directement à produire ou régénérer des voies ferrées. Il existe différentes catégories d'engins avec chacune des fonctions spécifiques pour intervenir sur tout type de voies ferrées. Ils peuvent être regroupés dans une typologie de 3 familles :
 - **Les engins lourds :** de part leur fonction et leur intensité capitalistique (coût unitaire de plusieurs millions d'euros), cette catégorie d'engins est comparable à un atelier industriel mais qui aurait la particularité d'être mobile. Ces outils sont des concentrés de technologies dont la superstructure (souvent imposante) est montée sur un bogie à essieux ferroviaires. Ils peuvent être soit monofonction (comme une bourreuse par exemple) soit être un assemblage d'engins permettant de réaliser tout ou partie d'une voie ferrée (on parle alors de trains de travaux). Ces engins sont quasiment conçus comme des prototypes tant chaque modèle a ses spécificités. Ils sont produits en faible volume unitaire et les besoins de réseaux ferrés dont les caractéristiques sont différentes d'un pays à l'autre. Les cycles de production de ce type d'engins s'échelonnent sur 3 à 6 ans suivant la nature de la commande. Leur conception est souvent le fruit d'une collaboration entre le constructeur d'engins qui adaptera son offre technique et technologique aux besoins spécifiques de ses clients en travaillant avec leur bureau d'études sur la base d'un cahier des charges.
 - **Les engins rail-route :** Cette catégorie d'engins est la plus importante en volume. Ce sont des catégories d'engins plus légers qui ont la particularité de disposer d'un mécanisme permettant de basculer d'essieux ferroviaires à des trains de pneus et ainsi pouvoir opérer sur tous les axes périphériques à la voie ferrée. Cette famille est la plus nombreuse car ces outils sont tout aussi bien utilisés pour des gros chantiers que pour toutes les petites rénovations courantes d'une voie ferrée. Ce sont également des engins qui sont plus standardisés car construits par plusieurs constructeurs souvent en moyennes voire en grandes séries. En effet, ces engins sont des adaptations d'outils de l'écosystème du BTP et leurs technologies progressent donc au même rythme. Leur cycle de renouvellement est également plus court que celui des engins lourds ce qui accélère la diffusion de la technologie dans leur conception. Ils interviennent aussi bien directement sur la voie ferrée, que sur les caténaires, que pour des travaux de terrassement suivant leur conception.
 - **Les engins spéciaux (ou autres engins de travaux) :** Cette catégorie d'engins est hétérogène et comptabilise tous les engins non classables dans les deux catégories précédentes. Tout comme les engins lourds, ce sont des engins produits en très faible volume, voire à la demande spécifique du donneur d'ordres. Ils répondent souvent à un savoir-faire métier particulier du rail. Ce sont des engins qui ont généralement des durées de vie assez longues et qui bénéficient moins rapidement de la diffusion du progrès technologique. En revanche, d'une génération à une autre, ils peuvent connaître des sauts technologiques importants qui sont surtout à mettre en lien avec l'optimisation des processus de travaux de voies.

Les acteurs de la filière d'engins de travaux de voies

L'écosystème des engins de travaux de voies se consolide autour de trois catégories d'acteurs :

- **Les exploitants** : Ce sont les principaux donneurs d'ordres de la filière. Comme il a déjà été mentionné en début du rapport, ils sont représentés par des filiales de grands groupes industriels français dont le cœur de métier est centré sur le BTP et les services à l'industrie. On trouve également dans cette catégorie, la SNCF qui reste propriétaire et exploitante de son parc d'engins.
- **Les constructeurs** : Cette famille recouvre plusieurs catégories d'acteurs. D'une part on va trouver le duopole de constructeurs d'engins lourds représenté par Framaferr (filiale française du constructeur autrichien Plasser & Theurer) et Matisa (Suisse) qui sont à la fois concepteurs, constructeurs et prestataires de services de toute la gamme d'engins lourds. On va également retrouver dans cette famille d'autres catégories telles que les constructeurs de locomotives, les constructeurs de wagons ou encore des grands noms du BTP dans le domaine de la construction d'engins de chantiers. Mais compte tenu des spécificités du milieu ferroviaire, on va également trouver d'autres catégories de constructeurs qui peuvent se positionner soit comme ensembleurs (construction complète d'engins), soit comme équipementiers (fabrication de sous-ensembles spécifiques que l'on trouve notamment sur les superstructures d'engins lourds). C'est dans cette catégorie que l'on va retrouver le plus de PMI et d'ETI dont beaucoup d'entreprises familiales françaises ou de petits groupes construits par croissance externe ou partenariats privés. Certaines de ces entreprises peuvent également être filiales de grands groupes (dont ceux des exploitants).
- **Les prestataires de services** : C'est la catégorie d'acteurs la plus hétérogène puisqu'elle compte tous les profils d'entreprises qui peuvent être amenées à intervenir directement ou indirectement sur les engins de travaux de voies. Ce peut être des entreprises spécialistes d'un métier (peinture, hydraulique, mécanique,...) ou qui proposent des prestations (formation, conseil, maintenance,...). On y trouve surtout des PME qui ont historiquement un lien fort avec le milieu ferroviaire et qui en ont fait leur cœur de métier même si certaines peuvent être positionnées sur plusieurs secteurs d'activités.

C'est un écosystème qui fonctionne principalement en cercle fermé dès lors qu'il s'agit de maintenance des engins. Compte tenu des obligations réglementaires et juridiques inhérentes à la sécurité ferroviaire et auxquelles est soumise la profession, chaque engin se doit de disposer d'une entité en charge de l'entretien (ECE), cette dernière ayant le rôle majeur d'assurer la traçabilité des opérations de maintenance. Comme tout ces outils nécessitent des compétences spécifiques au milieu ferroviaire, peu de nouveaux entrants peuvent se positionner sur ce marché, lequel ne présente pas, par ailleurs, des volumes suffisamment importants d'activité pour intéresser des entreprises tierces. Ces dernières auraient des coûts d'entrée trop importants difficilement compensables par un volume d'affaires en conséquence.

Cette problématique de volume est d'ailleurs un désavantage pour les exploitants français qui peine à établir des rapports de force équitables avec les constructeurs et notamment ceux d'engins lourds, qui disposent de carnets de commandes largement garnis par d'autres pays plus consommateurs de ce type de matériels.

Il en résulte ainsi parfois des situations complexes, notamment lorsqu'il s'agit de maintenance lourde à réaliser sur les engins.

Cette situation explique en grande partie la raison pour laquelle les exploitants d'engins tentent au maximum d'internaliser la maintenance de leur flotte d'engins, ne faisant appel aux constructeurs que pour des problèmes complexes qui nécessitent une ingénierie particulière.

Contrairement à d'autres industries du transport, telles que l'automobile ou l'aéronautique, il n'existe pas de réseaux de services alternatifs à l'offre maintenance des constructeurs.

Même si la France reste un « petit » pays du monde ferroviaire, il n'en demeure pas moins que les principaux constructeurs étrangers de la filière disposent d'au moins une agence sur le territoire avec des équipes de services dédiés.

Les métiers associés à la maintenance des engins de travaux ferroviaires

Tout au long de leur cycle de vie les engins de travaux de voies vont connaître des besoins de maintenance, qu'il s'agisse simplement de leur maintien en conditions opérationnelles ou d'entretiens plus lourds pouvant aller jusqu'au rétrofit de l'engin.

Pour la réaliser, l'écosystème des engins s'est doté de compétences métiers spécifiques qui sont représentées par sept profils métiers différents :

Les équipages

Avant d'être maintenanciers, ce sont d'abord les utilisateurs principaux des engins. Un équipage affecté à un engin va le suivre sur les différents chantiers pour l'exploiter dans leur réalisation. Une part importante des chantiers étant réalisée en zone blanche (située loin de toute agglomération ou infrastructure technique), les équipages doivent disposer de notions de base de maintenance pour maintenir leur engin en conditions opérationnelles.

Ce sont avant tout des personnels formés aux risques ferroviaires puisqu'ils interviennent sur des périmètres d'interventions où il peut toujours y avoir de la circulation ferroviaire sur des faisceaux restés ouverts. Ces profils métiers ont également dans leur périmètre de fonctions la charge de réaliser les opérations de contrôles pour s'assurer que l'engin est à même d'être exploité sur un chantier sans risques pour la sécurité ou de défaillances identifiables.

Les équipages assurent donc une maintenance dite de « routine » qui consiste à partir d'une checklist de points de contrôles à valider et/ou corriger toute une liste de paramètres basiques pour la mise en route ou la mise à l'arrêt de l'engin. Ces opérations peuvent entraîner des actes de maintenance généralement très simples et à la portée de n'importe quel opérateur.

En plus de cette maintenance de routine, les équipages ont également la capacité de réaliser des opérations de maintenance préventive que cette dernière soit systématique ou conditionnelle. Il s'agit notamment de remplacer, lors des cycles d'exploitation, des petits composants ou pièces d'usure, soit à une échéance prédéterminée (nombre d'heures de fonctionnement, fréquence temporelle,...) soit à partir d'inspection de contrôle visuel ou télémétrique pour déterminer des niveaux d'usure.

Mais cette maintenance reste toutefois une maintenance basique et n'a pas vocation à nécessiter des opérations de démontage ou remontage complexes de sous-ensembles machine.

En plus de la maintenance planifiée, les opérateurs de l'engin peuvent se retrouver confronter à des pannes aléatoires par nature non prévisibles. Compte tenu des contraintes qui pèsent sur les chantiers ferroviaires, les membres d'équipage

disposent de compétences généralistes qui doivent leur permettre d'établir un diagnostic de panne, soit pour pouvoir s'autodépanner, soit pour pouvoir déclencher une opération de maintenance ciblée, en zone de travaux ou en atelier si la panne est trop complexe ou trop longue à gérer.

Pour réaliser les petits dépannages d'exploitation, cette catégorie de personnel doit notamment disposer de connaissances basiques dans des domaines tels que la mécanique, l'hydraulique, l'électricité ou encore l'électronique. Les opérateurs de l'engin doivent connaître les différents sous-ensembles de la machine qu'ils exploitent, savoir appliquer des procédures de maintenance à partir des gammes de maintenance qui leur sont fournies par les ECE et assurer la traçabilité de toutes les opérations de maintenance qu'ils sont amenés à réaliser en chantier.

C'est une population dont la formation se fait par compagnonnage lors des chantiers mais qui nécessite également un accompagnement particulier avec des formations très spécifiques qui doivent toujours tenir compte de la sécurité ferroviaire. Très souvent ce sont les constructeurs d'engins ferroviaires et de sous-ensembles qui sont sollicités pour dispenser ce type de formations.

Les opérateurs de maintenance.

Ce sont des professionnels de la maintenance. Ils sont basés en atelier, mais certains peuvent avoir dans leur périmètre de fonctions la réalisation d'interventions en mobilité notamment pour résoudre des pannes qui sortent du spectre de compétences des membres d'équipage.

Ce sont des exécutants de maintenance, avec des profils d'ouvriers qualifiés. Ils disposent généralement d'une palette de compétences maintenance assez large (mécanique, hydraulique, pneumatique, électricité, électronique) qui leur permet d'appliquer des schémas de maintenance prescrits par la politique de l'entreprise.

Cette catégorie de personnel est également formée aux risques ferroviaires et aux risques métiers que l'on peut trouver dans les ateliers industriels. Les opérateurs de maintenance sont généralement issus de l'enseignement secondaire (CAP à Bac Pro), on trouve également dans cette population une part importante de profils non diplômés qui ont construit leur parcours professionnel de maintenance en compagnonnage tout au long de leur carrière professionnelle. Ces profils très opérationnels sont un réservoir de savoirs précieux pour toute la filière d'engins de travaux ferroviaires.

Les techniciens polyvalents de maintenance.

C'est une population de plus en plus demandée dans les ateliers industriels pour la polyvalence de leurs compétences. Les techniciens de maintenance sont des profils plus qualifiés que les opérateurs, ils sont généralement diplômés de l'enseignement supérieur.

En début de carrière, une fraction d'entre eux peut débiter en tant que membre d'équipage avant de se sédentariser en atelier. Ils disposent de connaissances avancées sur les engins, mais également sur leurs usages en chantiers. Les techniciens polyvalents ont un bagage de connaissances assez identique à celui des opérateurs de maintenance mais ils sont plus pointus dans une ou plusieurs spécialités de maintenance.

Ce sont également des personnels mieux formés à l'informatique industrielle, ce qui leur permet d'intervenir sur des automates ou de travailler avec des outils digitaux pour améliorer l'efficacité de leurs tâches. Les techniciens polyvalents disposent également d'une plus grande autonomie dans l'organisation de leurs procédures de travail, ils peuvent directement contribuer à l'amélioration de la politique de maintenance, que ce soit en participant à l'amélioration des process de maintenance (réalisation de gammes de maintenance, par exemple), en apportant de nouvelles méthodes et/ou de nouveaux outils jusqu'à parfois jouer un rôle de compagnonnage ou d'encadrant de personnels internes ou externes.

L'un des rôles majeurs de cette population est d'établir des diagnostics de panne et les procédures pour les résoudre. Leur efficacité opérationnelle est donc un facteur majeur d'amélioration de la productivité des exploitants surtout lorsque leurs interventions correctives se déroulent en chantier avec des contraintes horaires. C'est donc une population qui doit faire l'objet d'une formation continue tout au long de son parcours de carrière afin de bénéficier des techniques et méthodes de maintenance les plus récentes.

Les techniciens spécialistes

Comme indiqué par le libellé, c'est une population de maintenanciers qui a suivi un parcours de formation assez similaire à celui des techniciens polyvalents, mais qui en cours de parcours professionnel a développé une compétence spécifique et stratégique pour l'entreprise qui a créé un poste. Même si leur bagage de connaissances est large, il restera toutefois plus limité que celui des techniciens polyvalents car le métier du spécialiste sera centré sur un domaine particulier ou un type d'engin spécifique.

Ce profil métier a généralement une connaissance pointue d'un ou plusieurs sous-ensembles machine pour lesquels ils jouent un rôle d'amélioration continue des

procédures de maintenance pour optimiser la fiabilité du périmètre traité. Ils doivent opérer une veille technologique permanente dans leur domaine de compétences mais ils jouent également un rôle de support technique majeur en apportant de l'information à d'autres catégories de personnels. Les techniciens spécialistes peuvent assurer des interventions aussi bien en atelier qu'en mobilité, mais ils ne seront sollicités que sur des problèmes pointus qui dépassent le champ de connaissances des membres d'équipage ou des techniciens polyvalents.

Enfin avec leur expertise, les techniciens spécialistes peuvent contribuer à la réalisation de cahier des charges pour du rétrofit ou de la construction neuve en collaborant avec les bureaux d'études des exploitants ou des constructeurs.

Les métiers de spécialistes ont besoin d'un accompagnement en formation tout au long de leur parcours professionnel. Leurs besoins en formation sont pointus et nécessitent la mise en œuvre de parcours de formations adaptés à ce type de public. Ce sont généralement des formations qui impliquent les constructeurs, que l'on parle d'engins ou de sous-ensembles techniques.

Les techniciens règlementaires

Cette population représente une catégorie de personnels qui sont spécialistes de la maintenance en lien avec les normes et la sécurité ferroviaire.

Ce sont des techniciens qui vont avoir une excellente connaissance des textes et des normes règlementaires qui régissent à la fois les engins, les chantiers, la circulation et la sécurité ferroviaire.

Ils sont les garants de la traçabilité de la maintenance légale en lien avec la responsabilité juridique des intervenants ferroviaires.

Ce sont des personnels que l'on trouve principalement chez des exploitants d'engins au sein des ateliers dits ECE (Entité en Charge de l'Entretien).

Ils disposent de connaissances avancées des organes et sous-ensembles engins en lien avec la sécurité ferroviaire (système de freinage, essieux, bogies et autres organes de sécurité ferroviaire).

Les techniciens règlementaires ont la charge de la préparation, la planification, l'ordonnancement et la réalisation des travaux en lien avec la réglementation ferroviaire.

Une part de leur mission est consacrée à des tâches purement administratives notamment de rédaction et de communication de rapports techniques aux autorités ferroviaires avec lesquelles ils ont des échanges réguliers.

Suivant la taille des ateliers, les techniciens règlementaires peuvent également occuper des tâches managériales d'animation d'équipes projet.

Les profils ingénieurs en charge d'une activité maintenance.

Les profils ingénieurs représentent une part marginale des intervenants en maintenance. Suivant leur positionnement dans la chaîne de valeur des engins, ils peuvent se voir attribuer des périmètres d'intervention maintenance différents.

Ainsi chez les constructeurs, les profils ingénieurs qui interviennent en maintenance sont souvent issus de bureaux d'études R&D / conception. Ils sont les premiers prescripteurs des schémas de maintenance livrés avec des engins neufs pour les clients. Ils peuvent également intervenir en service après-vente que ce soit pour des sujets de mise en exploitation, formation des utilisateurs ou dépannage. Sur la partie dépannage, les ingénieurs n'interviendront qu'en dernier ressort et généralement pour résoudre des pannes complexes qui nécessitent une connaissance avancée de l'ingénierie des engins.

Chez les exploitants et les prestataires, se sont plutôt des hommes méthodes qui contribuent activement à la politique maintenance de l'entreprise. Dans une optique d'amélioration continue, les ingénieurs méthodes sont familiers avec la réalisation d'audits, la mise en œuvre de méthodes de maintenance destinées à optimiser le processus d'amélioration continue dont ils sont également prescripteurs d'outils. Les ingénieurs peuvent être amenés au cours de leur parcours professionnel à gérer des équipes que ce soit dans le cadre d'un bureau d'études, d'un atelier ou d'un projet industriel.

Les chefs d'ateliers

Directement rattachés aux directeurs du matériel ou à la maison mère lorsqu'il s'agit d'un atelier constructeur, ce sont les opérationnels du management maintenance de proximité.

Ils sont nommés pour leurs qualités de leadership mais également parce qu'ils disposent d'une expérience de la maintenance ferroviaire reconnue par tous.

Les chefs d'ateliers contribuent à établir la politique maintenance de l'entreprise et en sont les garants de son application à l'échelle de leur périmètre managérial. Il leur incombe d'organiser les ressources humaines maintenance en pool de compétences pour répondre aux besoins opérationnels du métier.

Leur rôle est avant tout la gestion d'équipes dont ils doivent anticiper les plannings, les besoins en formation en réalisant des évaluations régulières de leurs collaborateurs.

Ils travaillent également en collaboration avec les services RH des entreprises notamment sur les aspects de recrutement de nouveaux collaborateurs et de formation continue des équipes existantes.

Il se doivent de disposer d'une vision assez large de l'activité de leur entreprise pour assurer un service de maintenance qui tiendra compte de l'efficacité économique de sa réalisation.

Ce sont également des gestionnaires qui interviennent sur des aspects stratégiques opérationnels tels que la gestion des stocks de pièces de rechange.

Les chefs d'ateliers peuvent également contribuer aux cahiers des charges, que ce soit dans le cadre de renouvellement d'engins ou dans le rétrofit de ces derniers.

Caractéristiques structurelles du parc d'engins ferroviaires et perspectives d'évolutions technologiques à l'horizon 2030 et au-delà.

Ce chapitre apporte des informations sur la composition structurelle du parc d'engins ferroviaires exploités en France, ainsi que sur les principales tendances d'évolutions technologiques qu'il connaîtra à l'horizon 2030, mais également au-delà.

Il faut en effet comprendre que l'ensemble des projets de l'industrie ferroviaire et plus particulièrement ceux en lien avec les engins, s'inscrit dans des cycles longs qui représentent des durées moyennes d'environ 10 ans et dans un écosystème où les engins cœur de métiers s'exploitent avec des cycles de vie encore plus longs (15 ans à plus de 40 ans suivant les différentes catégories de matériels). La diffusion technologique s'opèrera de manière hétérogène suivant les cycles de renouvellements de matériels, leetrofit restant une activité marginale sur les engins complexes.

Les éléments présentés dans ce chapitre reposent sur la constitution et l'exploitation d'une base de données du parc d'engins des principaux exploitants français. Elle représente plus de 95 % du nombre d'engins exploités sur le territoire. Le différentiel étant détenu dans des micro-flottes de petites entreprises de travaux ferroviaires.

Les tendances d'évolutions technologiques sont des informations issues des entretiens individuels pour le rapport CONVERT auprès de constructeurs d'engins ou de sous-ensembles embarqués, d'exploitants de flottes et de prestataires de services qui interviennent dans l'industrie ferroviaire.

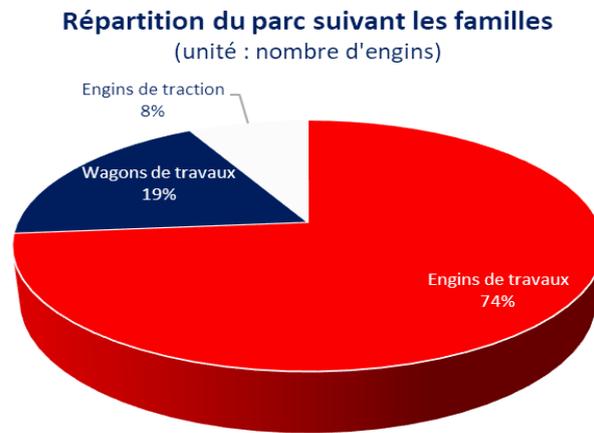
La modélisation du cycle de vie complet du parc actuel a permis de disposer d'une vision à l'horizon 2030 des volumes et des catégories d'engins qui arrivent à leur âge de vie en limite théorique et qui peuvent faire l'objet d'un renouvellement vers des engins de dernières générations qui embarquent un niveau de technologies plus avancé.

Cette projection reste décorrélée de la réalité d'investissement des entreprises exploitantes, laquelle prend en compte un nombre de paramètres plus importants que la seule durée de vie de l'engin. Il n'en demeure pas moins que les engins en fin de cycle de vie feront forcément l'objet d'un renouvellement futur, notamment pour répondre aux exigences de disponibilité opérationnelle tout en optimisant leurs coûts d'entretien.

La projection du parc a également été réalisée à volume d'engins constant s'appuyant sur l'expertise des exploitants qui estiment que compte tenu de l'état actuel de la connaissance, le parc ne devrait pas connaître de réduction ou d'augmentation notable du nombre d'engins en service.

Caractéristiques générales du parc d'engins.

La flotte d'engins de travaux de voies exploitée en France représente un effectif d'un peu moins de 3 000 engins répartis dans les trois familles d'analyse (traction, travaux, wagons).



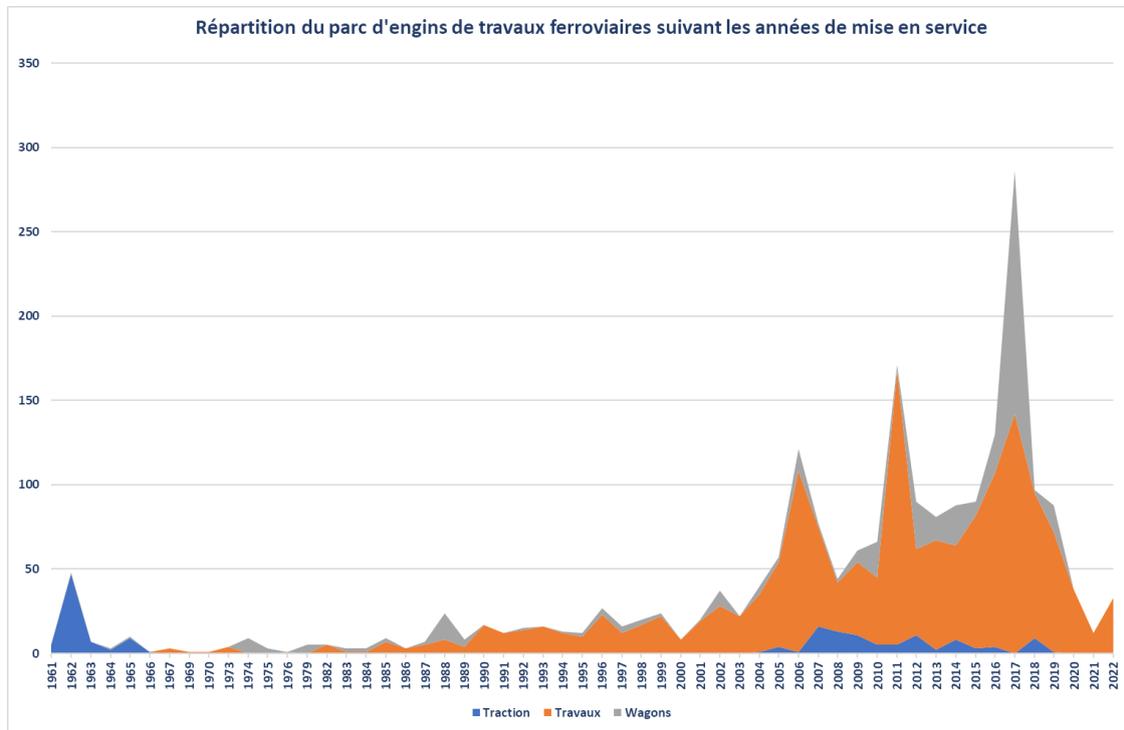
Elle se compose au trois quart d'engins de travaux tous types confondus. 20% du parc est composé de wagons que ce soient des wagons techniques (wagons prévus pour faire des opérations de voie) ou de wagons de fret qui servent à acheminer les matériaux et matériels sur les chantiers. La flotte d'engins de traction représente quant à elle moins de 10% et est composée de locomotives de travaux qui sont motorisées avec des diesels de fortes puissances pour tracter les engins de travaux ou les wagons techniques sur de longues distances.

Famille d'engins	Âge moyen du parc
Engins de travaux	14 ans
Wagons de travaux	14 ans
Engins de traction	34 ans

Source : Valouy Conseil – D'après base de données exploitants.

L'âge moyen du parc (hors engins de traction) est de 14 ans, soit un peu plus récent que la moyenne du parc industriel français total (tous matériels tous secteurs confondus) qui a été estimée à 17 ans en 2019 dans l'étude « La nouvelle industrie française : les leviers pour intégrer l'industrie du futur d'ici 2025 » réalisée par le consortium Alliance Industrie, Symop et GIMELEC.

Mais la moyenne d'âge du parc d'engins de travaux ferroviaires masque d'importantes disparités au sein même des familles d'engins avec des années de mise en service comprises entre 1963 et 2022.



Toutefois le graphique ci-dessus montre que malgré cette forte hétérogénéité entre les dates de mise en service des engins, de 83% d'entre eux ont moins de 20 ans.

Avec un âge moyen de 34 ans, le parc d'engins de traction, exclusivement composé de locomotives diesel, reflète les deux générations qui sont exploitées en France ; celle des années 60 rachetée à la Deutsch Bahn et une flotte plus récente qui date de la période 2005-2010.

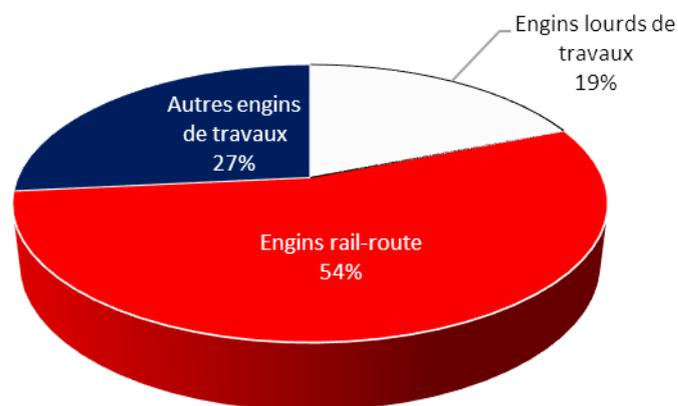
Il n'est pas étonnant que l'âge moyen de ce type d'engins soit plus élevé que celui du reste du parc d'engins. Les locomotives de fortes puissances sont en effet des matériels très robustes conçus pour des durées de vie comprises entre 40 et 60 avec des cycles de maintenance majeurs qui permettent de faire des rétrofits importants. Ce sont des matériels dérivés des locomotives de fret conçues pour tracter des charges beaucoup plus lourdes que les charges de travaux, tout en parcourant des distances bien plus importantes.

Dans l'écosystème des engins, mêmes si les locomotives sont des engins importants, ce sont toutefois des matériels beaucoup moins stratégiques que les engins de travaux ou même certains wagons techniques. Leur usage est principalement celui d'un véhicule utilitaire destiné à amener de la charge sur les chantiers. Même si, de par leur conception, ce sont des engins lourds, les locomotives sont des engins beaucoup plus standardisés, qu'il est possible de substituer facilement en cas de panne notamment parce qu'il existe en Europe plusieurs flottes de loueurs. Ces derniers interviennent principalement dans le monde du fret, mais la plupart d'entre-eux propose une offre de services construite autour des locomotives, dont certaines peuvent être utilisées dans le cadre de la réalisation de travaux ferroviaires.

La flotte d'engins de travaux.

Le parc d'engins de travaux qui compte près de 2 000 engins se compose pour plus de sa moitié d'engins rail-route. Cette famille est la plus nombreuse en volume et la plus courante en renouvellement, car ce sont des engins qui offrent une polyvalence de tâches sur les chantiers, que l'on pense à des opérations de terrassement, d'interventions en hauteur sur les caténaires, de manipulation de charges et autres interventions courantes dans les travaux ferroviaires. De conception légère, ils sont moins robustes que des engins lourds et doivent donc être renouvelés plus souvent selon l'intensité de leurs usages.

Répartition du parc d'engins de travaux suivant les sous-familles
(en unités d'engins)



Source : Valouy Conseil d'après parcs exploitants (données 2022).

Les engins lourds de travaux représentent 20% du nombre d'unités d'engins, mais 85% de l'intensité capitalistique de la flotte. En tant qu'outils cœur de métier, c'est la sous-famille la plus stratégique pour les exploitants, car la quasi unicité de chaque engin leur confère un niveau de criticité important du point de vue maintenance. En effet, même si le taux d'usage de ces engins n'est pas forcément régulier et lissé dans le temps, ils doivent être en conditions de fonctionnement optimums lorsqu'ils sont sollicités sur un chantier. Leur entretien doit être aussi bien formalisé en préventif qu'optimisé pour intervenir en correctif lorsqu'une panne survient en exploitation.

Enfin les autres engins de travaux sont plus complexes à appréhender car c'est un ensemble très hétérogène dans lequel on va trouver des spécialités d'engins conçus pour réaliser de la télémétrie des voies, des opérations d'entretien (lavage, désherbage, débroussaillage, déneigeage,...), chargeurs de matériaux et autres véhicules spéciaux. Près de deux fois moins nombreux que l'ensemble des engins rail-route, leur flotte a une valeur à neuf qui est 25% supérieure à celle de l'ensemble de ces derniers.

Données structurelles sur la flotte d'engins de travaux.

La flotte d'engins de travaux se compose d'un ensemble de moyens hétérogènes qui permettent de réaliser l'ensemble des opérations de travaux de voies, que l'on fasse référence à des chantiers de régénération de faisceaux existants ou à la création de nouvelles voies ferrées.

Les engins de travaux se décomposent en trois sous-familles dont les enjeux en termes d'évolution sont très différents.

- **Les engins lourds :** Il a déjà été précisé que cette famille avait une forte intensité capitalistique par unité et que chaque unité d'engin relevait presque du prototype. Avant leur mise en service, les engins doivent obtenir leurs agréments de circulation et de travaux. Ce dossier technique très pointu et complexe est une procédure obligatoire mais qui génère des coûts substantiels pour l'exploitant de l'engin. De fait, les exploitants sont peu enclins à conduire des campagnes de retrofit sur ce type de famille car les frais techniques qui en résulteraient impacteraient négativement le taux de rentabilité économique de l'engin, car, il est utile de le rappeler les marchés de travaux de voies sont des marchés où les taux de marge sont parmi les plus faibles comparé à l'ensemble de l'industrie. Compte tenu de ces éléments, les engins lourds ne font pas l'objet de retrofit majeur au cours de leur cycle de vie car la rentabilité financière de ce type de projet n'est pas suffisamment concurrentielle avec l'acquisition d'un engin neuf. C'est surtout la partie haute de l'engin (superstructure) qui peut faire l'objet de modifications substantielles, mais généralement ce type de modification n'apporte pas de saut technologique majeur, tant leur conception générale est complexe.
- **Les engins rail-route :** A la différence des engins lourds, les engins rail-route sont pour la plupart produits en petite ou moyenne série et dispose de durées de vie théoriques plus courtes que les gros engins. De part leur renouvellement plus rapide, ils intègrent plus rapidement de nouvelles technologies lesquelles peuvent induire des ruptures dans les procédures de maintenance. C'est également une famille d'engins qui par son volume bénéficie d'un service après-vente des constructeurs plus étoffé.
- **Les engins spéciaux :** Comme ces derniers, cette catégorie d'engins ne connaît que très peu d'évolutions au cours de son cycle de vie car ce sont quasiment des prototypes qui ont été agréés par les autorités ferroviaires. Ils se comportent donc pour la plupart d'entre eux comme la famille des engins lourds et la diffusion technologique se fait plus par le renouvellement des unités de flotte que par le retrofit des unités.

Tendances d'évolution à l'horizon 2030

Les échanges avec différents experts de l'écosystème des engins de travaux de voies ont permis de comprendre que la diffusion technologique qui impactera les métiers de la maintenance se fera essentiellement avec le renouvellement progressif de la flotte existante.

Ces entretiens ont également permis de valider l'hypothèse du scénario tendanciel qui est qu'à l'horizon 2030, la conception des nouvelles générations d'engins de travaux ferroviaires, quelque soit leur famille d'appartenance, sera conditionnée par la diffusion de deux tendances technologiques majeures :

- **L'électrification** : Que l'on parle de motorisation ou de sous-ensemble machine, la conception électrique est en passe de se substituer progressivement aux conceptions anciennes basées essentiellement sur le thermique pour la motorisation et sur des organes mécano-hydrauliques en grande majorité.
- **La digitalisation** : Cet ensemble de nouveaux outils va permettre de faire évoluer les procédures de maintenance actuelle vers une maintenance beaucoup plus efficace, avec des interventions plus chirurgicales, ce qui présente de nombreux avantages tant dans l'optimisation de la gestion économique, technique, qu'humaine. La digitalisation est notamment à court terme l'un des vecteurs pour pallier partiellement le manque de main d'œuvre qualifiée dans la filière.

Les cycles de renouvellement des engins de travaux sont dépendants de plusieurs paramètres. La durée de vie des engins n'étant qu'un indicateur estimé par le constructeur à partir de données empiriques issues de ses précédentes constructions et de sa capacité à fournir des pièces de rechange et l'ingénierie nécessaire à sa maintenabilité.

Mais la durée de vie réelle qui va conduire un engin vers un renouvellement de nouvelle génération dépend de plusieurs autres facteurs :

- **L'intensité d'usage** : Un engin peu utilisé pourra avoir une durée de vie beaucoup plus longue que sa durée de vie théorique ; elle peut jusque dans certains cas marginaux doubler ou tripler. Son renouvellement se fera suivant l'arbitrage de ses coûts d'exploitation versus les gains de productivité générés par l'acquisition d'un engin de dernière génération. Dans d'autres cas encore, c'est par défaut de réparabilité que la bascule se fera, il peut en effet exister des cas de figures où c'est le manque de pièces de rechange ou le manque de compétences spécialistes qui obligent l'exploitant à opter pour une nouvelle version de l'engin.
A contrario, si l'engin est fortement sollicité tout au long de son cycle de vie, il peut faire l'objet d'une usure prématurée et être renouvelé plus rapidement si ses coûts de maintenance et d'exploitation sont supérieurs à ceux d'un modèle plus récent.

- **Les stratégies d'investissement des exploitants :** D'une manière générale, les exploitants sont des acteurs économiques rationnels qui vont opérer des investissements productifs pour pérenniser leurs marchés existants et en développer des nouveaux. Plus les probabilités d'opportunités sont importantes et plus la visibilité du carnet de commandes sera lointaine, plus il y a de chances que les exploitants améliorent la qualité de leur parc pour assurer la meilleure rentabilité économique des chantiers. A contrario dans des phases de conjoncture incertaine, les détenteurs de parcs seront enclins à adopter des profils risquophobes limitant leurs investissements de renouvellement à celui strictement nécessaire aux besoins opérationnels du moment.

Indépendamment de ces facteurs principaux, plusieurs autres facteurs peuvent accélérer ou freiner le renouvellement de flottes chez les constructeurs, comme par exemple les évolutions de la réglementation ferroviaire qui peuvent être des incitateurs à investir.

Cycle théorique de renouvellement

Le parc d'engins de travaux exploités en France se situe dans une moyenne comprise entre 13 et 16 ans suivant la catégorie d'engins.

Famille d'engins	Âge moyen du parc
Engins lourds	16 ans
Engins rail-route	13 ans
Engins spéciaux	14 ans

Avec un âge moyen de 13 ans, le parc d'engins rail-route est celui dont l'obsolescence est la plus rapide car c'est une famille d'engins qui a une durée de vie moyenne d'environ 20 ans. Cette famille représente également les plus gros volumes d'engins en termes d'unités de production.

Avec des moyennes d'âge légèrement supérieures, les flottes d'engins lourds et d'engins spéciaux peuvent être considérées comme un parc plus jeune que celui des engins rail-route car la durée de vie est plus longue, s'échelonnant dans des durées comprises entre 20 et 30 ans.

Pour déterminer les évolutions et les besoins futurs en termes de compétences métiers et formations maintenance vis-à-vis des engins de travaux, une projection du parc d'engins a été réalisée à l'horizon 2030 (horizon de l'étude) et au-delà pour modéliser un cycle de vie complet

du parc actuel. Cette photographie statistique restitue une vision pertinente des matériels susceptibles d'être renouvelés au cours des prochaines années.

La mise en perspective de cette projection avec la diffusion technologique dans la filière a permis de déterminer les principales caractéristiques qui vont évoluer sur les engins.

Le chapitre qui suit présente les impacts qui devraient en résulter en termes de métiers et compétences maintenance.

La modélisation a segmenté les cycles de vie en 5 périodes qui permettent de déterminer pour chacune les catégories d'engins en fin de vie.

La première information importante qu'il en résulte est que d'ici 2032, 75% du parc actuel aura atteint sa durée de vie théorique et pourra donc faire l'objet d'un renouvellement suivant les arbitrages économiques des exploitants. Compte tenu de la taille d'investissements qu'il serait nécessaire de réaliser, il est peu probable que les 2/3 du parc soient renouvelés à l'horizon 2030, mais le caractère théorique de la projection apporte toutefois la vision la plus cohérente pour mettre en perspective engins et technologies.

Les résultats de cette modélisation sont présentés dans les tableaux ci-dessous

Projection du parc d'engins de travaux à l'horizon 2030

Engins ayant dépassé la durée théorique de leur cycle de vie (age moyen et nombre)			% du parc	
Autres engins de travaux	Draisine	1977	15	8%
	Engins spéciaux	1995	40	37%
	Portiques /grues	1990	7	6%
Engins lourds de travaux	Bourreuses	1990	3	2%
	Dégarnisseuses	1995	1	14%
	Régaleuses	1995	3	9%
	Stabilisateurs de ballast	1984	3	25%
	Trains de travaux	1993	9	10%
Engins rail-route	Engins caténaires	1998	67	17%
	Engins rail-route	2001	56	13%
Total			326	21%

Engins atteignant la durée théorique de leur cycle de vie (age moyen et nombre)			% du parc	
Autres engins de travaux	Draisine	1994	12	6%
	Engins spéciaux	2009	15	14%
	Portiques /grues	2004	15	14%
Engins lourds de travaux	Bourreuses	1994	46	30%
	Régaleuses	1997	6	19%
	Stabilisateurs de ballast	1994	2	17%
Engins rail-route	Engins caténaires	2009	276	68%
	Engins rail-route	2010	90	21%
Total			462	30%

Engins atteignant la durée théorique de leur cycle de vie à l'horizon 2032 (age moyen et nombre)			% du parc	
Autres engins de travaux	Draisine	2000	28	15%
	Engins spéciaux	2015	34	32%
	Portiques /grues	2011	17	15%
Engins lourds de travaux	Bourreuses	2000	17	11%
	Dégarnisseuses	2007	1	14%
	Régaleuses	2004	7	22%
	Trains de travaux	2009	46	52%
Engins rail-route	Engins caténaires	2016	27	7%
	Engins rail-route	2015	201	46%
Total			378	24%

Source : Valouy Conseil d'après exploitation base de données exploitants

Les trois tableaux ci-dessus apportent les enseignements suivants :

- 21% du parc d'engins de travaux a déjà atteint un niveau d'obsolescence supérieur à celui estimé par les constructeurs à fin 2022 ;
- 30% d'engins supplémentaires vont connaître une obsolescence théorique d'ici 2027 ;
- Et 24% de plus du patrimoine d'engins aura atteint cette obsolescence théorique d'ici 2032.

A fin 2032, c'est donc 75% du parc d'engins qui est susceptible de faire l'objet de renouvellements d'unités de flotte. Bien entendu comme l'a déjà souligné ce rapport, ce chiffre ne reste qu'un indicateur théorique sur l'obsolescence du parc et seule une fraction des engins obsolètes fera réellement l'objet d'un renouvellement en fonction des arbitrages stratégiques des exploitants. Mais indépendamment de la fréquence de renouvellement, l'avantage de la projection a été d'apporter une vision détaillée sur les types et les volumes d'engins qui devront tôt ou tard être renouvelés, ce qui permet de les mettre en perspective avec les évolutions technologiques qui sont ou seront embarquées sur les nouvelles générations d'engins.

Ainsi, pour le scénario d'évolution des engins de travaux, il ressort les éléments suivants :

- Les volumes les plus importants d'engins qui arrivent en obsolescence théorique concernent les engins rail-route dont 91% de la flotte d'engins caténaires et 79% de la flotte des autres types d'engins déraillables tels que les pelles ou les nacelles rail-route par exemple. Ces deux familles d'engins sont assez similaires dans leur cycle de vie technologique même si les organes de travail sont différents suivant la destination d'usage de l'outil.

Jusqu'à présent, les générations exploitées dans les parcs sont basées sur des motorisations thermiques et des sous-ensembles essentiellement mécano-hydrauliques. Mais depuis la prise de conscience environnementale et également pour des raisons technico-économiques, les constructeurs ont amorcé un virage technologique dont la diffusion va se faire de plus en plus rapidement. En effet, comme il a été déjà mentionné, ces deux familles d'engins sont des adaptations d'outils communs dans le monde du BTP et de l'énergie qui sont produits en petites, moyennes, voire grande séries pour certains. Les engins conçus pour les travaux de voies bénéficient donc plus rapidement des évolutions technologiques que d'autres catégories d'engins qui n'existent que dans l'écosystème des travaux ferroviaires.

Depuis plusieurs années déjà les constructeurs offrent des motorisations toujours diesel mais adaptées à l'usage de biocarburants moins polluants et plus rentables pour les exploitants, mais cette évolution n'a qu'une incidence très marginale sur les métiers de la maintenance car la conception des motorisations reste quasi identique à celle des motorisations thermiques qui fonctionnent avec des combustibles à base de produits pétroliers.

Dans les années à venir, l'offre déjà existante de motorisations tout-électriques va encore s'étoffer pour devenir majoritaire très vraisemblablement autour de 2035. Elle va toucher tous les segments de puissance et toutes les catégories d'engins et devrait

s'imposer comme un standard d'ici 2045 (suppression définitive de l'offre thermique). Entre les deux périodes, une offre de matériels hybrides pourrait également progresser. Tirée essentiellement par l'écosystème des tunneliers, ce type de technologie permet de disposer à la fois d'autonomie et de puissance tout en pouvant basculer d'une motorisation thermique à une motorisation électrique dans des phases de travaux souterrains où les émissions de gaz d'échappement se font en atmosphère confinée avec les risques qui en résultent pour la santé des intervenants.

Concernant les aspects technologiques en lien avec les organes de travail, on note déjà une forte progression de l'électronique et des sous-ensembles qui deviennent de plus en plus électromécaniques que mécano-hydrauliques. Ces évolutions s'accompagnent également d'une croissance et d'une dominance de l'instrumentation digitale qui vient se substituer aux outils analogiques des générations précédentes. Ce sont des engins qui deviennent de plus en plus communicants et qui permettent de relever beaucoup plus de données de fonctionnement qu'auparavant.

Les constructeurs profitent d'ailleurs de ce saut technologique pour adosser aux ventes de ce type d'engins une offre de services (souvent optionnelle) pour monitorer les engins et assurer une maintenance plus optimisée en tenant compte des nombreuses données disponibles qu'il sait transmettre.

- 93% de la flotte d'engins spéciaux aura atteint son obsolescence théorique d'ici 2032. Il est compliqué d'anticiper quelles seront les futures évolutions technologiques embarquées sur les renouvellements tout comme la fréquence à laquelle sera renouvelée ce type de matériel car comme indiqué par leur dénomination ce sont des engins très particuliers parfois des prototypes conçus spécifiquement pour un usage précis, souvent en collaboration avec le bureau d'étude du futur exploitant. Mais quoiqu'il en soit nous retiendrons pour le scénario tendanciel que ces équipements sont conçus à partir de technologies éprouvées par l'industrie ferroviaire et qu'ils vont suivre les mêmes tendances que les autres engins que l'on parle d'électrification ou de digitalisation.

Compte tenu des aléas conjoncturels qui résultent des chocs exogènes depuis 2020, on imagine également que seuls les engins critiques pour la production seront renouvelés. Le cycle de vie du parc devrait encore s'échelonner sur de longues années car la spécificité de ce type de d'engins en fait également des moyens qui sont moins souvent sollicités que les moyens courants. Si on parle par exemple des engins chasse-neige rail, ce sont typiquement des outils qui peuvent devenir stratégiques dans des conditions hivernales rigoureuses, mais qui pourront également rester plusieurs années sans intervenir sur les réseaux ferrés. Le taux de renouvellement annuel est donc soumis à différentes contraintes difficilement quantifiables ou qualifiables.

- Enfin c'est environ 50% de la flotte d'engins lourds qui atteindra son seuil d'obsolescence théorique d'ici 2032. Même si les catégories engins diffèrent complètement du point de vue de leur superstructure, elles suivent les mêmes règles et tendances d'évolutions technologiques dans leur conception générale.

L'électrification des motorisations ne sera que très marginale à l'horizon 2030 et ne devrait pas du tout concerner le parc français. Les engins lourds sont, comme leur nom l'indique, des engins qui sont déjà conçus proche des limites de charges pour circuler sur les réseaux ferroviaires et la substitution des motorisations thermiques par des motorisations tout électriques mettra encore plusieurs décennies avant de se concrétiser, et cela pour différentes raisons.

D'une part, le développement actuel en recherche et développement autour d'une motorisation électrique connaît encore des difficultés en termes de rendements attendus, mais tous les constructeurs sont unanimes pour dire que ce frein devrait être levé d'ici 2030. En revanche, le problème majeur vis-à-vis du tout électrique reste celui des infrastructures d'approvisionnement en énergies qui sont pour l'instant très marginales dans le milieu industriel ferroviaire avec la complexité d'en développer un maillage adéquat pour permettre aux engins d'opérer partout sur le territoire y compris en zone blanche.

D'autre part, ce type d'évolution majeure devra faire l'objet d'une certification ferroviaire pour être utilisé sur le réseau ce qui est généralement une démarche déjà longue et coûteuse pour les exploitants et qui le deviendrait encore plus avec des nouvelles générations d'engins qui intègrent des technologies non encore standards dans l'écosystème ferroviaire. Il faudra encore attendre de nombreuses années avant de voir des engins avec des motorisations tout électriques. Dans l'intervalle, émergeront des engins dits « bi-modes », que l'on parle de bi-mode caténaire avec un pantographe pour circuler sur les réseaux électrifiés ou de bi-mode batterie un peu sur le principe des véhicules hybrides tels que l'on peut les trouver dans le secteur de l'automobile.

Les engins bi-modes commencent à émerger en Europe, mais ils restent extrêmement marginaux. On peut notamment en trouver en Allemagne, en Suisse et en Italie par exemple.

Le mode bi-mode caténaire n'a qu'un intérêt limité pour les exploitants, en effet, son usage est limité à des tronçons de voies électrifiés et où la caténaire est connectée. Ce qui limite l'usage de ce mode de traction uniquement aux déplacements des engins sur le réseau car la plupart du temps, soit les engins interviennent dans des zones de chantier où la caténaire a été déconnectée pour la sécurité des intervenants ou simplement parce que la zone de travaux est localisée dans une zone non électrifiée. Les engins parcourent généralement peu de kilomètres comparé à des engins de transports voyageurs ou fret, de fait l'essentiel de la consommation énergétique se fait pendant les temps d'exploitation de l'engin en chantier. Lorsque on ajoute le surcoût pour basculer vers ce type de technologies, il n'y a plus d'intérêt technico-économique pour les exploitants d'investir.

Concernant les engins bi-modes batterie, il y a encore une phase de recherche et développement à conduire pour aboutir à un prototype. Les engins lourds sont déjà des engins en limite de charge et il est pour l'instant techniquement compliqué de concilier un moteur thermique et des batteries sur un même engin sans l'alléger par ailleurs. Or, compte tenu de la réglementation ferroviaire, ce type de projet s'inscrit dans des cycles longs (à minima 15 ans) pour aboutir à des générations d'engins exploitables en chantier.

Quoiqu'il en soit, les premières générations souffriront également d'un manque de compétitivité financière pour amortir l'investissement. Une analyse des surcoûts induits est présentée dans la suite de ce rapport.

Finalement c'est une génération d'engins qui va encore fonctionner longtemps avec une motorisation thermique. Mais ce n'est pas pour autant que la technologie ne se diffusera pas sur ce type de machines.

En effet ces dernières sont toutes construites suivant le même modèle d'ingénierie, à savoir une superstructure conçue pour un ou plusieurs types de travaux de voies montée sur des bogies ferroviaires spécifiques à la charge lourde et à d'autres contraintes de travaux.

La partie superstructure est au cœur des métiers stratégiques pour les exploitants de ce type d'engins. Avec les contraintes exogènes qu'ils subissent dans leur écosystème, ils seront attentifs à renouveler les engins vers des générations qui proposeront des gains de productivité rapidement quantifiables pour assurer un meilleur retour sur investissement. Il s'agira d'avoir des engins toujours plus efficaces en termes de consommation énergétique, de productivité à la tâche, de fiabilité et de coûts de maintenance.

Ainsi, de l'avis des experts du secteur, on devrait assister au fil du renouvellement des générations à une percée croissante de sous-ensembles électromécaniques en remplacement des technologies hydrauliques. Ces dernières, si elles permettent de développer une forte puissance de motricité mécanique posent de nombreux problèmes de fiabilité notamment en raison des réseaux de fluides qu'elles nécessitent avec toutes les pannes et fuites qu'elles engendrent de part la présence importante de flexibles qui sont conçus comme des pièces d'usure. L'avantage d'un sous-ensemble électrifié, indépendamment du fait qu'il ne nécessite pas de fluide, est qu'il simplifie l'architecture générale de l'engin libérant de la place pour installer d'autres technologies.

L'électronique occupe également une place de plus en plus importante dans la conception des engins. Elle se substitue progressivement à tous les équipements mécaniques et analogiques nécessaires pour interagir avec les organes de fonctionnement d'un engin. L'automatisme permet de paramétrer plus simplement et plus efficacement chaque sous-ensemble qui le nécessite, cette informatique industrielle apporte également un niveau de fiabilité supplémentaire en permettant de sauvegarder les profils configurés tout en permettant de collecter des données de fonctionnement pour mieux comprendre et anticiper les pannes matérielles. Mais

pour l'instant le marché de l'automatisme sur engins ferroviaires est encore très contraint par les constructeurs qui pour des raisons de propriété intellectuelle peinent à ouvrir plus leurs systèmes à leurs clients.

A l'horizon 2030 les engins lourds feront également l'objet d'une instrumentation digitale plus poussée. La démocratisation des capteurs et balises IoT (Internet of Things : Internet des objets) de plus en plus miniaturisés, sécurisés et sans fils, vont progressivement permettre d'instrumenter les flottes avec ces nouveaux outils.

Compte tenu de la flexibilité de ce type de solutions, il n'est pas exclu que ces outils se déploient également sur la flotte plus ancienne, d'autant que plusieurs exploitants explorent déjà la capacité de ces nouvelles méthodes de travail en initiant des POC (Prove Of Concept : projet pilote en français).

Enfin, et c'est l'un des sujets majeurs pour l'avenir d'une maintenance plus efficiente dans l'écosystème des engins, compte tenu de toutes ces évolutions technologiques, il va falloir que les jumeaux numériques des engins (maquette numérique qui contient tous les plans, schémas et données relatifs à l'ensemble des composants d'un engin) se standardisent et soient livrés avec l'engin.

Les jumeaux numériques sont des nouveaux outils digitaux très puissants. Ils permettent non seulement d'avoir une information visuelle digitale complète de l'engin couplée à des bases de données, que ces dernières soient techniques (pour décrire et caractériser les composants) ou empiriques (bases de données qui historisent tous les paramètres de fonctionnement de l'engin au cours de son cycle de vie). Ils permettent également de mettre en œuvre plus simplement une politique de maintenance prévisionnelle (predictive maintenance), puisque les ressources digitales étant illimitées, les possesseurs d'engins peuvent ajouter des bases de données complémentaires orientées métiers. Dans le cas de la maintenance il s'agira à la fois d'utiliser les jumeaux numériques comme base à des sujets tels que :

- **La maintenance préventive** : Il est possible de digitaliser les gammes de maintenance pour les utiliser de manière plus efficace, en réalité virtuelle mixte par exemple ou dans le cadre d'un service de télémaintenance.
- **La maintenance corrective** : Avec des jumeaux numériques, les détenteurs d'engins peuvent réaliser différentes simulations à partir de données empiriques pour mieux comprendre les pannes afin de les anticiper ou d'en optimiser la résolution en mettant en œuvre des interventions de maintenance basées sur la connaissance, donc beaucoup plus chirurgicales et par la même efficientes.
- **La formation spécifique** : Les maquettes numériques sont des atouts certains pour développer des formations parfaitement adaptées aux besoins des entreprises. Que ce soit dans le cadre de la formation continue ou de la formation initiale.

Pour de la formation continue, chaque entreprise qui dispose de jumeaux numériques de ses engins va pouvoir les utiliser pour développer des enseignements sur mesure et parfaitement adaptés aux besoins de l'entreprise, conjugant des techniques de réalité virtuelle mixte, des données empiriques et des données techniques.

Dans le cas de la formation initiale, tous les organismes qui dispensent de la formation maintenance sur les engins, qu'ils soient publics ou privés, devraient pouvoir disposer de maquettes génériques orientées enseignement initial pour familiariser leurs élèves avec des engins de grandes tailles qui sont rarement accessibles pour des ateliers écoles. L'avantage de disposer d'une bibliothèque numérique d'engins sera non seulement de pouvoir dispenser un enseignement plus précis et plus efficient sur toutes les catégories d'engins, mais surtout de pouvoir faire évoluer cette bibliothèque pour disposer des versions d'engins qui sont utilisées de manière opérationnelle par les exploitants.

Outre le fait que les engins lourds-école sont très marginaux, ce sont généralement des matériels déclassés et donc partiellement obsolètes par rapport aux engins qui existent dans la flotte opérationnelle.

La modélisation du cycle du parc a également pris en compte une projection des engins de traction et des wagons techniques. Si ces deux familles sont moins stratégiques que les engins de travaux, elles vont tout de même connaître des évolutions suffisamment importantes pour impacter leurs méthodes de maintenance.

La projection de l'obsolescence du parc à l'horizon 2030 est présentée dans les tableaux ci-après.

Projection des parcs de locomotives et de wagons à l'horizon 2030

Engins ayant dépassé la durée théorique de leur cycle de vie (age moyen et nombre)				% du parc	
Locomotives de travaux	Locomotive de travaux	1963	71	43%	
Wagons Techniques	Lorry	1997	3	4%	
	Wagon spécialisé	1982	48	35%	
Total			122	32%	

Engins atteignant la durée théorique de leur cycle de vie (age moyen et nombre)				% du parc	
Wagons Techniques	Lorry	2005	22	28%	
	Wagon spécialisé	1995	7	5%	
Total			29	8%	

Engins atteignant la durée théorique de leur cycle de vie à l'horizon 2032 (age moyen et nombre)				% du parc	
Wagons Techniques	Lorry	2011	18	23%	
	Wagon spécialisé	2001	10	7%	
Total			28	7%	

Source : Valouy Conseil d'après exploitation base de données exploitants

Le premier enseignement de cette projection est que dans ces deux familles, beaucoup moins de matériels atteindront leur seuil d'obsolescence à l'horizon 2030.

Les locomotives de travaux sont des engins particuliers avec un écosystème qui leur est propre. Dérivées des locomotives de fret, elles disposent d'une motorisation diesel de moins forte puissance que celles qui tractent des wagons de marchandises.

Ce sont des engins dont les durées de vie minimales sont prévues pour au moins 40 années d'exploitation. En France, la flotte actuelle est constituée de deux générations.

La première date des années 60 et provient en grande partie d'un rachat de flotte à la Deutsche Bahn et elle est essentiellement composée de matériels en provenance de constructeurs tels que MAK, THYSSEN, KRUP ESSEN.

C'est une flotte qui arrive en fin de vie et dont le renouvellement devrait se faire d'ici 2030. En comparaison du marché des locomotives de fret, le marché des locomotives de travaux reste marginal car les volumes commercialisés sont plus beaucoup plus faibles.

La taille du marché français des locomotives de travaux est trop petite pour que les exploitants puissent imposer leur cahier des charges aux constructeurs, ces derniers préférant traiter des grosses commandes. Il ressort ainsi des entretiens que pour que les constructeurs acceptent de lancer une production de locomotives de travaux, il faudrait a minima un carnet de commandes d'au moins 50 unités. Un achat groupé

entre les différents exploitants serait donc une option si chacun n'arrivait pas à renouveler son parc individuellement.

La seconde génération de locomotives a un âge moyen de 13 ans, ce qui pour ce type de matériel représente un parc encore jeune. Il ne présente aucun enjeu d'ici 2030 puisque les engins ne connaîtront aucune modification importante d'ici là et que son renouvellement ne s'envisagera pas avant 2050.

Côté innovation technologique, il n'y a pas d'évolutions majeures à attendre à l'horizon 2030.

D'une part si les exploitants n'arrivent pas à s'entendre avec les constructeurs pour lancer un programme de constructions neuves, ils vont se tourner vers le marché de l'occasion pour satisfaire les besoins opérationnels et les engins qui rentreront dans les flottes seront des engins d'ancienne génération avec des conceptions relativement similaires à celles qui existent actuellement.

D'autre part, à l'horizon de l'étude, il y aura peu de modifications sur les locomotives de travaux. Bien entendu, ces dernières vont connaître une diffusion plus importante de l'électronique et de l'automatisme dans leur conception générale, mais leurs motorisations resteront thermiques.

Les locomotives à motorisation tout électriques commencent à arriver dans les catalogues d'offres des constructeurs, mais ce sont uniquement des engins dédiés à l'écosystème du fret. Il faudra attendre encore plusieurs années avant d'avoir une offre standardisée dédiée à l'écosystème des travaux ferroviaires.

Néanmoins l'arrivée de ces locomotives de fret nouvelle génération aura un impact sur certains prestataires, il s'agit notamment des filiales des constructeurs présentes en France et qui proposent une offre de services spécialisés pour les locomotives dont les services de maintenance. Comme les locomotives à motorisation électrique vont circuler sur le réseau français, il est donc envisageable qu'elles fassent également l'objet d'entretien et/ou réparations sur le territoire français. Mais ce seront essentiellement des opérations réalisées par des spécialistes formés directement par les constructeurs.

La famille des wagons présente globalement encore moins d'enjeux stratégiques d'ici 2030.

Les wagons sont assimilables aux utilités industrielles telles que l'on peut les définir dans l'industrie.

On distingue 3 sous-familles de wagons :

- **Les lorrys** qui sont des wagons techniques permettant de manipuler de la charge pendant des phases de travaux. Les lorrys sont motorisés pour assurer des déplacements autonomes sur un chantier, mais la puissance de leur moteur est dimensionnée pour des déplacements courts. Une fraction d'entre eux dispose déjà d'un moteur électrique car comme ils peuvent être utilisés dans des travaux en tunnel, ils ont été électrifiés pour ne pas dégager d'émissions thermiques en milieu confiné.

- **Les wagons techniques** : Les wagons techniques sont des outils conçus pour un usage particulier. On peut par exemple trouver des wagons désherbeurs, de lavage de rail, de télémétrie du rail etc.
C'est une famille d'équipements hétérogènes avec des cycles de renouvellement qui le sont tout autant. Même si près de la moitié de la flotte aura atteint la fin de son cycle de vie théorique, ce sont des engins qui peuvent rester encore longtemps dans les flottes des exploitants car ils ne sont pas d'usage intensif.

- **Les wagons de fret** : Ce sont des équipements très robustes exclusivement dédiés à du transport de charge que l'on fasse référence à des matériaux de chantiers, à des outillages ou encore à des engins qui doivent être tractés pour circuler. Ils ont des durées de vie longues et ne sont pas très coûteux en entretien comparés aux autres familles de matériels de l'écosystème des travaux de voies. Leur kilométrage annuel reste faible par rapport à celui des wagons de fret de transport de marchandises. Cette catégorie ne représente donc aucuns enjeux spécifiques du point de vue maintenance et formation associée.

Principaux enjeux et tendances en lien avec l'évolution du parc d'engins

Comme il a été mentionné dans les chapitres précédents de ce rapport, les cycles théoriques de vie ne sont qu'un indicateur sur la vétusté et la durée réelle de vie des engins au sein de la flotte d'un exploitant. Aussi, pour affiner le scénario tendanciel, il était utile d'explorer lors des entretiens individuels avec les acteurs de l'écosystème d'autres facteurs qui seraient susceptibles d'engendrer une évolution des métiers de la maintenance.

Les principaux facteurs retenus sont les suivants :

- **Évolutions règlementaires** : Deux évolutions majeures de la réglementation vont impacter l'évolution des compétences maintenance.
 - **L'ERTMS (European Rail Traffic Management System)** : Ce nouveau système de gestion du trafic ferroviaire européen permet un contrôle beaucoup plus avancé de la circulation ferroviaire. Actuellement en cours de déploiement, il va progressivement se substituer à l'ancienne génération d'ATP (système de protection des trains).

Outre le fait que ce système assure une interopérabilité entre tous les réseaux ferrés des pays européens, il permet de collecter plus de données en temps réel pour optimiser la sécurité des réseaux ferroviaires. C'est une évolution générationnelle majeure bâtie sur des outils digitaux et des nouveaux matériels de sécurité.

A terme, ce système sera embarqué sur tous les matériels roulants et donc sur les engins de travaux de voies. L'ensemble des personnels d'exploitation et de maintenance devra être formé à son usage et sa maintenance, d'autant qu'il fait partie des systèmes critiques embarqués sur un matériel roulant.

- **Le DAC (Digital Automatic Coupling)** : Déjà largement utilisé sur le continent américain, ce nouveau système d'attelage est partiellement déployé en Europe, notamment sur des trains de transport de voyageurs. Avec l'évolution de la réglementation ferroviaire, il devrait être adopté comme une norme d'ici 2030 et progressivement faire l'objet d'un déploiement dans les différents parcs d'engins.

Il intéresse en premier lieu les professionnels du fret, auxquels il doit faire gagner des points de productivité en simplifiant et automatisant la gestion des couplages de wagons et de locomotives.

L'écosystème des engins de travaux de voies devrait être parmi les derniers à adopter cette technologie car il n'y a ni enjeux ni intérêts, qu'ils soient financiers, économiques ou techniques. En effet contrairement à des trains de voyageurs ou de marchandises qui nécessitent des reconfigurations rapides pour parcourir chaque année des millions de kilomètres, le monde de travaux

reste très modeste que ce soit en reconfiguration de convois ou kilomètres parcourus.

En revanche le DAC aura un impact sur l'ensemble de l'écosystème maintenance ferroviaire. En premier lieu, il va cannibaliser des ressources maintenance pour convertir les flottes existantes.

Même si ce programme industriel va s'étaler sur plusieurs années, il impose à un exploitant de convertir l'ensemble de sa flotte sur une même période car le DAC n'est pas intéropérable avec l'ancien système de couplage mécanique.

Mais c'est également une source d'opportunité pour les prestataires de services en maintenance d'engins que ces derniers soient constructeurs ou maintenanciers spécialistes du ferroviaire (certains exploitants d'engins de travaux pouvant proposer ce service dans leur palette d'offres à des clients tiers).

Or comme les métiers de la maintenance, quel qu'ils soient, sont des métiers qui manquent de main d'œuvre qualifiée, il devient urgent pour toute la filière maintenance de développer à la fois son attractivité pour recruter des nouveaux collaborateurs, et des formations adaptées aux évolutions technologiques, le DAC et l'ERTMS en étant une illustration pour la filière ferroviaire.

- **Crises, conjoncture et impacts structurels** : Les années actuelles montrent un monde qui se reconfigure rapidement avec des effets conjoncturels plus marqués. Le changement climatique impose une transformation mondiale des modes de vie pour s'adapter. La crise sanitaire et la situation géopolitique instable engendrent des déséquilibres énergétiques et des dysfonctionnements industriels qui génèrent des phénomènes d'inflation dans des contextes de grognes sociales qui touchent plusieurs pays européens. Ces chocs exogènes que subissent les économies mondiales démontrent encore une fois à l'instar des précédentes grandes crises mondiales, que ces bouleversements sont toujours à l'origine de l'accélération du progrès et de la technologie en tâche de fond et qu'il en résulte systématiquement une phase de croissance économique dynamique qui permet de reconfigurer les grands équilibres économiques. Ainsi la transition énergétique à marche forcée devrait notamment redonner à terme, une place d'honneur à la mobilité verte et donc au transport ferroviaire, mais il n'en demeure pas moins que l'enchaînement des cycles de conjoncture reste douloureux pour l'ensemble des entreprises y compris celles qui s'en sortent économiquement et financièrement.

Les entreprises du ferroviaire n'échappent pas à ce phénomène. Malgré une volonté affichée des Etats membres pour conduire une politique ferroviaire, en témoigne le plan de 100 milliards d'euros annoncé en France par le gouvernement pour régénérer le réseau national, les entreprises manquent encore de visibilité sur les différentes phases de travaux à réaliser d'ici 2040.

Dans un contexte où l'ensemble des exploitants sont pris en étau entre une inflation galopante tirée par la facture énergétique et le manque de main d'œuvre qualifiée en maintenance disponible sur le marché, il faut s'attendre à des reports de renouvellement d'engins qui ne seront pas considérés comme stratégiques par rapport à l'activité connue.

- **Prix et verdissement de la flotte** : La notion de prix devient encore plus prégnante dès lors qu'on aborde celui des nouvelles générations d'engins. Il a été déjà souligné que l'inflation était un frein conjoncturel à l'achat de matériel neuf et que compte tenu de la faiblesse des volumes d'engins à produire le rapport de force en négociation penchait plutôt en faveur des constructeurs.

Une analyse de la valeur à neuf du parc a national a donc permis de comparer la valeur à neuf du parc actuel avec celle d'un parc entièrement renouvelé et celle d'un parc entièrement renouvelé mais qui intégrerait un verdissement de la flotte à savoir l'acquisition d'engins avec des motorisations hybrides ou tout électriques.

Le modèle de projection de parc a donc été enrichi avec ces variables experts qui résultent de la connaissance des prix de marché par les principaux exploitants d'engins français.

Les données sur la valeur à neuf sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

<i>Millions d'euros</i>			
Famille	Valeur à neuf	Valeur à neuf actualisée	Valeur à neuf verdie
Locomotives	330	528	693
Engins de travaux	3044	5124	6206
Wagons	142	238	286
Total	3516	5889	7185

La valeur à neuf représente la valeur capitalistique actuelle du parc si l'on considérait que tous les engins venaient d'être acquis mais aux prix qui prévalaient sur le marché l'année de l'âge moyen du parc.

La valeur à neuf actualisée représente la valeur capitalistique qu'aurait le parc si tous les engins avaient été renouvelés en 2022 au prix actuel du marché.

La valeur à neuf verdie représente la même chose que la valeur actualisée mais en faisant l'hypothèse que tous les engins qui le peuvent aient été renouvelés vers des générations électrifiées.

Cette analyse apporte 3 informations :

- Le parc national a une valeur à neuf autour de 3,5 milliards d'euros.
- Si ce parc était entièrement renouvelé avec des engins de dernière génération, sa valeur à neuf serait de près de 6 milliards d'euros soit presque le double de la valeur à neuf actuelle. Si l'inflation peut peser sur ces prix de marché, c'est surtout l'écart technologique qui explique le différentiel de prix.
- Enfin si ce parc était entièrement renouvelé mais avec un maximum d'engins électrifiés, sa valeur à neuf s'établirait à plus de 7 milliards d'euros soit un surcoût de verdissement d'environ 22%. Cette valeur reste toutefois purement théorique puisque le modèle a pris en compte des prix d'engins de travaux hybrides commercialisés en Europe, mais qui ne sont pas encore homologués en France.

Dans le contexte actuel, le prix des engins est un sujet majeur, car même si l'investissement dans l'outil de production est un besoin essentiel pour gagner des points de productivité, il doit se faire dans un cadre stratégique qui limite les risques pour les entreprises exploitantes.

Ainsi, il paraît important que ces dernières disposent d'une vision claire sur les grands axes de la politique ferroviaire notamment pour avoir une idée plus concrète du volume de travaux que cela va représenter et des moyens qu'il faudra mettre en œuvre pour les réaliser.

Le modèle de projection de parc a également permis de se faire une idée assez précise du montant des investissements que les exploitants pourraient réaliser dans les prochaines années. Encore une fois le montant de ces investissements est purement théorique car calculé en faisant l'hypothèse que c'est l'ensemble des engins dans chaque famille qui serait renouvelé.

Les résultats de cette projection sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Valeur à neuf du parc déjà obsolète				
<i>millions d'euros</i>				
Type	Famille	Valeur à neuf	Valeur à neuf actualisée	Valeur à neuf verdie
Engins de traction	Locomotive de travaux	142	227	298
Engins de travaux	Trains de travaux	180	270	270
Engins de travaux	Engins spéciaux	41	55	56
Engins de travaux	Engins rail-route	17	28	36
Engins de travaux	Bourreuses	12	24	39
Engins de travaux	Engins caténaires	12	27	35
Engins de travaux	Dégarnisseuses	10	15	15
Engins de travaux	Stabilisateurs de ballast	9	18	26
Engins de travaux	Draisine	9	23	30
Engins de travaux	Régaleuses	5	11	17
Engins de travaux	Portiques /grues	1	3	3
Wagons de travaux	Wagon spécialisé	14	26	34
Wagons de travaux	Lorry	2	3	3
	Total	453	728	861

Source : Valouy Conseil d'après données exploitants

Valeur à neuf du parc obsolète en 2027				
<i>millions d'euros</i>				
Type	Famille	Valeur à neuf	Valeur à neuf actualisée	Valeur à neuf verdie
Engins de travaux	Bourreuses	184	368	598
Engins de travaux	Engins caténaires	48	110	144
Engins de travaux	Engins rail-route	27	45	59
Engins de travaux	Engins spéciaux	18	24	25
Engins de travaux	Régaleuses	9	21	33
Engins de travaux	Draisine	7	18	24
Engins de travaux	Stabilisateurs de ballast	6	12	17
Engins de travaux	Portiques /grues	2	6	6
Wagons de travaux	Lorry	11	19	19
Wagons de travaux	Wagon spécialisé	2	4	5
	Total	315	628	930

Source : Valouy Conseil d'après données exploitants

Valeur à neuf du parc obsolète en 2032				
<i>millions d'euros</i>				
Type	Famille	Valeur à neuf	Valeur à neuf actualisée	Valeur à neuf verdie
Engins de travaux	Trains de travaux	920	1380	1380
Engins de travaux	Bourreuses	68	136	221
Engins de travaux	Engins rail-route	60	101	131
Engins de travaux	Engins spéciaux	35	47	48
Engins de travaux	Draisine	17	42	56
Engins de travaux	Régaleuses	11	25	39
Engins de travaux	Dégarnisseuses	10	15	15
Engins de travaux	Engins caténaires	5	11	14
Engins de travaux	Portiques /grues	3	7	7
Wagons de travaux	Lorry	9	16	16
Wagons de travaux	Wagon spécialisé	3	6	7
	Total	1140	1784	1932

Source : Valouy Conseil d'après données exploitants

Les résultats de la projection montrent que la valeur à neuf actuelle des investissements à réaliser pour remplacer l'ensemble du parc obsolète représentent un montant d'environ 3,1 milliards d'euros.

Mais cette structure des besoins d'investissements répartie par famille d'engins montre également que ce montant peut facilement être divisé par deux (soit autour d'un milliard et demi) car la liste des engins obsolètes intègre plusieurs catégories d'engins comme les trains de travaux ou les engins spéciaux qui sont des outils moins fréquemment utilisés que des bourreuses ou des engins rail-route par exemple. Dans le contexte actuel et sans perspectives claires sur la file d'attente des travaux à réaliser, il est donc peu probable qu'il fasse l'objet d'un renouvellement.

De même, comme déjà évoqué, le manque de rapport de force entre exploitants et constructeurs pour commander de nouveaux engins pourrait inciter les premiers à se tourner vers le marché de l'occasion pour accélérer le renouvellement de matériel moins stratégique comme les locomotives de travaux par exemple.

Enfin à l'échelle du parc renouvelable à l'horizon 2030, le verdissement des engins représenterait un surcoût à l'achat de 18%.

- **Contraintes réglementaires** : Indépendamment de la notion de prix, un autre facteur pouvant impacter le cycle de renouvellement des engins repose sur les contraintes réglementaires qui leur seront imposées, la toute première étant notamment, pour envisager un verdissement plus rapide, les temps d'homologation des engins hybrides. Il ne faut pas oublier que l'industrie ferroviaire s'inscrit dans des cycles naturellement longs, que ces derniers peuvent être impactés par les délais administratifs. Il faut donc envisager le plus tôt possible d'étudier les engins prioritaires pour raccourcir au minimum les temps d'homologation et permettre leur entrée en flotte le plus tôt possible.
- **La prise en compte des nouvelles générations de collaborateurs** est également un aspect stratégique très important. Comme il a déjà été mentionné dans ce rapport, l'industrie ferroviaire à l'instar des autres industries souffre d'un manque de main d'œuvre en maintenance. Les nouvelles générations de collaborateurs qui arrivent sur le marché du travail ont de nouvelles aspirations personnelles et professionnelles donc de nouvelles attentes vis-à-vis des entreprises, et celles du secteur ferroviaire comme les autres devront s'adapter pour parvenir à capter la main d'œuvre nécessaire tout en la fidélisant pour pérenniser leur savoir métier. Les aspects en lien avec la digitalisation et l'électrification des engins sont des leviers pour attirer les nouvelles générations vers les métiers des engins, mais des efforts importants doivent encore être réalisés pour définir des parcours de carrières facilement identifiables et ces derniers doivent être accompagnés par des formations initiales ou continues adaptées à chacun, pour que chaque individu puisse concrétiser son parcours en piochant des briques de formations agiles qui lui permettront de progresser dans son métier, sa carrière et son expertise ferroviaire.

Scénario technologique et principales variables à prendre en compte pour le scénario ressources humaines.

A l'issue des analyses détaillées du parc, un atelier technologique a permis à l'ensemble des parties prenantes de la filière (constructeurs, équipementiers, exploitants, sous-traitants) de s'accorder sur le scénario technologique à retenir pour préparer les métiers et les compétences d'avenir.

Indépendamment de ce scénario, la filière a tenu à souligner que, plus sa vision sur la politique ferroviaire serait claire et détaillée dans le temps, mieux elle pourrait anticiper les besoins opérationnels à mettre en œuvre pour la satisfaire.

Il ne faut pas oublier que l'industrie ferroviaire est une industrie qui s'inscrit dans des cycles longs et qu'après toute décision actée, il faut très souvent plusieurs années pour en apprécier les premiers effets.

La diffusion technologique avant de se globaliser dans l'écosystème se diffusera de manière lente et hétérogène suivant les différentes familles d'engins.

C'est principalement par renouvellement vers des matériels neufs de nouvelle génération que le parc connaîtra ses évolutions technologiques. Les résultats de la projection du parc est retenue pour faire les recommandation en matière de priorité de formations à créer ou à adapter.

Quelques soient ces priorités, elles doivent dans un contexte qui favorise une diffusion rapide du digital que ce soit dans l'enseignement, dans l'exploitation ou dans la maintenance des engins de travaux.

Pour les engins à forte intensité capitalistique, les jumeaux numériques deviennent un enjeu majeur à la fois économique et stratégique. Le digital est en effet non seulement un moyen de faire gagner des points de productivité, mais également un moyen pour développer de l'attractivité en créant de nouveaux métiers avec de nouvelles compétences.

Compte tenu des cycles longs, ses dernières doivent à la fois être anticipées très en amonts du point de vue formation.

Enfin, si la filière est unanimement confiante sur les perspectives d'avenir des travaux de voies, elle reste à l'instar des autres filières industrielles impactées par de nombreux chocs exogènes qui brouillent sa vision court termes de l'activité, d'où le besoin essentiel d'avoir une vision stratégique détaillée de la politique ferroviaire du gouvernement.

Prospective de l'emploi et des compétences pour la maintenance des engins de travaux ferroviaires

Ce chapitre précise le détail et les résultats de la démarche méthodologique qui ont permis d'aboutir à un scénario consensuel sur l'évolution de l'emploi, pour le quantifier en volume et en structure ainsi que pour le qualifier en termes de métiers et compétences « maintenance ».

Le scénario ressources humaines (RH) a été élaboré en s'appuyant à la fois sur des entretiens qualitatifs conduits auprès de décideurs RH de la filière et sur une enquête quantitative qui a permis de collecter les données de base nécessaires à une projection quantifiée de l'emploi.

Il s'est également appuyé sur les études précédentes conduites au sein de la filière, lesquelles avaient déjà identifié plusieurs tendances structurelles qui conditionnent les processus de recrutements.

Le chapitre présente tout d'abord les enjeux de la filière en matière de recrutement et de formation. Il présente ensuite les résultats de la projection de l'emploi ainsi que les différentes données structurelles de la filière en matières de ressources humaines.

L'ensemble de ces données a permis de valider un scénario RH consensuel qui sera mis en perspective avec le scénario technologique dans le chapitre suivant afin de produire des recommandations en matière de formation.

Les enjeux de la filière de maintenance industrielle en termes d'emplois et compétences

Avant de préciser les enjeux RH « maintenance » spécifiques à la filière des engins de travaux ferroviaires, il convient de repreciser ceux qui le sont tout autant en termes de recrutements et de compétences mais à l'échelle de l'industrie prise dans son ensemble.

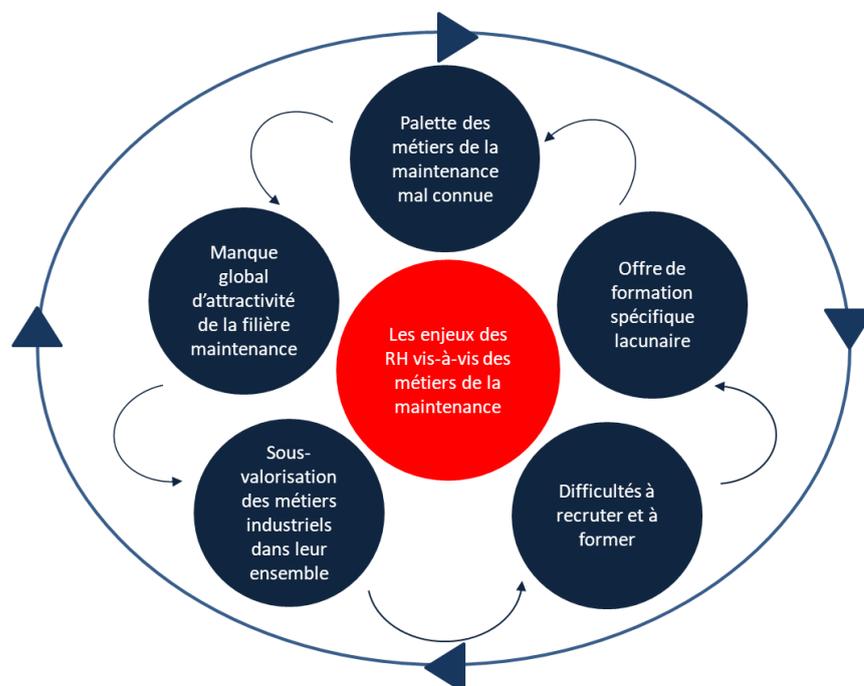
Comme il a été déjà mentionné en amont de ce rapport, c'est l'ensemble des métiers industriels qui souffre d'une désaffection par le grand public.

Tout d'abord parce qu'ils sont mal connus et mal présentés, notamment dans les filières académiques initiales où les enseignements sur l'industrie sont quasi inexistantes avant que les élèves n'abordent des cursus spécialisés.

Ainsi ce sont toutes les entreprises industrielles qui peinent à recruter de nouveaux collaborateurs « maintenance ».

En effet, la maintenance industrielle est une activité transversale qui ne peut être considérée comme un secteur d'activité à part entière, justement parce qu'elle est présente dans tous les secteurs industriels et dans la plupart des secteurs du tertiaire.

Face à la transformation des process et des métiers industriels, il devient nécessaire de sensibiliser le grand public à l'offre industrielle d'emplois pour sortir du cercle vicieux représenté dans le schéma ci-après.



Source : Valouy Conseil - Benchmark des stratégies et des politiques RH appliquées aux métiers de la maintenance des engins de travaux ferroviaires

La régénération de l'attractivité vers les métiers industriels et plus particulièrement vers ceux de la maintenance industrielle est donc la première priorité stratégique à traiter pour amorcer une inversion des tendances actuelles, et c'est l'ensemble de l'industrie qui en retirera des bénéfices.

Elle est d'autant plus urgente à développer, que pour en mesurer les premiers effets sur le marché de l'emploi industriel, il faudra attendre a minima entre 3 et 5 ans dans un scénario optimiste.

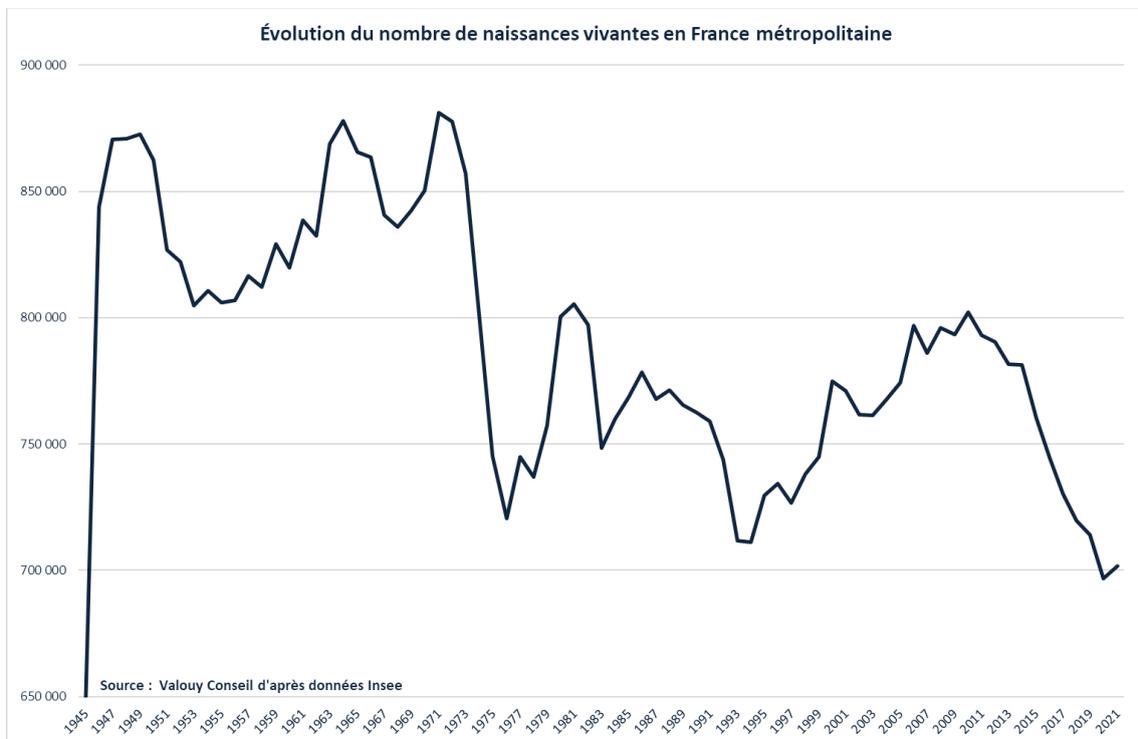
Les métiers industriels et notamment ceux de la maintenance sont des métiers déjà très techniques qui vont nécessiter des compétences de plus en plus pointues pour accompagner la digitalisation des process des entreprises.

Or, et ce depuis 2015, on constate une décorrélation de l'offre d'emplois en maintenance industrielle et de la demande pour ces métiers.

L'enquête sur les besoins en main d'œuvre réalisée par Pôle emploi met en éclairage que le besoin annuel des industriels en profils « maintenance » s'établit autour de 20 000 intentions de recrutements par an, mais la filière académique, tous niveaux confondus, forme chaque année moins de 10 000 maintenanciers, non seulement pour l'industrie, mais également pour les autres secteurs du tertiaire.

Ce constat se fait par ailleurs dans un contexte où plusieurs pays européens connaissent un vieillissement de leur population. Ce dernier va encore s'accélérer avec un départ en retraite de la génération du « Babyboom » qui a déjà démarré et qui va perdurer jusqu'environ 2035.

Cette tendance structurelle se conjugue avec une chute de la natalité en France métropolitaine comme le montre le graphique ci-dessous.



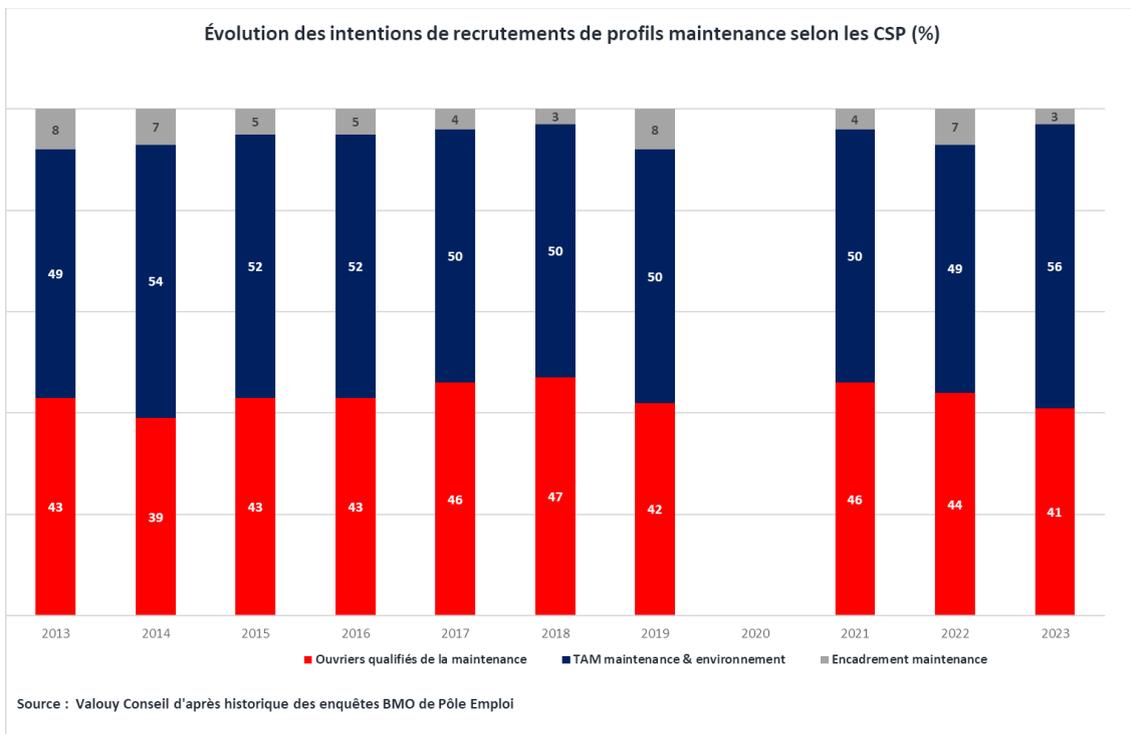
La conséquence inéluctable de ces deux tendances est que la France, à l'instar d'autres économies européennes, va disposer de moins d'actifs à l'horizon 2035.

Consciente de cet état de fait, l'industrie a amorcé un virage technologique vers l'industrie du futur dite 4.0 non seulement pour optimiser les différents processus, que l'on parle de production ou de maintenance, mais également avec la volonté de gagner des points de productivité sur la variable emploi. Un virage nécessaire pour que la France conserve à la fois son savoir-faire industriel, mais surtout pour asseoir son rang et sa compétitivité à l'international.

Ainsi une des tendances de fond constatée dans l'évolution de l'appareil de production national, est que les nouvelles unités de production sont plus petites mais avec une intensité capitalistique par tête plus élevée. Cette évolution traduit effectivement à la fois une montée en puissance de la technologie dans les usines (automatisation, robotisation, digitalisation) et un moindre besoin de personnels pour les exploiter.

Mais le pendant de cette évolution est que l'industrie, si elle va nécessiter moins de personnels en exploitation, devra intégrer des profils plus pointus techniquement pour à la fois exploiter, mais surtout maintenir en conditions opérationnelles ces infrastructures 4.0.

Effectivement, si on observe l'évolution de la structure des projets de recrutements selon les catégories socio-professionnelles (cf. graphique ci-dessous), on s'aperçoit que les profils techniques sont désormais majoritaires et que la part des profils ouvriers est structurellement en baisse.



Si l'industrie va toujours avoir besoin de profils ouvriers, notamment pour réaliser des grands programmes industriels de maintenance tels que le grand carénage nucléaire par exemple ou des grands arrêts dans l'industrie lourde, elle aura néanmoins un besoin croissant de profils mieux qualifiés pour piloter les nouveaux outils industriels.

Un autre constat important dont témoignent systématiquement les professionnels de la maintenance, est que le bagage de connaissances et de compétences des nouveaux entrants est inférieur à celui du passé, mais surtout inadapté aux nouveaux besoins de l'industrie 4.0.

Cela tient d'une part à une adaptation trop lente des cursus de formations aux nouvelles techniques de maintenance, mais également à des infrastructures de formation qui ne sont pas suffisamment dotées en équipements d'apprentissage pour dispenser un enseignement idoine avec les attentes des industriels.

La résultante de ce constat est à double tranchant. D'un côté les entreprises industrielles tentent de compenser cette perte de savoir en développant l'alternance, laquelle a par exemple bondit de plus de 25% entre 2020 et 2021 selon les données de l'OPCO 2i, et pour combler les lacunes de l'enseignement initial, beaucoup d'entre-elles (souvent rattachées à des grands groupes industriels) ont développé leurs propres campus de formations adaptés à leurs besoins opérationnels.

Si cette tendance part d'une bonne volonté pour améliorer la qualité de l'enseignement initial, elle brouille encore plus la lisibilité de l'offre d'emplois en maintenance, chaque entreprise dispensant ses propres cursus de formation.

Le développement de l'attractivité doit donc être réalisé de manière unifiée en impliquant toutes les parties prenantes de l'industrie, que ces dernières soient publiques ou privées.

Il doit permettre de faire une promotion nationale des métiers de la maintenance industrielle qui vont devenir des métiers toujours plus stratégiques pour la compétitivité de l'industrie nationale. Mais surtout cette promotion des métiers de la maintenance doit s'accompagner d'actions concrètes pour capter, attirer, former et fidéliser les nouvelles générations de maintenanciers industriels.

Ces pistes d'actions seront détaillées dans le chapitre dédié puisque, que l'on parle de la filière des engins de travaux de voies ou d'une autre filière industrielle, ce sont rigoureusement les mêmes recommandations.

Les enjeux RH spécifiques à la filière des engins de travaux ferroviaires

Tout comme le reste de l'industrie, la filière des engins de travaux ferroviaires va évoluer avec un besoin croissant de compétences plus pointues qui va donc orienter la grande majorité des recrutements « maintenance » vers des profils de techniciens et agents de maîtrise (TAM).

Mais à la différence de la plupart des autres secteurs industriels, cette filière a la particularité de devoir recruter des profils qui vont intervenir sur des équipements très spécifiques et surtout mobiles.

Cela nécessite à la fois des compétences très particulières orientées sur la conception des engins, qui sont pour rappel, conçus presque comme des prototypes, avec chacun son lot de spécificités inhérentes. Le recrutement nécessite également de cibler des candidats avec une mentalité idoine pour accepter de travailler en longs déplacements, en extérieur, par tout temps, toute heure, y compris des jours chomés, fériés ou pendant les périodes de vacances scolaires.

Ce jeu de contraintes est une difficulté supplémentaire à l'embauche de nouveaux salariés, d'autant que la filière est quasiment inconnue du grand public.

Par ailleurs, il n'existe aucun cursus de formations académiques publiques pour être formé à ces métiers et c'est donc l'une des raisons essentielles pour laquelle les acteurs de cet écosystème se sont fédérés au sein d'un cluster dont l'un des rôles est d'accompagner les entreprises de la filière tant sur l'attractivité, le recrutement et la formation.

Principaux enseignements des échanges avec les professionnels RH de la filière

Afin de mieux appréhender les différents aspects et contraintes du recrutement dans la filière des engins de travaux ferroviaires, une série d'entretiens individuels a été conduite auprès des professionnels RH. Ces différents échanges ont permis d'apporter des éclairages complémentaires sur les évolutions de processus de recrutement dans un contexte national pénurique en main d'œuvre « maintenance » où de nouvelles générations de maintenanciers arrivent sur le marché du travail.

Ce chapitre détaille les principaux facteurs qui conditionnent désormais le recrutement dans les entreprises de la filière. Ils sont présentés dans les points ci-dessous :

- **Développement de l'attractivité pour mieux recruter, former et fidéliser les collaborateurs** : L'écosystème ferroviaire est un milieu exigeant qui nécessite une appétance particulière pour les parcours de carrières qu'il propose. Compte tenu des contraintes qui pèsent sur l'exercice des métiers et notamment sur ceux de la maintenance, il nécessite de capter des candidats qui sauront faire abstraction de ces dernières grâce à la passion du ferroviaire et/ou de l'exercice de ses métiers.

Dans les faits, le recrutement est un processus complexe car seulement 30% des candidats recrutés poursuivront une carrière longue dans le secteur du ferroviaire. Le turnover reste important dans les équipes d'opérationnels métiers et il augmente d'une année sur l'autre.

Généralement, les démissions ont lieu lors de première année d'exercice du métier et elles sont nombreuses. Passé ce cap, la probabilité que le salarié poursuive une carrière longue augmente chaque année car le ferroviaire est avant tout un métier de passionnés.

Il n'en demeure pas moins que les 70% d'échecs à la fidélisation sont une véritable problématique pour les entreprises de la filière puisque chaque recrutement est consommateur de temps et de ressources financières, tant pour les services RH que pour les opérationnels métiers et qui, en plus, font perdre de précieux points de productivité aux entreprises.

Il est donc important que les processus de recrutement soient mieux pensés et restructurés pour minimiser le taux d'échec à la poursuite d'une carrière longue.

Bien conscients de cet état de fait, tous les recruteurs de la filière développent des stratégies à l'échelle individuelle de leur entreprise respective, mais également collective dans le cadre du Mecateamcluster.

A l'aide d'outils comme la commission Emploi et Formation ou encore le Club RH de Mecateamcluster, ils partagent des bonnes pratiques, assurent une veille mutualisée de leurs marchés de l'emploi et conduisent également des campagnes de promotion de leurs métiers.

Ainsi parmi les principales actions conduites ces deux dernières années on peut notamment citer :

- La réalisation d'une vidéo de promotion des métiers de la maintenance des engins de travaux de voies

Accessible sur la chaîne Youtube du Mecateamcluster, elle reste à disposition de tous les acteurs de la filière, que ce soit pour leurs besoins individuels ou dans le cadre des actions collectives qu'ils réalisent avec le cluster.

- L'organisation annuelle d'une journée portes-ouvertes nationale où plusieurs entreprises ouvrent simultanément leurs portes au grand public pour présenter les engins et les métiers qui y sont associés. Ces journées sont préparées dans le cadre du Club RH. Un kit d'organisation est fourni aux entreprises participantes pour proposer un parcours d'accueil et un niveau d'informations homogène.
- La participation à différents salons professionnels ou étudiants, avec très souvent un stand du cluster pour fédérer l'offre d'embauches des entreprises dans une démarche commune.
- La mise en place de fiches métiers « maintenance », permettant à tous les acteurs de l'écosystème d'adopter un langage commun dans la dénomination des fonctions « maintenance » en lien avec les engins de travaux de ferroviaires.

- **Mise en adéquation des attentes des nouvelles générations de collaborateurs avec celles des entreprises de la filière** : La nouvelle génération de collaborateurs qui arrive sur le marché du travail est complètement différente des précédentes pour plusieurs raisons majeures.

Tout d'abord ce sont des natifs du digital. Nés avec Internet, ils sont habitués à apprendre et travailler avec des outils numériques et ils trouvent souvent obsolètes les façons de travailler qui ne s'appuient pas sur ce type de technologie. Même dans le cadre de l'activité maintenance, il souhaitent pouvoir s'appuyer sur des outils digitaux qu'ils perçoivent à la fois comme plus simples à appréhender et plus productifs que les méthodes de travail du passé.

C'est également une génération qui arrive avec des aspirations complètement différentes de leurs aînés lorsque ces derniers sont rentrés dans le monde du travail. Dès leur plus jeune âge, ils ont été sensibilisés aux changements climatiques et aux enjeux d'adaptation qui en résultent. Ils sont beaucoup plus sensibles que les anciennes générations à tous les éléments qui vont à son encontre et savent en faire part, quitte à refuser d'exécuter certaines tâches qu'ils jugent anti-environnementales.

Le choc des générations est beaucoup plus visible qu'il ne l'a pu l'être au cours des siècles passés. Même s'ils ne sont pas fondamentalement opposés aux progrès industriels, ils souhaitent avant tout une industrie verte et digitale. Les secteurs qui n'amorcent pas cette transition auront beaucoup plus de mal à recruter, d'autant que comme il a été dit en amont de ce rapport, avec une population d'actifs qui est sur une tendance décroissante, la concurrence dans les recrutements de profils spécialistes dont ceux de maintenance sera de plus en plus féroce.

- **Développement de l'alternance et de nouveaux parcours de formations plus agiles** : Face à cet ensemble de contraintes, qui sont finalement très similaires à l'ensemble des autres industries, les entreprises n'ont d'autres choix que de s'adapter, d'autant que la crise sanitaire, à l'instar de toute grande crise, a été un accélérateur des tendances de fond.

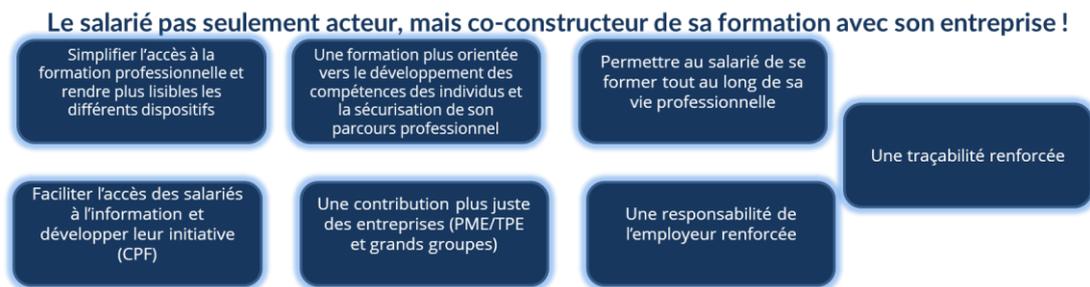
En effet durant les périodes inter-confinements, bon nombre d'entreprises faisant face à une chute brutale d'activité ont laissé s'évaporer des collaborateurs proches de l'âge de la retraite sans pour autant anticiper la perte de savoir-faire précieux de ces sachants, ce qui est d'autant plus vrai dans une activité telle que la maintenance industrielle.

Le rebond de rattrapage a été accompagné par des mesures gouvernementales qui ont favorisé les embauches d'effectifs en alternance. Mais cette population plus jeune et inexpérimentée continue à faire perdre des points de productivité à la plupart des entreprises industrielles.

Le compagnonnage, largement développé dans les industries ferroviaires, s'avère insuffisant pour diffuser rapidement la connaissance et les entreprises de travaux ferroviaires n'ont pas d'autres choix que d'avoir recours à des sessions de formations privées pour accélérer la diffusion du savoir-faire dans leurs populations de personnels opérationnels.

Toutefois pour répondre à la fois aux exigences opérationnelles tout en respectant les nouvelles attentes générationnelles, il faut que ces formations soient conçues comme des briques permettant à chaque collaborateur de construire son propre parcours professionnel au sein de la filière et ce afin de le fidéliser.

Le développement de cette agilité dans la formation continue peut être synthétisée dans le diagramme ci-dessous



Source : Valouy Conseil – Benchmark des politiques RH pour recruter, former et fidéliser les maintenanciers d’engins de travaux de voies.

Sa mise œuvre passe par un processus en cinq étapes qui est résumé dans le diagramme ci-dessous



Source : Valouy Conseil – Benchmark des politiques RH pour recruter, former et fidéliser les maintenanciers d’engins de travaux de voies.

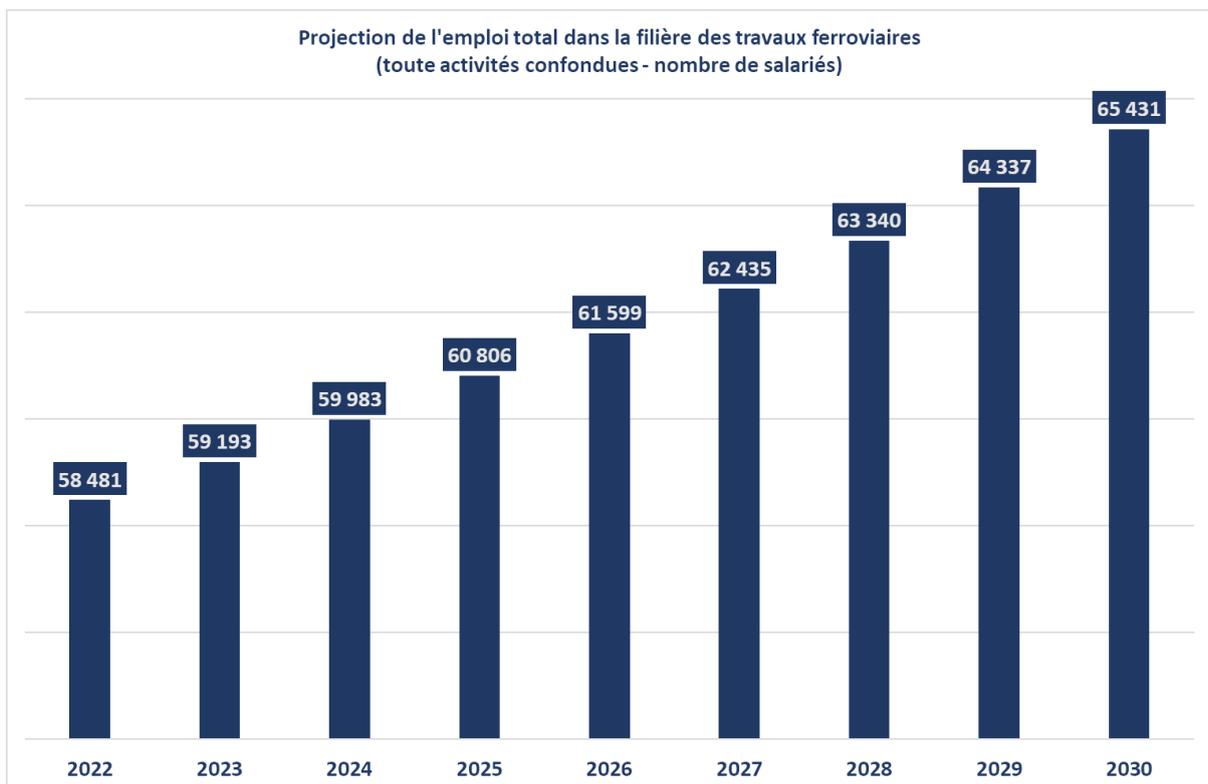
Projection des besoins en emplois à l'horizon 2030

Ce chapitre présente les données quantitatives permettant de caractériser la filière en termes d'effectifs. L'enquête conduite auprès des services RH a été complétée par des entretiens individuels auprès de responsables RH de la filière et par un groupe de travail qui les a tous réunis pour présenter le scénario tendanciel de l'emploi afin qu'il soit validé de manière consensuelle.

Ce scénario s'appuie également sur l'historique des travaux sur l'emploi et les ressources humaines réalisés dans le cadre du cluster, qui ont permis d'apporter des éléments complémentaires utiles pour le projet CONVERT.

Principaux résultats de l'enquête conduite auprès des services RH

La filière des travaux ferroviaire représentait en 2022, un effectif total de plus de 58 000 personnes. Elle devrait évoluer autour de 65 000 emplois à l'horizon 2030 avec un taux de croissance annuel moyen estimé à +1,4%.



Source : Valouy Conseil d'après enquêtes RH et travaux associés

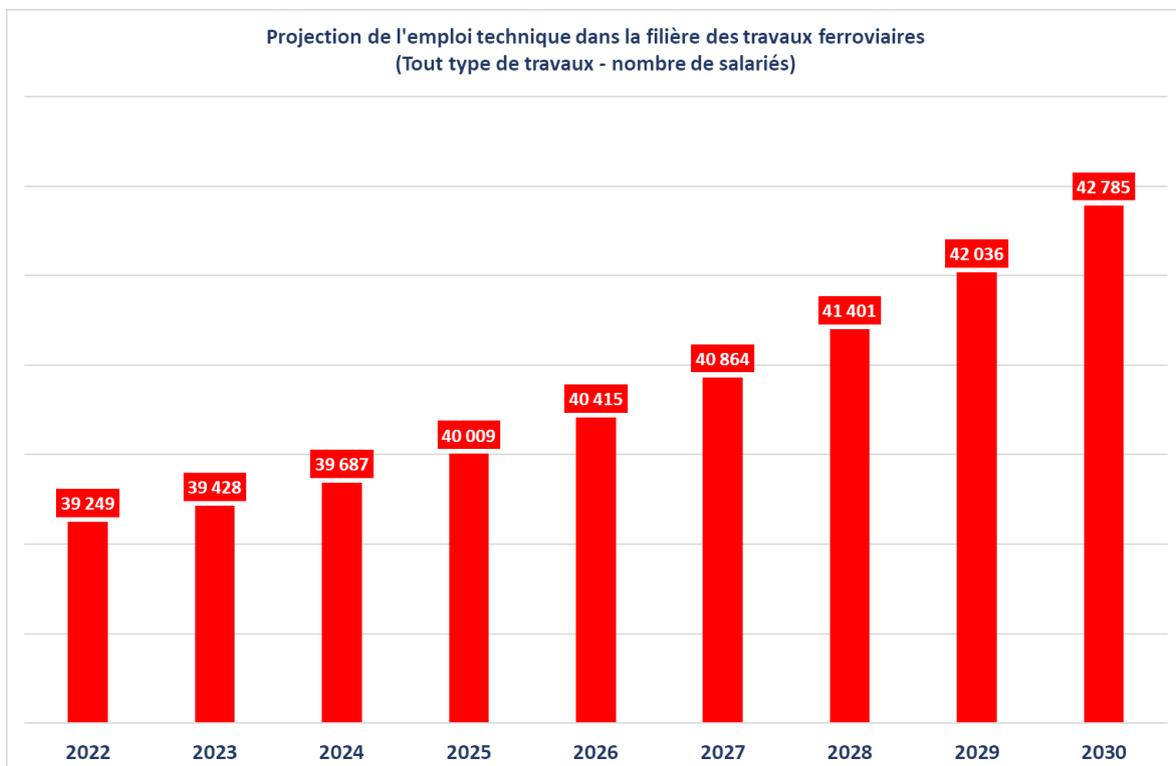
Ce périmètre de population est plus large que celui de l'écosystème des engins car il comptabilise notamment tous les emplois transverses (comptabilité, RH, etc.) de la filière mais également d'autres familles de métiers en lien avec les travaux ferroviaires, qui ne nécessitent pas forcément d'engins pour être réalisés.

85% des effectifs sont ceux de l'opérateur historique, les 15% restant représentent l'emploi dans l'ensemble des autres entreprises privées de la filière des engins de travaux mobiles.

Le parc de machines se concentre sur les 4 grands exploitants et la flotte résiduelle (moins de 10% du parc) se répartit sur des petites entreprises de travaux souvent familiales.

La notion d'équipage n'existe que chez les exploitants d'engins, dans les autres entreprises on trouve uniquement des profils de maintenanciers à base sédentaire (poste en atelier), mais qui peuvent dans le cadre de leurs activités être amenés à intervenir en mobilité sur les chantiers des différents exploitants ; c'est notamment le cas des équipes de services techniques chez les constructeurs qui sont sollicitées sur des pannes complexes.

La population totale en lien avec les métiers techniques représentait environ 39 000 emplois en 2022. Elle devrait évoluer à un rythme annuel moyen légèrement inférieur à celui de la population totale, compte tenu d'une décroissance structurelle des effectifs chez l'opérateur historique, dont le volume d'emploi sera partiellement compensé par une croissance chez les exploitants privés.



Source : Valouy Conseil d'après enquêtes RH et travaux associés

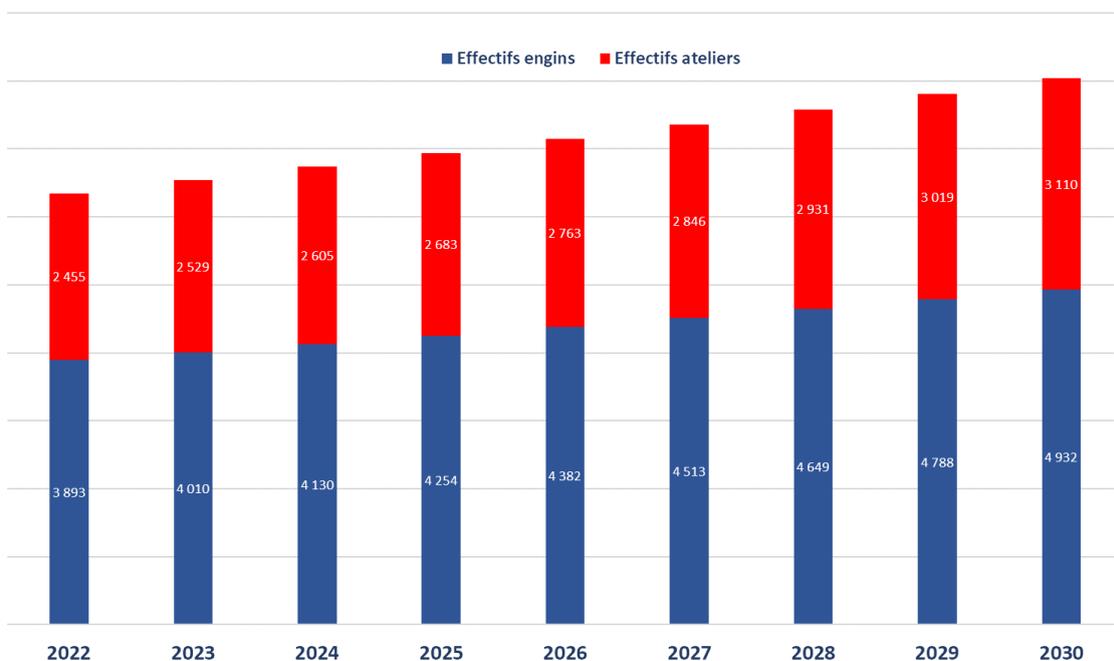
Sa répartition est assez similaire à celle des effectifs totaux, avec une concentration chez l'opérateur historique.

Si l'on considère uniquement l'emploi en lien direct avec l'écosystème des engins de travaux ferroviaires c'est-à-dire l'emploi que l'on trouve à la fois chez les exploitants privés, les constructeurs et les sous-traitants, il représente un effectif estimé à environ 8 500 salariés en 2022, tous emplois confondus, que l'on parle des effectifs techniques ou des fonctions supports.

La projection à 2030 estime que le nombre d'emplois total de l'écosystème graviterait autour de 10 800 salariés. Elle prend en compte une croissance du besoin en lien avec la technicité des engins, mais également un transfert de compétences depuis l'opérateur historique vers les opérateurs privés.

La population directement en lien avec l'exploitation des engins représentait un effectif total de plus de 6 300 salariés en 2022.

Projection de l'emploi technique dans l'écosystème des engins de travaux ferroviaires
(nombre de salariés)



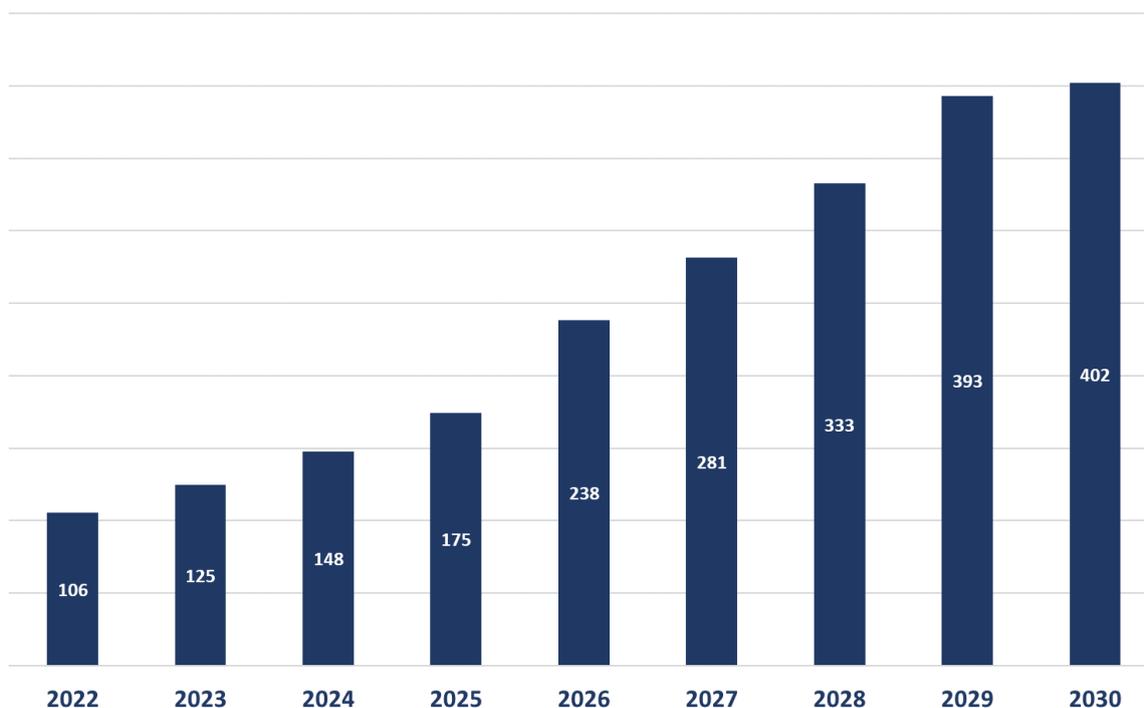
Source : Valouy Conseil d'après enquêtes RH et travaux associés

Les intentions d'embauches à l'horizon 2030 évolueraient à un rythme annuel de +3% par an en moyenne pour représenter une population d'environ 8 000 salariés à l'horizon 2030. Mais il faut bien noter que ce chiffre représente des intentions d'embauches et non des emplois qui seront facilement créés dans le contexte pénurique qui a été décrit.

Projection des besoins en formations à l'horizon 2030

Compte tenu du scénario retenu de l'évolution des intentions de recrutements dans la filière, les projections de besoins en formation retenues d'ici 2030 sont présentées dans le graphique ci-dessous :

Prévisions sur le nombre de personnes à former par le Campus Mecateam à l'horizon 2030.



Source : Valouy Conseil

Elles tiennent compte à la fois de l'évolution anticipée de l'emploi, des cycles de formation par salarié et de l'évolution de la notoriété du Campus Mecateam avec des gains de parts de marchés.

Principaux enseignements de l'enquête

L'enquête a mis en avant que les métiers techniques dans la filière des engins mobiles étaient des métiers en croissance. Mais les intentions de recrutements risquent d'être compromises si l'attractivité vers les métiers industriels, dont ceux de la maintenance, ne se développe pas de l'amont vers l'aval de l'industrie.

Le contexte pénurique de ressources allant croissant, il devient urgent de réfléchir à des leviers de recrutement et de formation à des métiers stratégiques pour conduire une politique ferroviaire efficace.

Les tableaux fournis en annexe 1 de ce rapport présentent des éléments complémentaires relatifs à la structure de la population de l'écosystème des engins. Ces données tendent à montrer que si les effectifs en lien avec les engins de travaux ferroviaires disposent d'une pyramide d'âge équilibrée pour assurer une transmission pérenne du savoir-faire, elle présente toutefois plusieurs faiblesses pour qu'elle se fasse de manière optimale.

D'une part la proportion de profils peu qualifiés représente près de 60 % des effectifs engins. Il faut bien comprendre que « profil peu qualifié » n'entend pas défaut d'une précieuse expertise, puisque ce sont souvent des profils ouvriers qui ont démarré une carrière jeune et qui ont fait tout leur parcours professionnel dans le milieu des engins et qui ont la meilleure connaissance de ces derniers. Certains ont même développé des niveaux d'expertise équivalents à ceux d'ingénieurs et c'est donc une fraction de la population qu'il faut arriver à identifier pour la faire évoluer vers des compétences pédagogiques de transmission du savoir.

L'autre fait saillant des données sur la structure des effectifs est que dans l'écosystème direct des engins, les profils féminins sont quasiment inexistants, ne représentant que moins de 1% des salariés.

Il est bien entendu complexe d'envisager des équipages mixtes sur des déplacements longs en chantier ; en revanche, la filière a tout intérêt à développer une attractivité spécifique aux profils féminins pour partiellement combler le manque de candidatures dans les postes sédentaires d'ateliers.

Si la sous-représentation féminine est exacerbée dans la filière des engins mobiles, elle n'en demeure pas moins vraie à l'échelle de toute la filière « maintenance » que les femmes choisissent encore trop peu comme carrière. Avec l'évolution des méthodes et des technologies, il y a pourtant beaucoup d'opportunités qui s'offrent à la gent féminine pour s'orienter vers des métiers d'avenir à fort potentiel d'évolution. Mais cela nécessiterait également en parallèle de la démarche d'attractivité de cibler les profils féminins pour mieux les sensibiliser.

Quoiqu'il en soit et quelques soient les décisions qui seront prises et compte tenu de leurs délais d'appréciation, on peut affirmer que les recrutements en maintenance seront toujours jugés extrêmement difficiles au moins pour les 6 prochaines années, mais dans les faits certainement au-delà si des actions coordonnées et nationales ne sont pas conduites.

Quel scénario probable pour l'évolution des métiers et des compétences à l'horizon 2030 et après... ?

Le scénario retenu par les acteurs de la filière des engins de travaux ferroviaires

Ce chapitre présente la fusion du scénario technologique et du scénario RH en un scénario tendanciel considéré le plus probable pour l'écosystème des engins à l'horizon 2030, mais également au-delà, puisque l'industrie ferroviaire est une industrie de cycles longs.

Scénario tendanciel

La diffusion technologique au sein du parc d'engins se fera, pour sa plus grande part, par renouvellement d'engins plus que par rétrofit de ces derniers.

Le cycle complet de renouvellement du parc actuel s'achèvera à l'horizon 2065.

D'ici l'horizon d'intérêt pour ce rapport, c'est près de 70% qui aura atteint sa durée de vie théorique et qui pourrait faire l'objet de renouvellement suivant la stratégie des exploitants.

Mais ces derniers manquent de visibilité dans la conjoncture actuelle, notamment sur les détails de la politique ferroviaire qui sera l'un des éléments stratégiques pour adapter les parcs d'engins aux besoins en régénération de voies ferrées.

La diffusion de la technologie au sein des parcs d'engins se fera de manière hétérogène. Ce sont d'abord les plus petits engins qui sont produits en moyennes et petites séries qui vont en bénéficier. Ils sont à la fois moins complexes techniquement, moins coûteux et avec des durées de vie inférieures aux engins lourds ou aux engins spéciaux.

Les engins spéciaux et les engins lourds vont connaître une transition technologique plus lente à cause de leur ingénierie de conception qui est complexe et quasi unitaire.

À l'horizon 2030, il faut attendre peu d'évolutions sur ces catégories d'engins.

La transition technologique des engins se fera autour de deux axes majeurs :

- L'électrification : elle se diffusera lentement d'abord par les sous-ensembles pour finir par les motorisations d'engins lourds et spéciaux, mais ce sera au-delà de l'horizon 2030.
- La digitalisation : elle devrait se diffuser plus rapidement que l'électrification, d'abord dans les engins de série puis dans le spécifique ; elle sera à l'origine de nouveaux acteurs et de nouveaux métiers.

La conjoncture actuelle a nécessité une révision des plans stratégiques, notamment en matière de renouvellement de parc. Même si les exploitants restent confiants sur l'avenir des travaux ferroviaires, ils restent confrontés à la complexité des marchés actuels.

D'une part la taille de leur marché n'est pas suffisamment importante pour établir un rapport de force en leur faveur, notamment vis-à-vis des constructeurs à l'international qui considèrent que la France représente de faibles volumes comparés à des homologues européens tels que l'Allemagne, l'Espagne ou l'Italie par exemple.

Ces difficultés structurelles à négocier sont amplifiées par une inflation forte et durable qui se conjugue à une envolée de la facture énergétique (la grande majorité du parc d'engins reste un parc de motorisations thermiques).

Les attentes d'une feuille de route plus détaillée sur la politique ferroviaire à l'horizon 2040 est un élément stratégique pour tous les acteurs de l'écosystème, qu'ils se situent en amont ou en aval de la chaîne de valeur.

Indépendamment de la visibilité sur l'activité future, les acteurs de la filière des engins mobiles sont conscients que la diffusion technologique va permettre de gagner des points de productivité dans un contexte de tension sur l'emploi, dont celui en maintenance des engins.

L'accélération de la digitalisation dans l'écosystème doit permettre de palier des déficits de main d'œuvre sur le long terme, dans une logique de baisse structurelle d'actifs dans l'économie.

Mais cette digitalisation va nécessiter de recruter et former des profils qualifiés pour se l'approprier. Les effectifs à former sont à la fois les personnels déjà en poste, mais également des nouveaux entrants issus de la formation académique initiale.

La digitalisation va nécessiter d'intégrer dans la filière de nouveaux métiers qui n'existent pas encore et qu'il va falloir développer.

D'ici 2030, les intentions de recrutements de la filière portent sur environ 1 700 postes, tous métiers confondus. Mais ces recrutements vont se poursuivre dans un contexte où il existe de nombreuses tensions sur l'emploi et notamment sur les métiers de la maintenance industrielle.

Les actions pour développer l'attractivité vers les métiers des engins vont se poursuivre dans le cadre du Mecateamcluster pour donner une visibilité toujours plus importante sur des métiers stratégiques avec des perspectives de carrières et en lien avec la mobilité verte.

L'offre de formations spécifiques aux engins de travaux ferroviaires reste très lacunaire et très concentrée autour du Campus Mecateam et des constructeurs d'engins, mais elle continue à s'étoffer pour se développer et couvrir à la fois un périmètre plus large d'enseignements et une diversité de parcours plus importante.

On estime ainsi qu'à l'horizon 2030, le nombre de formations dispensées aura quadruplé. Ces formations seront conçues comme des briques permettant de bâtir des parcours de carrières individuels en lien avec les aspirations des futures générations de collaborateurs

Le Campus Mecateam a démarré dans le contexte de la crise sanitaire, ce qui lui a fait perdre presque deux ans de développement. Il souffre encore d'un manque de notoriété, mais cette dernière ira grandissante au fil des années en raison d'une politique de communication dynamique pour une meilleure visibilité dans l'industrie ferroviaire.

Jusqu'à présent il n'y avait pas de catalogues d'offres de formations dédiés aux engins de travaux ferroviaires. Les enseignements se faisaient de gré à gré souvent entre les exploitants d'engins et les constructeurs. Le Campus Mecateam a permis de rendre lisible cette offre de formation avec des cursus académiques qui intègrent des briques d'enseignements sur les engins ferroviaires dans les parcours d'élèves en maintenance ou en travaux publics.

Le catalogue actuel de l'offre est présenté en annexe de ce document.

Scénarios alternatifs (pessimiste, optimiste)

Les scénarios alternatifs sont développés dans le chapitre sur les recommandations. Ceux qui ont été retenus sont les suivants.

Facteurs d'influences positives

- Impulsion nationale pour développer l'attractivité de la maintenance et ceux de la maintenance industrielle
- Feuille de route plus détaillée sur la politique ferroviaire
- Réduction de l'écart de prix entre engins verdis et engins standards
- Mécanismes compensatoires pour accélérer la transition des parcs vers des engins moins énergivores et mieux écoconçus.
- Collaboration plus étroite entre les exploitants et les constructeurs notamment pour faciliter la démocratisation de la maquette numérique dans la filière.
- Accélération de la digitalisation

Facteurs d'influences négatives

- Lenteur administrative pour homologuer des matériels de nouvelles générations dont ceux électrifiés
- Conjoncture complexe qui s'installe avec incertitudes sur l'avenir entraînant des retards d'investissements sur les parcs.
- Difficulté à recruter et à former le nombre de personnels nécessaires pour exploiter les engins
- Freins au digital
- Perte de compétitivité vis-à-vis des entreprises à l'international.
- Lenteur à adapter la formation aux besoins opérationnels des entreprises

Principaux axes de développement en matière de recrutements, compétences et formation

Ce chapitre détaille les différents axes sur lesquels les acteurs de l'écosystème des engins de travaux de ferroviaires doivent agir pour garantir un développement pérenne de leur activité maintenance.

Régénération de l'attractivité des métiers industriels dont ceux de maintenance.

Comme le rapport l'a déjà évoqué, les métiers de maintenance industrielle, avec la montée en puissance de la technologie et de la digitalisation dans les unités de production, vont devenir des métiers de plus en plus stratégiques pour toutes les entreprises industrielles.

Alors même que ce sont des métiers d'avenir, ces derniers restent également des métiers en tension dans un contexte structurel de diminution d'actifs à l'horizon 2035.

L'enseignement initial produit actuellement moins de la moitié des profils maintenance dont a besoin l'industrie. Sans actions concertées, ciblées et rapides, ce déficit pourrait faire perdre des points de compétitivité à toute l'industrie nationale vis-à-vis de celles à l'international. Mais au-delà de la simple compétitivité, il faut également être conscient que les déficits de maintenance peuvent conduire à des incidents ou des accidents industriels avec des conséquences qui peuvent toucher à la sécurité des personnes et/ou des infrastructures.

Si toutes les entreprises industrielles en sont convaincues et s'organisent à leur échelle individuelle, dans leurs filières ou bien encore au niveau de leurs secteurs d'activité, il faut comprendre que quelques soient leurs initiatives, elles ne pourront pas parvenir à des résultats satisfaisants sans une assistance de l'État et de ses institutions idoines.

Concernant le développement de l'attractivité, c'est directement au cœur de l'enseignement académique public qu'il est urgent d'agir pour faciliter l'orientation des jeunes et ce dès les niveaux académiques qui permettent de faire des premiers choix d'orientation de carrières (notamment le collège).

Des échanges réalisés avec des professionnels de l'enseignement (enseignants et conseillers d'orientation) ont permis de mettre en évidence que ces derniers ne sont pas eux-mêmes suffisamment sensibilisés aux métiers d'avenir qui sont en tension, et ils ne peuvent donc pas œuvrer pour mieux assister les élèves dans leur choix de carrières.

Dans les filières généralistes de l'enseignement secondaire, il n'existe aucun dispositif commun et national pour sensibiliser le jeune public à des carrières qui deviennent de plus en plus stratégiques pour l'économie nationale et dont les métiers de la

maintenance industrielle font partie au même titre que d'autres métiers dans d'autres secteurs d'activité comme celui de la santé par exemple.

Il serait notamment judicieux d'intégrer dans les parcours d'enseignements généralistes une brique d'informations pour faire découvrir aux élèves d'aujourd'hui, futurs actifs, quels sont les métiers dont la France a le plus besoin dans cette période de son histoire. Cet enseignement doit être complété par un dispositif d'orientation au plus près du besoin des entreprises nationales en formant les conseillers d'orientation pour qu'ils appréhendent mieux la nature de ces métiers, les enjeux auxquels ils sont associés et les bénéfices de carrières qu'ils proposent.

Concernant les métiers de la maintenance industrielle, on constate également une asymétrie croissante entre les enseignements dispensés et les besoins opérationnels réels de l'industrie. A l'instar de la formation continue dispensée par les entreprises ou les organismes de formation privés, il devient urgent de construire des parcours d'enseignements publics plus agiles et qui intègrent surtout le bagage de connaissances dont ont réellement besoin les industriels. La technologie se diffuse non seulement à un rythme plus rapide, mais elle change également les méthodes de travail en maintenance. Il serait judicieux de mettre en place un dispositif national permettant à la fois aux enseignants et aux professionnels de faire évoluer les enseignements dispensés à un rythme plus proche de la réalité industrielle.

Par ailleurs et cela a déjà été mentionné, les parcs de matériels dédiés à l'enseignement se réduisent d'une année sur l'autre dans les écoles et ce sont souvent des matériels déclassés donc obsolètes. Il devient urgent d'investir plus massivement dans le digital à vocation d'enseignement pour s'affranchir de ce problème notamment par l'usage de technologies de réalité virtuelle basées sur des jumeaux numériques dédiés écoles et dont les évolutions seront beaucoup plus simples à intégrer puisque l'on parle de maquettes et données informatiques.

Accélérer la diffusion de la digitalisation dans l'écosystème des engins

Le point précédent l'a évoqué pour le sujet de l'enseignement académique public, mais il reste tout aussi valable pour la formation continue qu'elle soit publique ou privée.

Indépendamment des aspects liés à la formation, il devient également nécessaire et urgent d'accélérer les usages du digital sous l'angle opérationnel métier. Face à la complexité technologique croissante des engins de travaux ferroviaires qui se conjugue à une main d'œuvre maintenance qui se raréfie, il faut des mécanismes incitateurs pour que toutes les entreprises de la filière puissent réaliser leur transition digitale vers les technologies de l'industrie 4.0.

La maintenance prévisionnelle (« Predictive maintenance » en langue anglaise) est en plein essor, mais elle peine à trouver ses marchés et donc à construire des offres plus ou moins standardisées que toutes les entreprises quelques soient leur taille pourraient adopter. Elle demande actuellement un investissement trop important, plus humain que financier, pour se diffuser plus rapidement et la filière des engins

mobiles aurait tout intérêt à communautariser la démarche pour rendre cette dernière plus efficiente et surtout plus rapide dans sa mise en œuvre. Si elle se développe plus rapidement dans les grands groupes industriels qui ont à la fois la capacité financière et les compétences humaines pour l'appréhender et la développer, il ne faut pas négliger que l'industrie nationale et notamment la fraction relative à l'industrie ferroviaire est en très grande majorité composée de PME et d'ETI qui n'ont pas la même puissance de frappe que les majors de l'industrie.

Mecateamcluster dispose en ce sens d'un outil idoine, la commission Innovation, cette dernière proposant déjà des axes de travail tels que ceux en lien avec la télémaintenance, mais cette dernière n'est que la partie émergée de l'iceberg des opportunités qui résultent d'une démarche de digitalisation.

En effet la digitalisation des process recouvre de multiples aspects qui vont permettre à terme de réaliser une maintenance beaucoup plus chirurgicale dont les entreprises peuvent tirer avantages en termes financiers, productifs, informatifs voire normatifs si elles collaborent pour la développer ensemble.

Parmi les principaux bénéficiaires on peut notamment citer :

- **L'hypervision** : Depuis plusieurs années déjà, les entreprises monitorent leurs données d'activité à l'aide de différents outils de supervision souvent fournis par les constructeurs ou des prestataires spécialisés. Mais la diffusion technologique allant croissante, ces outils se multiplient restant la plupart du temps indépendants les uns des autres, avec des données produites en silos, qu'il faut ensuite traiter dans des systèmes tiers pour arriver à corréler des informations provenant d'outils différents entre elles afin de produire de analyses pertinentes pour améliorer la productivité de l'entreprise. L'hypervision déjà largement développée dans le monde de l'informatique, repose sur de nouvelles techniques et de nouveaux outils qui permettent de globaliser la donnée dans des réservoirs (« Data Lake ») afin de la traiter en masse indépendamment des technologies desquelles elle est issue. Cette nouvelle approche est déjà très mature dans des secteurs comme la finance, la santé ou bien encore le marketing de masse. Elle reste balbutiante dans l'industrie même si la plupart des grands groupes ont déjà franchi le pas.

Les entreprises de travaux ferroviaires ont tout intérêt à travailler ensemble pour construire un système uniforme dans lesquelles elles pourront déverser leurs données d'exploitation. Ce système devra bien entendu respecter une stricte confidentialité des données individuelles des entreprises pour respecter la règle de concurrence du marché, mais ce sera un socle et un outil puissant pour permettre à l'ensemble de l'écosystème d'optimiser l'efficacité des usages et des analyses qui en résultent.

On peut ainsi imaginer un système qui saura à la fois transmettre des informations spécifiques à une entreprise tout en communautarisant des analyses plus agrégées qui permettront un partage des bonnes pratiques à l'échelle de la filière des engins de travaux ferroviaires.

Concevoir un « Cloud » spécifique à la filière présenterait l'avantage majeur d'offrir une opportunité d'évolution technologique à l'ensemble des entreprises quel que soit leur taille.

L'uniformisation des données aura également comme autre avantage non négligeable de pouvoir capitaliser de l'information à l'échelle du parc d'engins pour améliorer l'efficacité et la vitesse d'apprentissage des systèmes de maintenance prévisionnelle.

- **S'engager pour développer la maintenance prévisionnelle à l'échelle de la filière** : Le stockage de données d'exploitation en grand volume sur longue période dans des infrastructures de type cloud, permet de constituer des bases de données dites empiriques.

Grâce au développement de nouvelles générations d'algorithmes basées sur de l'intelligence artificielle, il est désormais possible d'améliorer l'efficacité de la maintenance en tenant compte du passé, que l'on parle de l'historique des interventions préventives, de la résolution de pannes ou d'autres paramètres liés à l'environnement d'exploitation des engins.

Les acteurs de l'écosystème des engins mobiles ont tout intérêt à se fédérer dans le cadre du cluster pour aborder ce type de sujets majeurs.

La commission Innovation du Mecateamcluster est un dispositif idéal pour préparer l'avenir de la maintenance prévisionnelle dans la filière car c'est une approche complexe certes appréhendable par des grands groupes, mais qui reste hors de portée d'acteurs plus petits.

D'autant qu'il y a de nombreux écueils à éviter pour inscrire la démarche dans le succès.

En effet, la maintenance prévisionnelle est une spécialité particulière dans le sens où elle nécessite une double compétence maintenance/informatique industrielle.

La période récente qui s'est déroulée dans l'industrie a démontré que la plupart des échecs de POC (« Proof Of Concept ») étaient liés à la difficulté à faire travailler ensemble deux familles de métiers qui opèrent chacune sous des jeux de contraintes différents.

D'un côté les maintenanciers dont l'objectif principal est de garantir le meilleur taux de disponibilité de l'appareil productif, de l'autre des spécialistes informatiques dont l'objectif principal est de garantir la disponibilité de la donnée avec le niveau de sécurité adéquat pour préserver l'entreprise des nombreux risques liés à la cybersécurité.

Ce sont deux populations différentes avec chacune son langage métier et ses contraintes dont la collaboration peut s'avérer complexe tant les univers sont différents.

Le développement de la maintenance prévisionnelle nécessite l'émergence de nouveaux profils métiers avec cette double compétence informatique/maintenance qui est une passerelle nécessaire pour garantir le succès d'une transition digitale.

Or les profils de data scientists et notamment ceux dédiés à l'industrie sont émergents, ils restent encore trop peu nombreux en volume pour satisfaire au besoin global de la digitalisation de l'industrie.

Il est important que l'écosystème des engins prépare la filière à ce besoin qui émergera naturellement d'une démarche de digitalisation.

Il existe actuellement dans l'industrie ferroviaire des acteurs qui développent ce type de métiers, mais ils restent encore très limités en nombre et en taille.

Deux ont été identifiés pour ce rapport, il s'agit de RAILwAI (Rail with Artificial Intelligence), une startup française issue du monde du rail et positionnée sur l'hypervision des infrastructures ferroviaires et Railnova, une entreprise belge qui n'intervient que sur le monitoring de locomotives.

Il y aurait tout intérêt pour la filière à s'appuyer sur des compétences de ce type pour incuber une start-up capable de l'assister dans sa transition digitale en réconciliant les attentes des acteurs vis-à-vis de la maintenance et les moyens digitaux à mettre en œuvre pour y parvenir.

Cette nouvelle branche d'activité deviendra un créateur d'emplois directs et indirects en mariant l'univers de la maintenance et du digital.

Les points ci-après évoquent les différentes offres de services à la maintenance qui peuvent en résulter.

- **La télémaintenance** : Elle est l'un des enjeux majeurs pour améliorer l'efficacité de la maintenance des engins et contribuer à l'amélioration de productivité dans un contexte de main d'œuvre pénurique. Elle nécessite de se structurer autour d'une offre de services limitant le besoin de déplacement sur chantiers tout en permettant une supervision globale des flottes en exploitation pour anticiper les pannes. Avec l'aide d'outils digitaux tiers tels que les technologies virtuelles et celles de l'intelligence artificielle, elle doit permettre à terme d'assister les opérateurs de maintenance, même si ces derniers n'ont pas le bagage technique initial pour réaliser la procédure d'intervention.
- **La virtualisation et la réalité mixte** : La réalité mixte, dans la logique de la télémaintenance, est un outil qui en mixant la vision humaine et les données numériques (à l'aide de lunettes connectées par exemple ou d'un autre support digital) permet d'assister le maintenancier dans la réalisation de ses tâches, que ce soit dans l'exécution d'une procédure standard (maintenance programmée) ou dans la résolution d'un problème plus complexe (panne aléatoire). Par ailleurs, couplée à un dialogue avec un opérateur de télémaintenance, elle permet de garantir l'efficacité de l'intervention par contrôle et collaboration à distance.

Les usages de la réalité mixte passent également par le développement des jumeaux numériques. Si ces derniers sont déjà utilisés par les constructeurs, l'étude a montré que la confidentialité industrielle empêchait leur diffusion dans l'écosystème. Or ce sont des outils essentiels pour garantir le succès d'une démarche de digitalisation. Les

concepteur des maquettes numériques et les exploitants devront nécessairement trouver un terrain d'entente pour que toute la filière puisse tirer bénéfice de l'usage de cette technologie. Il est parfaitement recevable que les constructeurs ne souhaitent pas diffuser ce qui relève de la propriété intellectuelle, mais des solutions alternatives pourraient facilement émerger si ces derniers acceptaient

- **L'intelligence artificielle** : Les modèles d'intelligence artificielle sont les briques ultimes pour finaliser une démarche de digitalisation vers un modèle de l'industrie 4.0. Il faudra certainement attendre plusieurs années pour voir ce type de technologie se diffuser dans l'écosystème des engins de travaux ferroviaires, mais les acteurs de l'écosystème doivent toujours garder cet objectif en ligne de mire tout au long de leur démarche de digitalisation. La conception des différentes briques de l'architecture 4.0 doit être pensée pour faciliter le développement d'algorithmes qui feront un usage optimal des données empiriques. A terme, une intelligence artificielle dédiée à l'univers des engins doit permettre d'optimiser et rationaliser les politiques de maintenance préventive, mais elle doit également être un outil permettant d'analyser en temps réel les données d'exploitation pour anticiper une panne et le cas échéant être un outil de diagnostic puissant pour en faciliter sa résolution. Compte tenu des investissements nécessaires à mettre en œuvre, ne serait-ce qu'au niveau de sa recherche et développement, les acteurs de la filière ont tout intérêt à collaborer au sein de la commission Innovation par exemple, pour développer une solution commune qui mettra moins de temps à émerger que si chaque entreprise lance sa démarche de manière indépendante.
- **Mécanismes compensatoires pour accélérer la transition des parcs vers des engins moins énergivores et mieux écoconçus.**
Le rapport a montré qu'il y avait actuellement plusieurs freins à lever pour accélérer la transition vers le verdissement des parcs d'engins de travaux ferroviaires. Le surcoût est difficilement compensable par un retour sur investissement suffisamment intéressant pour que les exploitants franchissent le pas. Il peut être opportun de réfléchir à des actions pour accélérer cette transition par une approche coûts bénéfiques de mécanismes de subventionnements directs ou indirects qui pourraient intervenir comme facteurs d'influence positive.

Définir des parcours de formation et de carrières simples et lisibles pour tout à chacun

Au-delà des aspects en lien avec l'attractivité et la formation, il est important de réussir à fidéliser les professionnels de la maintenance au sein de parcours longs dans la filière ferroviaire. Cette industrie s'inscrivant dans des cycles longs, il est essentiel de pérenniser un savoir-faire et des compétences rares dans l'écosystème pour éviter de subir les effets négatifs d'une érosion comme cela se passe par exemple dans la filière nucléaire.

Même si le travail individuel de chaque entreprise autour de la fidélisation se fait et a du sens, il n'empêche pas, dans la période actuelle, d'assister à une croissance du turnover dans toutes les entreprises.

Aussi tous les acteurs ont intérêt sur ce point à collaborer au sein de Mecateamcluster pour définir des trajectoires de carrière « maintenance » au sein de l'écosystème des engins et non plus seulement à l'échelle de l'entreprise.

La fidélisation des collaborateurs dans des carrières longues inscrira la filière dans un cercle vertueux où le vivier de compétences global ne pourra que s'élargir si on en colmate la fuite en permettant à chacun d'évoluer selon ses aspirations.

L'offre de formation doit en ce sens rester agile telle qu'elle a été pensée dans l'organisme de formation du cluster. Sa structuration en briques de connaissances doit continuer de permettre à chaque collaborateur d'assembler ces dernières pour acquérir le spectre de compétences idoines pour les fonctions vers lesquelles il souhaite évoluer.

Même si ce dispositif n'empêchera pas un turnover naturel au sein des entreprises, il devrait contribuer à réduire le turnover moyen de la filière qui engendre des fuites de compétences vers d'autres secteurs d'activité.

Pallier le déficit d'enseignants « maintenance » en faisant appel à des sachants proches de l'âge de la retraite ou récemment retraités.

Une autre des problématiques importantes de la filière est de disposer d'enseignants « maintenance » qui ont une culture de l'industrie ferroviaire et surtout des connaissances avancées de la maintenance des engins.

Concernant les spécialités généralistes de maintenance, il y a à la fois des cursus et des enseignants capables de les dispenser mais en revanche, le volume de formateurs capables de dispenser des cours spécifiques aux engins reste très limité.

Comme il n'existe aucune formation pouvant produire ce type de profils, ce sont souvent des constructeurs ou des professionnels de la maintenance de la filière qui apportent cette contribution à l'enseignement.

Mais pour développer et pérenniser ce pool d'enseignants, il faut prendre en compte plusieurs contraintes exogènes :

- Tout d'abord tout le monde n'a pas la fibre pour dispenser de l'enseignement. Il faut qu'à la base il y ait une volonté de transmettre son savoir aux autres.
- Si la volonté est la première clé de succès, il n'en demeure pas moins qu'il faut également avoir la compétence pour savoir transmettre et donc des bases pédagogiques pour y parvenir.
- Même si la pédagogie peut être innée chez certaines personnes, il faut qu'elle reste correctement structurée pour que son évolution au cours du temps reste adaptée à celle de la technologie et de la formation qui y sont associées.
- La filière a tout intérêt à développer des briques de formation complémentaires pour apprendre aux sachants à former dans un cadre pédagogique.
- Cette catégorie d'enseignants experts doit faire appel à des opérationnels métiers qui mixent à la fois des collaborateurs avec une grande expérience du métier ou d'une catégorie d'engins mais également des profils avec un peu moins d'expérience mais un bagage de connaissances plus important dans le domaine du digital que leurs aînés.
- Ce serait également un moyen pour la filière de gagner des points de productivité dans un contexte d'emploi pénurique et tendu. En effet, offrir la possibilité aux collaborateurs qui le souhaitent de poursuivre une carrière un peu plus longue mais de plus en plus axée sur la transmission du savoir serait bénéfique à toutes les entreprises de l'écosystème.

- La commission Emploi et Formation de Mecateamcluster et son club RH sont à ce titre des outils parfaitement adaptés pour engager ce type de démarche en y associant toutes les parties prenantes, que l'on évoque les exploitants, les constructeurs ou les sous-traitants, qu'ils appartiennent à un grand groupe, une ETI ou une PME.
- La structuration de cette fonction hybride opérationnel/enseignant mériterait d'être explorée pour mettre en œuvre des trajectoires de carrière permettant de consacrer une partie de son temps à enseigner sur des fondamentaux stratégiques pour l'écosystème.
- Le cas des carrières longues doit permettre à ceux qui souhaitent s'y engager de basculer progressivement de l'opérationnel sur du 100 % formation, plus l'âge de la retraite approche. Au-delà, c'est un moyen de conserver dans l'écosystème un précieux savoir-faire qui s'attachera à se transmettre d'une génération de maintenanciers à l'autre.

Donner à la filière une meilleure visibilité sur la politique ferroviaire

Le rapport a largement évoqué que l'industrie ferroviaire est une industrie qui s'inscrit dans des cycles longs compte tenu de l'intensité capitalistique qu'elle représente au niveau national.

Elle reste dans son ensemble un écosystème complexe qui nécessite un savoir-faire particulier dans un contexte permanent en lien avec la sécurité du transport de personnes et de marchandises.

Les décideurs doivent prendre en compte dans leur stratégie que lorsque l'on acte une décision en matière de politique ferroviaire, il est rare de pouvoir en apprécier les effets avant une dizaine d'années.

Devant la volonté affichée du gouvernement à poursuivre une politique ferroviaire ambitieuse à l'horizon 2040 avec un plan d'investissements programmé de cent milliards d'euros, il est urgent de transmettre une feuille de route plus lisible pour les entreprises du ferroviaire et notamment celles de l'écosystème des engins de travaux de voies.

Même si les 7 axes prioritaires à développer ont clairement été énoncés dans le plan, certains d'entre eux méritent d'être plus détaillés pour permettre à l'écosystème des engins d'adapter sa stratégie en tenant compte des différentes contraintes sous lesquelles il opère déjà.

Ainsi, que l'on parle de régénération de voies en dessertes fines, pour améliorer la mobilité interurbaine ou bien encore de zones denses pour limiter le trafic routier au sein des grandes aires urbaines, il faut que l'État transmette le meilleur niveau d'informations dont il dispose déjà pour que tous les acteurs puissent s'engager dans la démarche, notamment pour programmer les investissements nécessaires.

Il ne faut pas oublier que le parc d'engins actuel s'est structuré autour des 3 priorités en lien avec le même objectif de décarbonation, autour de plus de mobilité verte. Les grands projets qui prévalaient jusqu'à présent en matière de politique ferroviaire, étaient axés autour du développement des liaisons grande vitesse et de celui de la mobilité en zones denses.

Désormais, il va devoir tenir compte d'un nouvel axe de développement autour des dessertes fines, liaisons qui permettent de limiter le trafic routier en développant un maillage ferroviaire interurbain plus dense.

Plus tôt les entreprises de la filière auront une feuille de route sur les priorités qui vont en résulter en termes de chantiers, mieux elles adapteront leur parc d'engins dans le cycle de renouvellement.

A ce titre il est important de préciser que les engins les plus stratégiques étant conçus comme des prototypes, il y aura certainement des phases de recherche et développement en amont pour adapter de nouvelles générations d'outils aux nouvelles typologies de chantiers sur lesquels ils auront à intervenir. En effet, si on évoque le cas des dessertes fines, ce seront des besoins plus intenses en termes de régénération de kilomètres de voies avec un maillage plus dense dont beaucoup de zones blanches. Il faudra donc certainement envisager d'intégrer dans le renouvellement du parc des engins plus petits mais avec une plus grande productivité pour pallier plus de chantiers avec des tensions en main d'œuvre dont celle de la maintenance.

Les services de l'État compétents sur ce thème ont tout intérêt à conserver une communication de proximité avec Mecateamcluster. Plus l'écosystème aura de la visibilité sur la feuille de route des investissements, mieux les exploitants pourront anticiper les évolutions stratégiques à opérer sur leur parc d'engins.

Conclusion

La force d'une filière de niche à haute technicité comme celle des engins de travaux ferroviaires est de continuer à pouvoir se fédérer autour des grands thèmes qui dessinent son avenir.

Presque inconnue du grand public, elle gère pourtant une flotte d'engins stratégiques essentiels à la conduite de la politique ferroviaire efficiente et elle doit se démarquer dans la concurrence à l'embauche pour pouvoir assurer et pérenniser des métiers à forte valeur ajoutée.

À l'instar d'autres industries, elle doit faire face à de nombreuses contraintes qui pèsent sur son potentiel de développement mais elle fait partie des filières d'avenir, contribuant à une mobilité plus verte dans un monde toujours plus décarboné.

Plus la filière s'engagera dans une approche collaborative autour de l'emploi et de la digitalisation, plus elle parviendra à se développer de manière efficiente, permettant surtout aux plus petites entreprises de bénéficier d'une démarche d'ensemble.

Le virage vers la digitalisation sera également un moyen d'attirer de nouveaux talents vers les métiers de la maintenance d'engins de travaux ferroviaires en rendant la filière plus attractive qu'elle ne l'est.

Pour y parvenir, elle doit encore relever de nombreux défis avec en premier lieu celui « d'attirer, recruter, former, fidéliser », mais ce défi est également celui de toute l'industrie nationale. Il faut que le cluster s'appuie également sur un environnement plus large ; car plus les secteurs et les filières seront collaboratives sur les grands enjeux communs, mieux les démarches individuelles se structureront pour être plus efficaces.

Les différents travaux conduits pour réaliser ce rapport incitent à penser qu'il faut rapidement conduire une action nationale pour promouvoir les métiers industriels en tension, avec notamment ceux de la maintenance qui va devenir une activité de plus en plus stratégique au fil des prochaines années.

Annexes

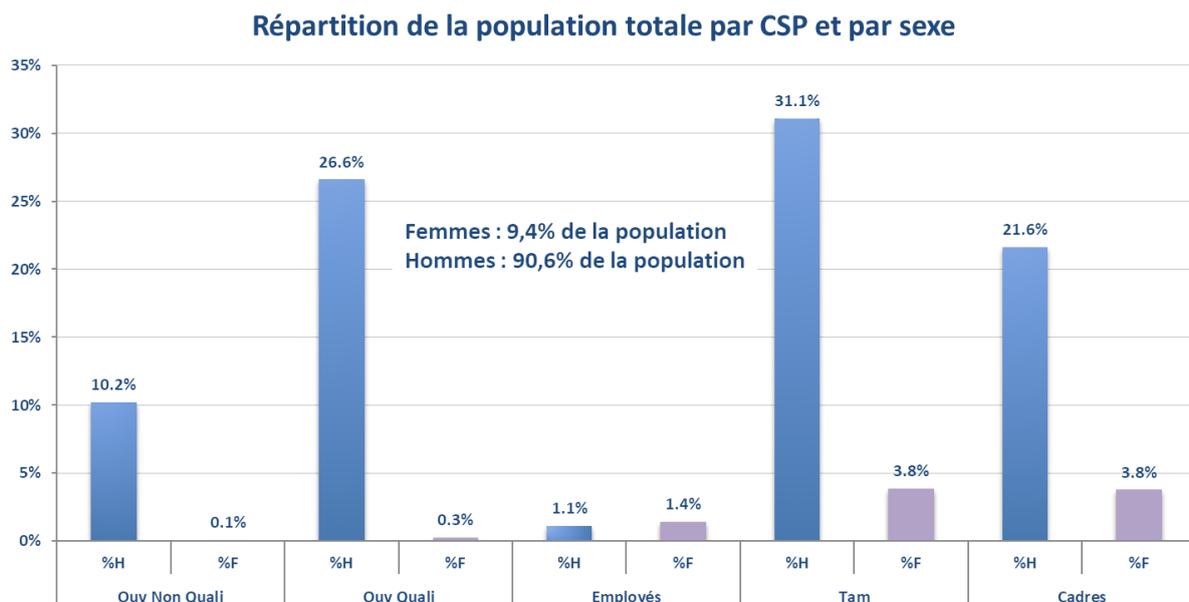
Annexe 1 : Éléments détaillés sur les effectifs en lien avec les engins de travaux ferroviaires

Les tableaux et les données présentés ci-après sont issus d'une enquête intitulée « Panorama des effectifs d'exploitation affectés aux engins de travaux ferroviaires ». Elle a été réalisée en 2015 dans le cadre de Mecateamcluster, notamment pour contribuer aux réflexions sur le développement de l'offre de formations.

Même si cette partie des données n'a pas pu être mise à jour par les entreprises compte tenu des délais pour réaliser le rapport, elle reste tout de même valable car les structures d'emplois évoluent lentement.

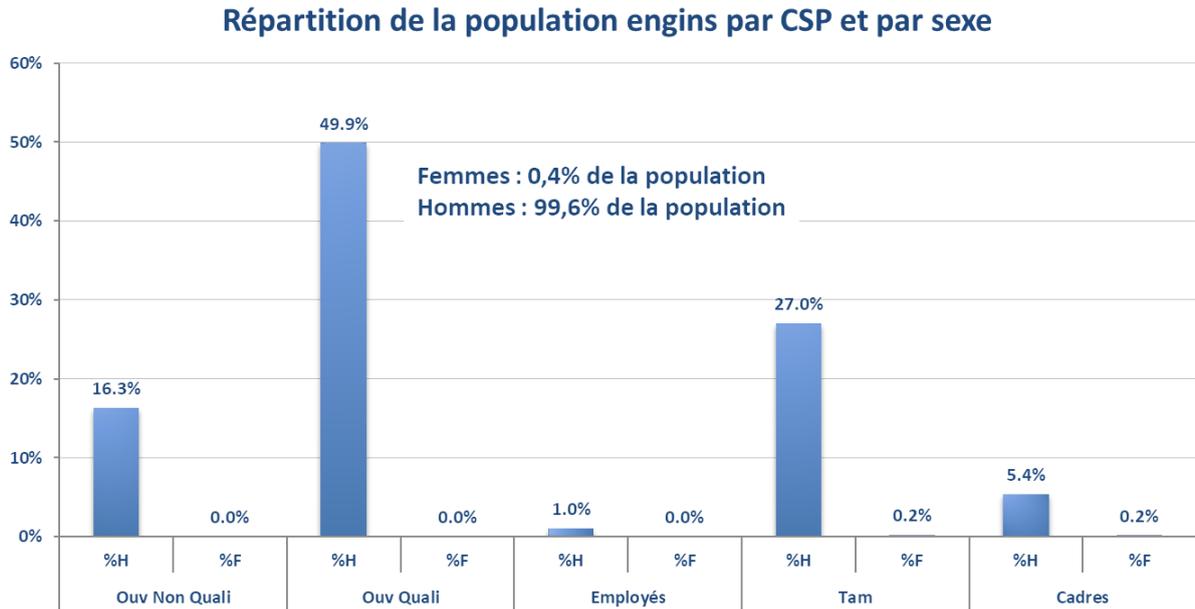
Il est toutefois important de noter que la crise sanitaire a été un accélérateur des tendances lourdes et que même si son impact sur la structure des métiers de ce micro-écosystème reste limité, elle a augmenté le turnover et les difficultés de recrutement déjà prégnantes.

Graphique 1 : Répartition de la structure de la population totale de l'écosystème des engins suivant les catégories socio-professionnelles et le sexe



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

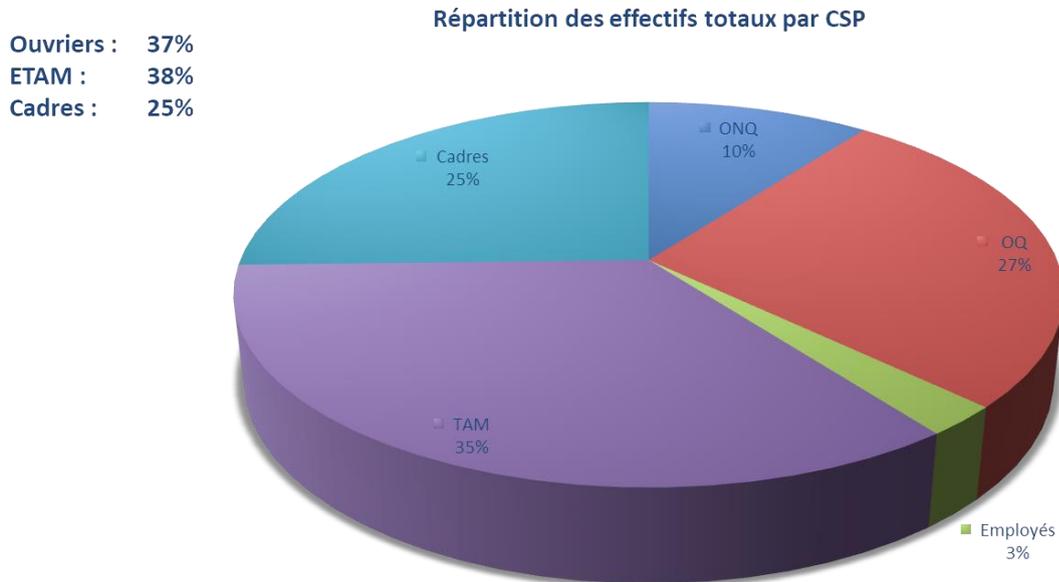
Graphique 2 : Répartition de la structure de la population affectée aux engins suivant les catégories socio-professionnelles et le sexe



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 3 : Répartition de la population totale de l'écosystème des engins suivant les catégories socio-professionnelles

OQ : Ouvrier qualifié – ONQ : Ouvrier non qualifié

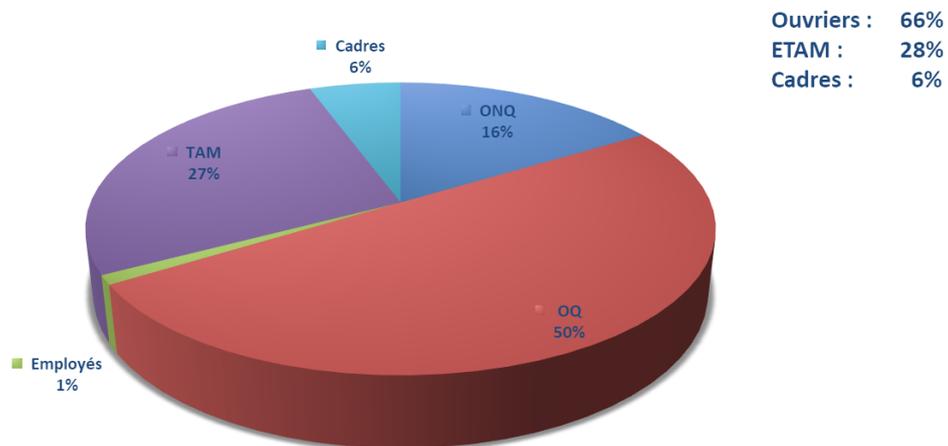


Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 4 : Répartition de la population affectée aux engins suivant les catégories socio-professionnelles

OQ : Ouvrier qualifié – ONQ : Ouvrier non qualifié

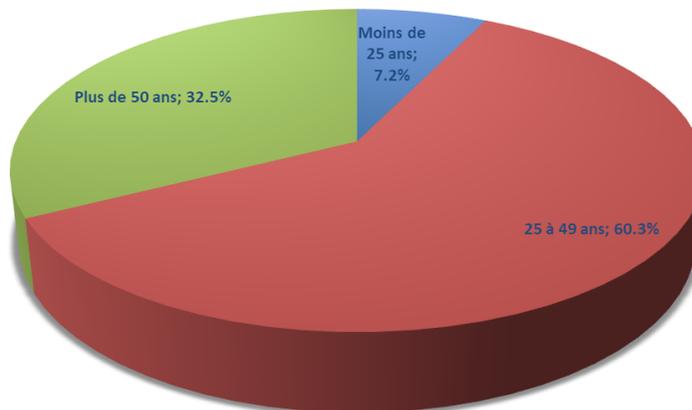
Répartition des effectifs affectés aux engins par CSP



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

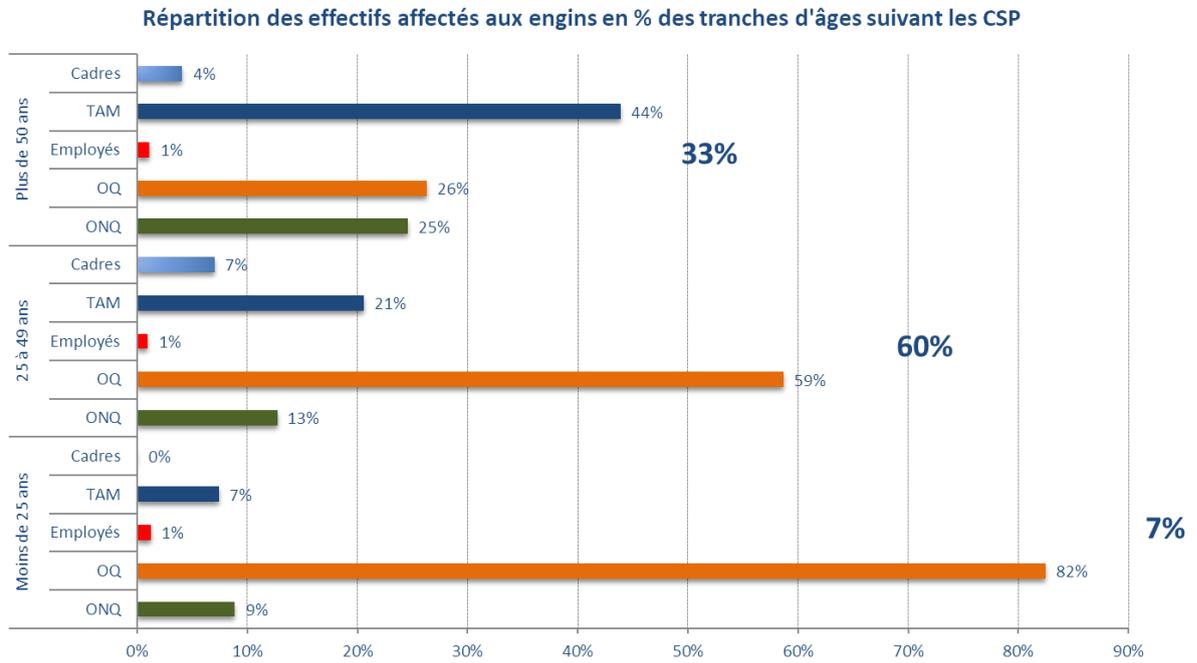
Graphique 5 : Répartition de la population affectée aux engins suivant les tranches d'âges

Répartition des effectifs affectés aux engins par tranche d'âge



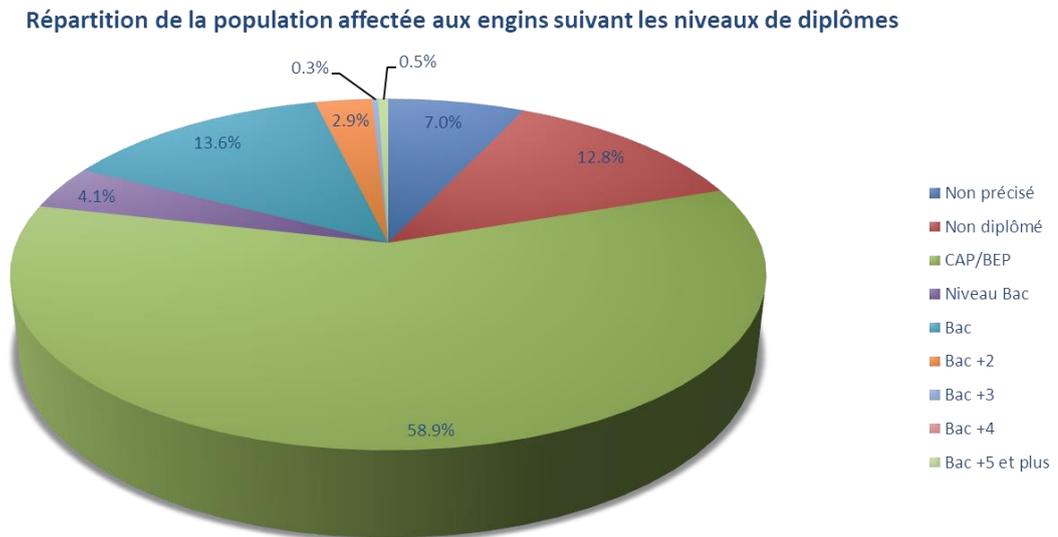
Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 6 : Répartition détaillée de la population affectée aux engins suivant les tranches d'âge et les catégories socio-professionnelles



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

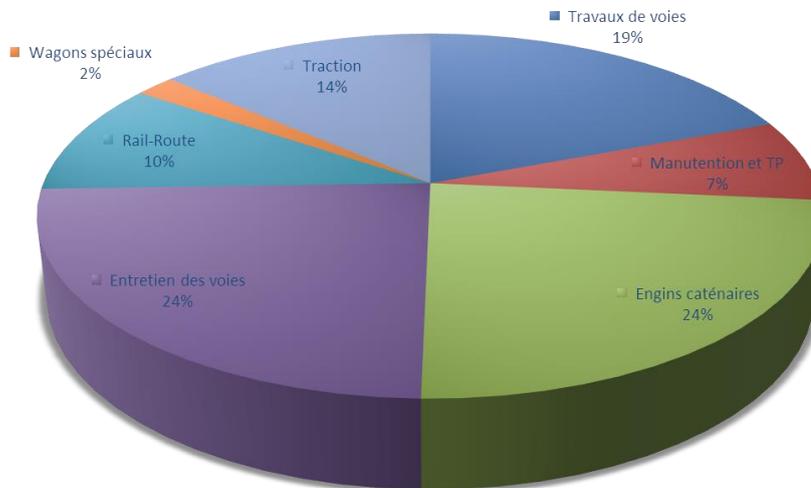
Graphique 7 : Répartition de la population affectée aux engins suivant le niveau de diplôme



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 8 : Répartition de la population suivant les familles d'engins

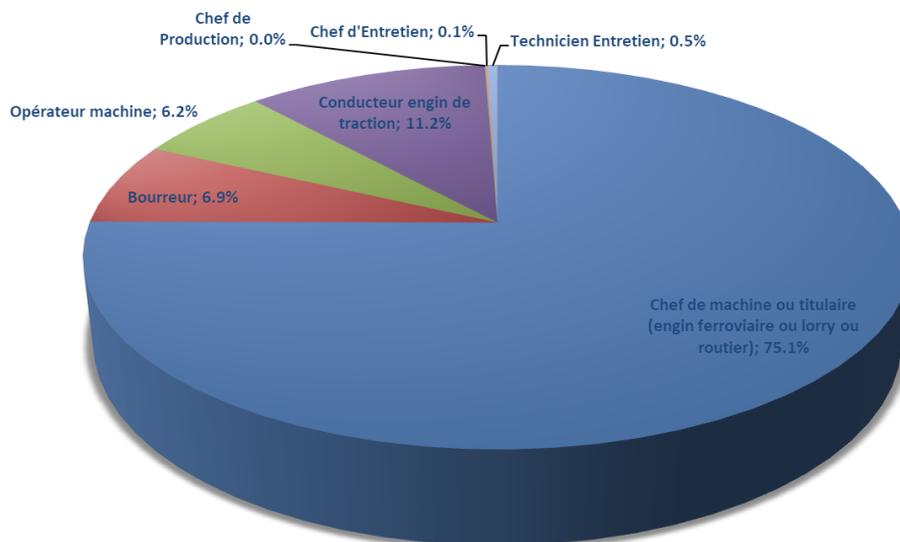
Répartition des effectifs par famille d'engins



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

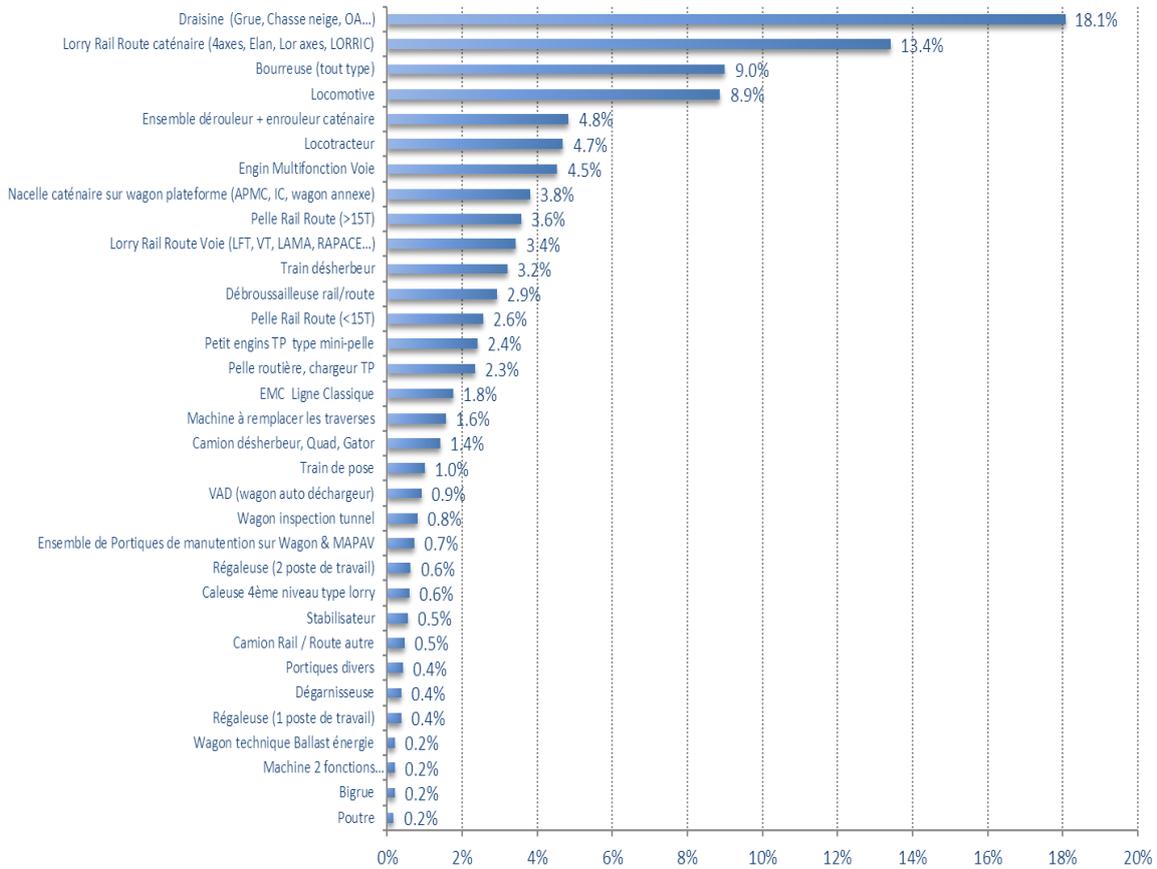
Graphique 9 : Répartition de la population suivant les spécialités métiers

Répartition des effectifs engins suivant les spécialités métiers



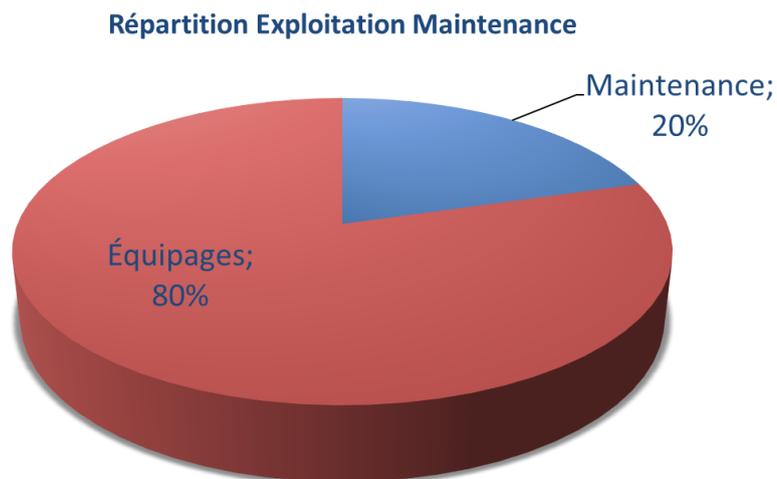
Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 10 : Répartition de la population par type d'engins



Source : Valouy conseil d'après enquête 2015

Graphique 10 : Répartition suivant la grande famille de métiers



Source : Valouy conseil d'après enquêtes 2014 et 2015

Annexe 2 : Catalogue d'offres de formations spécifiques aux engins de travaux ferroviaires

Formation continue	Descriptif	Organisme
Electricité - Electrotechnique niveau 1 initiation - adaptée à la maintenance des engins de travaux ferroviaires	acquérir les principes de base, savoir intervenir en toute sécurité sur le circuit électrique d'un engin ferroviaire ou mobile	CAMPUS MECATEAM
Electricité - Electrotechnique niveau 2 perfectionnement - adaptée à la maintenance des engins de travaux ferroviaires	savoir identifier les composants électriques sur un schéma, diagnostiquer les pannes sur un engin ferroviaire ou mobile en toute sécurité	CAMPUS MECATEAM
Hydraulique niveau 1 initiation - adaptée à la maintenance des engins de travaux ferroviaires et mobiles	acquérir les principes de base, savoir intervenir en toute hydraulique sur le circuit électrique d'un engin ferroviaire ou mobile	CAMPUS MECATEAM / FLUIDEXPERT
Hydraulique niveau 2 perfectionnement - adaptée à la maintenance des engins de travaux ferroviaires et mobiles	savoir identifier les composants hydrauliques sur un schéma, comprendre et contrôler un fonctionnement de machine, diagnostiquer les pannes sur un engin ferroviaire ou mobile	CAMPUS MECATEAM / FLUIDEXPERT
Pneumatique niveau 1 initiation - adaptée à la maintenance des engins de travaux ferroviaires et mobiles	connaître les composants pneumatiques et leurs fonctions, savoir intervenir en toute sécurité sur le circuit pneumatique d'un engin ferroviaire ou mobile	CAMPUS MECATEAM
Maintenance préventive niveau 1 - sur engins lourds	réaliser les opérations de maintenance de niveau 1 en respectant les schémas de maintenance sur les engins lourds	CAMPUS MECATEAM / FRAMAFER
Maintenance corrective - dispositifs de secours et gestion des pannes - sur engins lourds	connaître les règles d'utilisation de l'engin lourd en mode dégradé et savoir réagir aux défaillances	CAMPUS MECATEAM / FRAMAFER
Habilitation électrique batterie - véhicules et engins à énergie électrique embarquée	Exécuter en sécurité des opérations d'ordre électrique sur des véhicules ou engins ayant une source d'énergie électrique embarquée	CAMPUS MECATEAM
Formation bourrage /équiper	acquérir des compétences utiles à la fonction occupée	FRAMAFER
Formation chef de machine / cabine avant	formation générique sur les systèmes embarqués des engins	FRAMAFER
Formation Opérateur ZCA 2000 LGV	formation générique sur les systèmes embarqués des engins type ZCA 2000 LGV	FRAMAFER
Formation opérateur EMV	formation générique sur les systèmes embarqués des engins type EMV	FRAMAFER
Formation opérateur BI3N	formation générique sur les systèmes embarqués des engins type BI3N	FRAMAFER
Formation C.M.S / C.W.S / WinBao / WinEao	formation générique sur les spécificités des systèmes embarqués	FRAMAFER
Formation mainteneurs	formation permettant d'acquérir des compétences supplémentaires, complémentaires et utiles à la fonction occupée pour engins lourds	FRAMAFER
Formations dispositifs bourrage digitalisé	formation générique sur les spécificités des systèmes embarqués	MATISA
Les unités de bourrage	connaître le principe de fonctionnement et l'entretien des unités de bourrage	MATISA
Schéma de maintenance et entretien	comprendre et appliquer le schéma de maintenance et assurer l'entretien des engins	MATISA
Cableur ferroviaire	Connaître les règles de câblage suivant la dernière norme ferroviaire en vigueur utilisées dans les ateliers de montage.	FORMA PROTEC
Formation en apprentissage	descriptif	organisme
Mention complémentaire Maintenance des Installations Oléohydrauliques et Pneumatiques adaptée aux engins ferroviaires et mobiles	diplôme de l'Education Nationale coloré ferroviaire, formant des personnes de terrain polyvalentes en hydraulique leur permettant de contribuer à l'optimisation de la disponibilité des engins de travaux ferroviaires	CAMPUS MECATEAM
BTS Maintenance des Systèmes option A Systèmes de production - adapté à la maintenance des engins ferroviaires et mobiles	diplôme de l'Education Nationale coloré ferroviaire, formant des personnes de terrain polyvalentes en mécanique, électrique, hydraulique et automatisme leur permettant de contribuer à l'optimisation de la disponibilité des engins de travaux ferroviaires	CAMPUS MECATEAM

Source : Campus Mecateam

Annexe 3 : Source de l'éclairage Allemagne

Entretiens individuels

Cluster BahnTechnik Bayern : Dr. Rudolf AUNKOFER et Markus STICH

INVEHO : Régis MURAT, Bodo WILLMANN et Inès WILLMANN-DOLL

ROBEL : Olivier MARCO

Rapports et présentations

Bundesrechnungshof – Cour fédérale des Comptes – Bericht nach §99 BHO zur Dauerkrise der Deutschen Bahn AG: Hinweise für ein strukturelle Weiterentwicklung – 15/03/2023, Rapport 33 Pages.

GLOBAL RAIL GROUP (présentation) – Rail Knowledge Driving Innovation: Increasing the Capacity, Safety and Efficiency of your network – 24 pages

DB Netz AG – Infrastructure présentation, 10/2020

Articles

Handelsblatt – 14/04/2023, Bahnreform: „Wir wollen so wenig wie möglich ändern“

Stuttgarter Nachrichten – 12/04/2023, Milliardenpritze für die Bahn

DVZ Brief – 16/03/2023, DB verteilt schlechte Noten an ihr eigenes Netz

WDR NDR Tagesschau – 16/03/2023, Zustand des Bahn-Netzes: Vorstand fordert "radikalen Kurswechsel"

Bahnblogstelle – 23/02/2023, DB Netz AG: Prototyp-Betrieb für den Digitalen Befehl startet Ende 2024

DPA – 08/12/2022, Finanzierung für Digitalprojekte auf der Schiene vereinbart

System Bahn – 21/09/2022, Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung von Bahn-Fachkräften

Global Rail Review: 15/09/2022, DB Netz extends preventive rail maintenance contract

LOK Report – 31/05/2022, DRS Alliance: Neue Allianz für Infrastruktur-Komplettlösungen im System Bahn

Railtech.be – 8/02/2022, Allemagne : la DB prépare le réseau et les gares pour l'avenir

Missions allemandes en France – 03/02/2022, la Deutsche Bahn annonce des investissements record en 2022

Remerciements

Toute l'équipe du projet CONVERT tient à remercier les contributeurs à la rédaction de ce rapport :

- Julien ASSENCIO – AKIEM
- Rudolf AUNKOFER – Cluster BahnTechnik und CNA e.V
- Pierre BENEVENT – ETF
- Véronique BOULANGER – ARLINGTON FLEET
- Frédéric COVAIN - TSO
- Louis CURTO – ERION
- Stéphanie DAUSSE - LORRAINFER
- Jérôme DUBERVILLE – GEISMAR
- Chloé GOLFIER – COLAS RAIL
- Bertrand HALLE – SOCOFER
- Cédrine KHIER – NOVIUM
- Laurie LECOQ - ETF
- Marie LEGUY – EIFFAGE RAIL
- Laurent LEVEQUE – TSO
- Laurent LINXE – COLAS RAIL
- Olivier MARCO – ROBEL
- Benoit MOULIN – EIFFAGE RAIL
- Régis MURAT – INVEHO
- Régis NOIRIEL – SNCF Réseau
- Samuel PENNECOT
- Jérôme PERROTIN - INVEHO
- Céline PHILIPPE – MATISA
- Sandrine PHILIPPE
- Kévin PIERRE-EMILE – Fives Maintenance
- Léa REYX-RICHARD – AKIEM
- Philippe ROCHER – UNIFER
- Markus STICH – Cluster BahnTechnik und CNA e.V
- Nicolas VERHAEGHE – Bouygues Énergies et Services
- Bodo WILLMANN - INVEHO
- Inès WILLMANN-DOLL - INVEHO



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Contacts

[Virginie BONNIN](#)

[Frédéric DEBLEDS](#)

[Jean-Jacques ENRICH](#)

[Michel BERTHELIER](#)