



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral des transports OFT
Division Financement

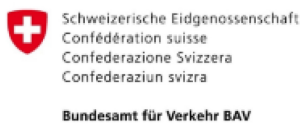
Wolf-Dieter Deuschle 24 octobre 2022

Rapport conceptuel

Automatisation en fret ferroviaire suisse, commençant par la migration vers l'attelage automatique numérique

Référence : BAV-334-5/2/2/5/7

un projet de



avec la participation de la branche :



Table des matières

1	Résumé	3
2	Conception des objectifs	5
2.1	Fonctionnalités possibles grâce au DAC	6
2.2	Composants techniques de rééquipement des véhicules.....	16
2.3	Nombre de véhicules à adapter	17
2.4	Utilité.....	19
3	Collaboration avec l'Europe et interopérabilité.....	23
4	Concept de migration	24
4.1	La migration du point de vue de la Suisse	24
4.2	Dépendance envers l'Europe.....	26
5	Gestion des risques.....	27
6	Conclusion.....	29

1 Résumé

La numérisation et l'utilisation de nouvelles technologies sont indispensables pour un fret ferroviaire viable, faisant partie intégrante d'une mobilité durable et intelligente. Elles permettent de fournir de manière plus souple, plus simple, plus fiable et plus économique les prestations du système ferroviaire dans le transport de marchandises. Le fret ferroviaire deviendra ainsi plus attractif et plus compétitif, contribuant ainsi à la réalisation des objectifs climatiques. L'élément central est l'attelage automatique numérique (DAC, de l'anglais *digital automatic coupling*), qui permettra d'accélérer, de simplifier et de rendre plus avantageux le fret ferroviaire en Europe.

Dans ce cadre, le projet « Automatisation dans le fret ferroviaire suisse, commençant par la migration vers l'attelage automatique numérique » a été lancé en septembre 2021 en Suisse. Le secteur a été impliqué par le biais des associations. En coordination avec les instances européennes, le concept d'objectif et de migration a été élaboré en vue de la consultation et documenté dans le présent rapport. Les connaissances sont approfondies depuis octobre 2022 afin que le concept concret d'objectifs et de migration relatif au DAC soit disponible d'ici avril 2023 pour le projet de message et que les travaux de mise en œuvre puissent être préparés sur cette base. L'objectif est de pouvoir commencer la migration vers le DAC en même temps que l'Europe, à partir de 2025, après l'examen du projet par le Parlement.

À lui seul, le DAC ne présente pas une utilité proportionnelle à l'investissement. Il faut réaliser l'automatisation et la numérisation en une seule étape, afin de permettre une optimisation globale des transports. Outre l'attelage mécanique, il faut aussi intégrer l'énergie et le flux de données au processus d'attelage. Cette étape requiert le niveau 4 du DAC, qui doit en outre être développé de manière à être compatible avec le niveau 5, le dételage télécommandé.

Le DAC est conçu comme un attelage avec tampon central, capable de transmettre des forces de traction et de compression. Les tampons traditionnels sur les wagons seront supprimés. Outre la liaison mécanique et pneumatique, c'est surtout l'équipement numérique qui est décisif pour les fonctionnalités suivantes :

- essai automatique d'efficacité du frein ;
- enregistrement automatique de la place des wagons ;
- contrôle de l'intégrité du train ;
- frein électropneumatique (frein EP) ;
- contrôle technique numérique des wagons ;
- technique de base pour la maintenance des wagons en fonction de leur état et pour la mise à disposition des informations logistiques.

Pour remplir ces fonctionnalités, les véhicules seront équipés des composants ci-après. L'équipement et les interfaces doivent être uniformes dans toute l'Europe afin de permettre une utilisation flexible du matériel roulant :

- DAC avec bloc-ressort et dételage manuel/électrique ;

- adaptation de la conduite du frein pneumatique pour le raccordement par DAC ;
- câbles pour le courant électrique et le flux des données, y compris tubage ;
- transformateur pour la tension des wagons et batterie-tampon ;
- unité embarquée pour traiter localement les signaux des capteurs et servir de point de communication ;
- capteurs, actionneurs et, le cas échéant, vannes.

Au total, il y a environ 450 000 wagons en Europe. En Suisse, il faut en équiper et transformer 18 000. À cela s'ajoutent quelque 520 locomotives de ligne et de manœuvre.

Le DAC déploie sa principale utilité dans l'exploitation quotidienne du fret ferroviaire. Il profite au transport par wagons complets isolés (TWCI) pour les différents processus de séparation et de formation. Les composants numériques économisent du temps et des ressources lors de la préparation des trains. Le transport par trains complets en profite également.

Il en résulte aussi des effets de capacité sur l'infrastructure. Des durées de rotation plus courtes délestent les terminaux et les gares de triage, la meilleure dynamique des trains permet des vitesses harmonisées avec celles des autres types de transport, ce qui peut créer des sillons supplémentaires sur le réseau suisse fortement sollicité. La possibilité de faire circuler des trains plus lourds et la meilleure sécurité au déraillement contribuent à rendre le réseau plus fiable. Les détenteurs de véhicules peuvent mettre à profit les possibilités qu'offre la numérisation pour leur disposition.

Outre le financement, la migration constitue le plus grand défi pour l'introduction du DAC. Les wagons équipés du DAC et ceux équipés de l'attelage à vis ne sont pas compatibles et ne peuvent donc pas être attelés directement. Cela concerne principalement le TWCI, qui requiert systématiquement le plus grand nombre d'opérations d'attelage et qui doit donc être adapté dans un délai relativement court afin que la qualité du service à la clientèle ne soit pas diminuée pendant la période de transition. Les transports par trains complets et les transports isolables seront moins critiques lors du changement.

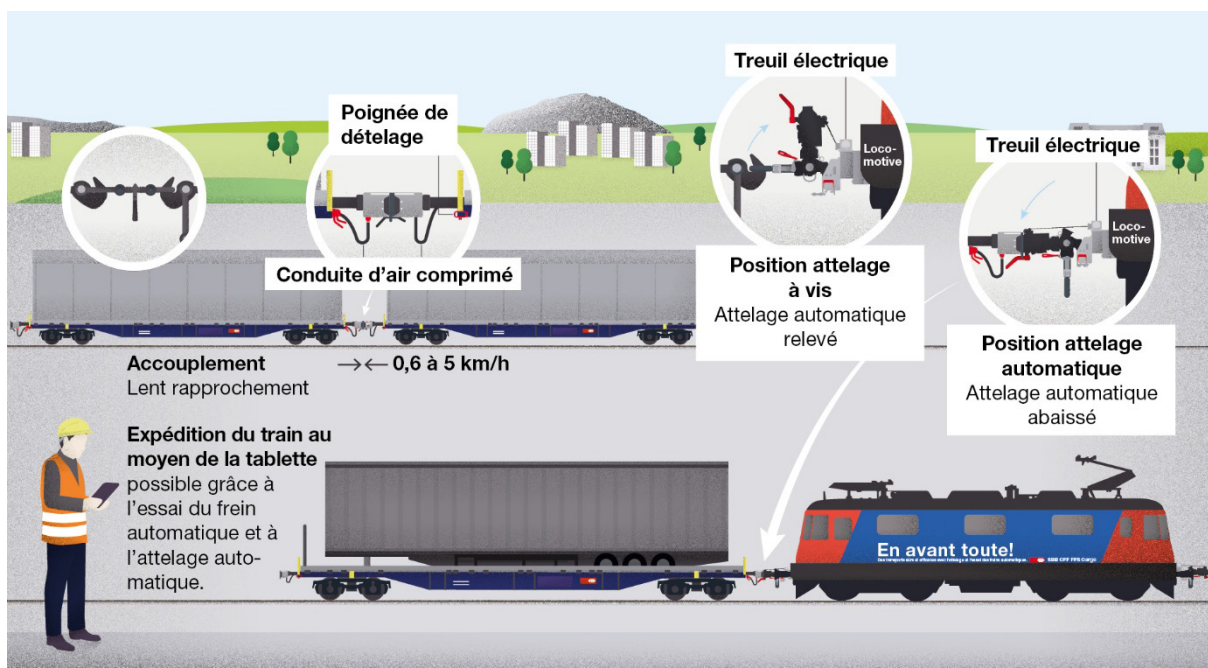


Figure 1 : les processus aujourd'hui et demain (source : CFF Cargo)

2 Conception des objectifs

L'objectif de l'automatisation et de la numérisation en fret ferroviaire est de rendre ce dernier plus rapide, plus fiable, plus économique, plus simple et plus sûr.

L'introduction du DAC tel qu'il existe aux États-Unis ou au Japon depuis le début du XX^e siècle a jusqu'à présent échoué à deux reprises en Europe. Les raisons en sont multiples : d'une part, il est nettement plus difficile de parvenir à un accord sur le changement dans un système de transport comptant autant d'États et d'intérêts que l'Europe, et d'autre part, les avantages de l'attelage mécanique seul ne sont pas proportionnels à l'investissement. Il faut que l'automatisation et la numérisation se fassent en même temps afin de générer une utilité maximale, et ce, systématiquement sur tout le réseau ferroviaire. L'élément central du DAC permet toute une série d'autres fonctionnalités qui génèrent des avantages supplémentaires aussi bien pour le TWCI que pour les trains complets.

En Europe, le fret ferroviaire est essentiellement transfrontalier. L'utilité du DAC est potentialisée lorsque celui-ci est compatible avec tous les transports européens sur le réseau à voie normale. C'est pourquoi la Suisse est intégrée dans le projet européen global d'introduction du DAC, le *European DAC Delivery Programme* (EDDP). Des progrès significatifs ont déjà été réalisés dans le cadre de cette coopération européenne, comme nous le verrons en détail au chapitre 3.

L'automatisation et la numérisation doivent notamment transformer les processus d'exploitation du fret ferroviaire, qui impliquent un travail manuel important et, par conséquent, prennent beaucoup de temps. Une analyse

des flux de valeur¹ des transports, réalisée en 2014 par CFF Cargo dans le TWCI, montre qu'il est urgent d'agir pour réduire les coûts, en particulier sur le premier et le dernier kilomètre, qui représentent environ 60 % de l'ensemble des coûts de production. L'objectif qui en découle est l'exploitation dite « par une seule personne », qui vise à concevoir le soutien technologique sur le terrain de manière à ce que la desserte de la surface puisse être effectuée par une seule personne au lieu de deux ou trois aujourd'hui, tout en étant beaucoup plus rapide.

Le DAC est conçu de manière à être compatible vers le haut (voir figure 2 « étapes de développement du DAC »), ce qui permet un développement et une introduction par étapes : la conception des objectifs de la Suisse prévoit dans un premier temps d'introduire le DAC 4 : la connexion électrique et de données pose un jalon important pour la numérisation. La prochaine et dernière étape, qui permettra également le dételage automatique télécommandé, consiste avant tout en une mise à niveau logicielle, laquelle doit cependant répondre à des exigences de sécurité élevées. C'est pourquoi cette étape ne sera planifiée que plus tard.

<i>Caractéristiques techniques</i>	AC1 ²	AC2	DAC3 ²	DAC4	DAC5
Attelage mécanique automatique	✓	✓	✓	✓	✓
Attelage automatique avec conduite de frein intégrée		✓	✓	✓	✓
Alimentation électrique pour les wagons			✓	✓	✓
Transmission numérique de données				✓	✓
Dételage télécommandé sécurisé					✓

Figure 1 : étapes de développement du DAC. Les deux premières ne sont encore que désignées comme « attelage automatique (AC, de l'anglais *automatic coupling*) ».

2.1 Fonctionnalités possibles grâce au DAC

Le DAC réunit de nombreux avantages. L'optimisation des processus d'exploitation ferroviaire sur l'ensemble des systèmes est au premier plan. Les avantages directs résultent de l'attelage mécanique automatique lors du rapprochement des véhicules et du dételage nettement facilité. D'autres avantages directs proviennent de l'alimentation du train en électricité et de la transmission de données. Cela permet de mettre en place des fonctionnalités « facilitatrices » qui numérisent, simplifient et accélèrent les processus de

¹ Effectuée par CFF Cargo dans le cadre d'une étude interne détaillée sur la structure des coûts de production dans les catégories Conducteurs de locomotive, Coûts des sillons, Employés de la manœuvre, Conducteurs de locomotives de manœuvre et Personnel technique.

² Option théorique, n'entre pas en ligne de compte.

préparation nécessaires décrits ci-dessus. Au-delà des processus d'exploitation, le DAC génère des avantages indirects à l'échelle de l'ensemble du système dans de nombreux domaines d'activité des entreprises de transport ferroviaire (ETF), de l'infrastructure et des détenteurs de véhicules.

a) L'attelage et ses fonctionnalités

L'attelage Scharfenberg de type 10, utilisé depuis des décennies dans toute l'Europe en transport de voyageurs, a été choisi dans le cadre de l'EDDP en septembre 2021. Les autres attelages envisageables étaient un attelage SA3 modifié (basé sur l'attelage utilisé principalement sur le réseau à voie large dans l'est de l'Europe) et un attelage Schwab du fabricant Faiveley. Ces trois systèmes ont été soumis à des essais de fonction dans différentes situations de manœuvre et dans toutes les conditions météorologiques. Le système Scharfenberg s'est montré le plus performant et a été choisi à l'unanimité par l'EDDP en vue de la poursuite de la mise en oeuvre.

Avec le soutien de la Confédération, CFF Cargo a été le premier chemin de fer européen à mettre en service dès 2019 un réseau intérieur de transport combiné avec environ 200 wagons et 25 locomotives équipés de l'attelage Scharfenberg. L'expérience gagnée en Suisse grâce à cette exploitation commerciale a notamment été déterminante lors du choix du type d'attelage au niveau européen.

L'attelage Scharfenberg est un attelage avec tampon central transmettant les forces de traction et de pression ; cela signifie que le système de ressorts fait partie de l'attelage et est placé dans l'espace de montage UIC du véhicule. Les tampons latéraux ne sont plus nécessaires. La force de traction possible passe de 850 kilonewtons (kN) pour l'attelage à vis à 1000 kN pour l'attelage à tampon central, ce qui permet de transporter des trains plus lourds (jusqu'à 17,5 %). La transmission de la force s'effectue sans frottement via l'attelage avec tampon central, ce qui réduit en outre les forces transversales dans les courbes et use ainsi moins l'infrastructure tout en offrant une plus grande sécurité au déraillement.



Figure 2 : grâce au DAC, le groupe de trains est attelée en un « clac » à la locomotive.

AC 2 : la tête d'attelage de type 10 établit automatiquement la connexion mécanique et pneumatique lors du rapprochement des véhicules. Le dételage s'effectue par traction sur le câble (dispositif de dételage manuel).

DAC 4 : ce niveau permet de raccorder l'électricité et les conduites de données.

Le système électrique choisi dans le cadre de l'EDDP est un système monophasé 400 V AC, les 110 V initialement prévus s'étant révélés trop peu performants.

Le système de communication des données n'est pas encore déterminé. Dans le cadre de l'EDDP, l'éventail des technologies a pu être réduit de 14 systèmes évalués à deux technologies. Les deux systèmes encore en lice sont le *Single Pair Ethernet* (SPE) et le *Powerline Plus*. Alors que dans le cas de la solution *Powerline Plus*, les données sont transmises via le câble électrique et traitées par des modems spécifiques, le système SPE nécessite une conduite de données dédiée en sus de la ligne électrique via la tête d'attelage. Les deux technologies sont développées dans le cadre du programme *Europe's Rail Joint Undertaking* (ERJU, voir ci-dessous) jusqu'à ce qu'une décision fondée puisse être prise. La technologie *Powerline Plus* sera

testée par CFF Cargo, à nouveau avec le soutien de la Confédération, en collaboration avec la Haute école de Lucerne et les entreprises Voith et PJM.

Avec le DAC 4 du fournisseur Voith, le dételage à l'arrêt se fait électriquement en appuyant sur un bouton sur le côté du wagon (voir figure 3). À la bosse de débranchement dans les gares de triage, le dételage doit aussi être possible lorsque les véhicules sont en mouvement. Le développement nécessaire des systèmes d'attelage est actuellement en cours, en concertation avec les fournisseurs.



Figure 3 : dételage par simple pression sur un bouton (source : CFF Infrastructure)

DAC 5 : ce niveau ajoute au DAC 4 le dételage télécommandé au moyen d'une tablette ou à partir de l'ordinateur de la bosse de débranchement. Il s'agit principalement d'une mise à niveau logicielle qui dispose d'un degré de sécurité adéquat et des processus d'exploitation nécessaires en arrière-plan. Il concerne avant tout la cybersécurité, afin d'empêcher un dételage non autorisé. Vu la complexité nettement plus élevée, cette fonctionnalité ne sera mise en œuvre qu'à une date ultérieure (plusieurs années après l'introduction opérationnelle du DAC 4). Le DAC 4 doit toutefois être introduit en étant compatible vers le haut avec le DAC 5.

b) Applications numériques possibles grâce au DAC

Comme décrit ci-avant, le DAC permet une série de cas d'application numériques, déterminants pour l'exploitation, qui doivent cependant être développés séparément et qui posent d'autres exigences, notamment en matière d'homologation. Ces cas d'application sont décrits brièvement ci-après :

Essai automatique d'efficacité du frein

Mode de fonctionnement : lors de l'essai automatique d'efficacité du frein, des capteurs et des dynamomètres vérifient que le système de freinage soit en bon état. Les états de freinage sont déterminés à partir des signaux des capteurs dans un système fonctionnellement sécurisé et affichés sur la tablette du responsable de l'essai d'efficacité du frein (voir aussi Figure 4 : comparaison des processus manuel et automatique d'essai d'efficacité du frein). Le processus d'essai « desserrage-freinage-desserrage » défini dans les prescriptions de circulation est respecté.

Processus actuel : le fonctionnement correct des freins des trains de marchandises est vérifié manuellement. Pour ce faire, un employé de la manœuvre doit parcourir deux fois le train dans sa longueur. À l'aller, il vérifie si les freins sont serrés et au retour, s'ils sont desserrés. Ce contrôle doit être effectué sur chaque bogie au moyen d'un test sonore ou de vibration. L'essai d'efficacité du frein doit être exécuté après chaque reconstitution d'un train ou au plus tard après 24 heures.

Utilité du DAC : l'essai automatique d'efficacité du frein génère un gain de temps considérable. Alors que deux personnes sont généralement présentes actuellement (le conducteur de locomotive et le collaborateur de manœuvre), cette activité pourra désormais être effectuée par le seul responsable de l'essai d'efficacité du frein, ce qui permet de gagner jusqu'à 70 minutes sur les trains longs. En outre, les résultats de l'essai d'efficacité du frein sont systématiquement enregistrés et documentés.

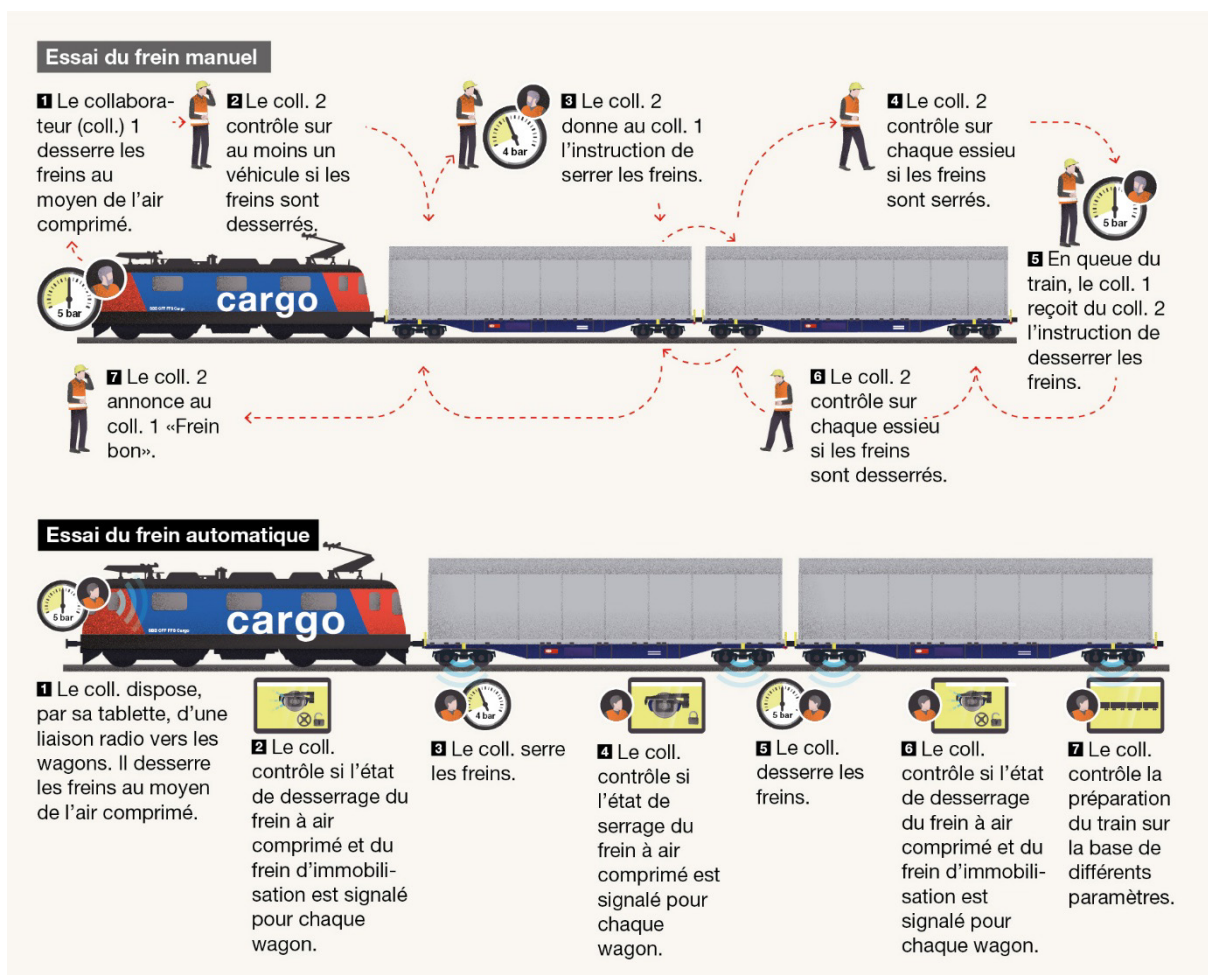


Figure 4 : comparaison des processus manuel et automatique d'essai d'efficacité du frein (source : CFF Cargo)

Enregistrement automatique de la place des wagons

Mode de fonctionnement : grâce à la transmission des données dans le groupe de trains, la locomotive peut contacter directement les wagons. Dans le cadre du « baptême » ou de « l'initialisation du train », les wagons sont appelés et répondent selon une routine définie de manière que l'ordre et l'orientation des wagons puissent être saisis. La liste ainsi générée est une condition préalable aux étapes préparatoires suivantes, tant au niveau du *back-end* (liste du train pour l'infrastructure, calcul de freinage) que de la composition du train (intégrité du train, essai automatique d'efficacité du frein).

Processus actuel : la place des wagons est saisie manuellement par un employé de la manœuvre.

Utilité du DAC : économie du temps nécessaire pour saisir les numéros des wagons, qualité des données fiable sur la liste du train et prévention des erreurs de classement.

Contrôle de l'intégrité du train

Mode de fonctionnement : comme pour l'enregistrement automatique de la place des wagons décrit ci-dessus, la transmission des données dans le train permet de surveiller en permanence l'intégrité du train grâce à l'identification univoque des wagons et de leur place. Les éventuels détachements de wagons ou de groupes de wagons sont détectés de manière fiable et signalés en temps réel au conducteur de locomotive ainsi qu'à la centrale d'exploitation.

Processus actuel : des plaques marquent la fin d'un groupe de trains. La présence de ces plaques n'est toutefois pas toujours contrôlée durant la course du train. L'intégrité des trains est surveillée au sol par exemple au moyen de compteurs d'essieux ou de circuits de voie. En cas de séparation involontaire du train, l'air comprimé s'échappe de la conduite de train ouverte et entraîne l'arrêt des différents éléments du train.

Utilité du DAC : dès que l'information sur l'intégrité du train sera disponible de manière constante, il sera possible de supprimer a) les plaques de fin de de groupe de train et éventuellement b) les installations de surveillance au sol. L'information sur l'intégrité du train est aussi une condition nécessaire à l'introduction de l'ETCS Level 3 (*moving block*).

Détection de déraillement

Mode de fonctionnement : les déraillements d'essieux sont détectés immédiatement avec fiabilité et l'information est transmise au conducteur de locomotive.

Processus actuel : en Suisse, les systèmes mécaniques sont utilisés pour des transports spécifiques particulièrement dangereux. Jusqu'ici, l'introduction généralisée souhaitée depuis des décennies par la Suisse a échoué

au niveau international parce que ces systèmes présentent encore certains inconvénients en termes de fiabilité et de rapport coût-utilité.

Utilité du DAC : grâce au DAC, il est possible d'utiliser des systèmes électroniques pour détecter des essieux déraillés ou transmettre des informations correspondantes, ce qui permet de prendre les mesures nécessaires pour éviter des conséquences importantes, notamment lors du transport de marchandises dangereuses.

Frein électropneumatique

Mode de fonctionnement : le frein EP est établi depuis longtemps en transport de voyageurs. Toutefois, pour des raisons d'exploitation, la technologie utilisée dans le transport de voyageurs ne peut pas être transposée d'emblée au transport de marchandises. La forme exacte d'une éventuelle mise en œuvre dans le fret ferroviaire est encore en discussion dans les milieux spécialisés, c'est pourquoi seuls quelques aspects d'une mise en œuvre potentielle sont abordés ici.

En principe, le grand avantage du frein EP réside dans la possibilité de commander électriquement les valves de freinage, ce qui permet de développer la force de freinage simultanément sur tout le train. Le train peut ainsi freiner plus rapidement tout en étant moins sujet à des réactions longitudinales dans la composition. Il en résulte la possibilité de circuler dans des catégories de freinage plus élevées et donc de rouler plus longtemps plus vite.

Cette situation a des répercussions positives sur la définition des sillons et l'étude de tracé, car la différence de vitesse entre les trains de marchandises et les trains de voyageurs est réduite. Lors de la mise en œuvre, il faut prendre en compte les exigences de sécurité auxquelles la technologie doit satisfaire.

Le desserrage rapide des freins, également établi dans le transport de voyageurs, par exemple après un arrêt aux signaux, nécessite une deuxième conduite d'air dans la rame (conduite d'alimentation de 10 bar), dont l'équipement a posteriori est considéré comme très coûteux et qui ne sera donc probablement pas utilisé.

Processus actuel : le frein est commandé exclusivement par l'augmentation et la réduction de la pression dans la conduite d'air principale actionnée par le conducteur de locomotive. L'augmentation de la force de freinage et le desserrage des freins dépendent directement de la vitesse de propagation de l'air comprimé dans le système de freinage, ce qui entraîne une certaine inertie du système ou le retarde. Comme les trains deviennent de plus en plus longs, cet effet joue un rôle de plus en plus important.

Utilité pour le DAC : la circulation dans des catégories de freinage plus élevées peut avoir de nets effets sur les capacités des sillons et sur l'utilisation commune des sillons en transport de marchandises et de voyageurs (harmonisation des vitesses). L'infrastructure existante peut être mieux exploitée. CFF Infrastructure calcule actuellement l'utilité exacte.

Dételage automatique télécommandé et frein d'immobilisation automatique (DAC 5)

Mode de fonctionnement : le dételage automatique télécommandé permet d'actionner chaque point d'accouplement du train soit à partir de la locomotive soit, par exemple, à partir du poste d'enclenchement. Pour ce faire, il faut que certaines conditions soient remplies afin de garantir la sécurité de l'exploitation ferroviaire. Outre les exigences, à définir, qu'un frein d'immobilisation doit remplir pour sécuriser un véhicule dételé, l'application doit aussi remplir les exigences correspondantes en matière de sécurité fonctionnelle et d'accès illicite (cybersûreté). Les processus d'exploitation concernés doivent également être définis et la technique du poste de commande doit être adaptée pour le dételage télécommandé depuis le poste d'enclenchement.

Processus actuel : une fois les wagons / groupes de wagons à décrocher sécurisés à l'aide du frein d'immobilisation ou après la « pose » de sabots d'arrêt sur certains wagons, l'attelage à vis est desserré et décroché au point de séparation prévu. Au niveau DAC 4, après la sécurisation des wagons, le dételage s'effectue au moyen d'un câble / d'un levier de dételage ou électriquement par pression sur un bouton du wagon.

Utilité du DAC : dans les gares de triage notamment, le débranchement peut être optimisé, car aucune intervention manuelle n'est plus nécessaire sur place. Lors de la livraison des wagons, il est par exemple possible de décrocher un wagon ou un groupe de wagons à la fin d'une composition de train sans que le mécanicien ne doive descendre de la locomotive ou qu'un deuxième employé de la manœuvre ne soit présent.

Contrôle technique numérique du wagon

Mode de fonctionnement : les données relatives à l'état des véhicules et de la cargaison sont saisies en permanence et utilisées pour garantir une exploitation harmonieuse. Les technologies utilisées pour détecter l'état sont utilisées de manière ciblée là où elles peuvent, d'une part, détecter de manière fiable les dommages et permettre ainsi une réduction importante des risques et, d'autre part, fournir des données importantes pour la planification de la maintenance en enregistrant l'évolution de l'usure. Les données sur l'état sont saisies par des systèmes au sol (*Wayside Intelligence*) et embarqués (*Asset Intelligence*, par ex. capteurs d'accélération). L'état des véhicules peut être enregistré et transmis à tout moment pour chaque wagon par des systèmes embarqués, donc également avant le départ du train, et par des systèmes au sol pendant le trajet lors du passage aux systèmes de mesure. Afin que de tels systèmes automatiques permettent d'effectuer un contrôle des trains avant le départ sans personnel, tous les véhicules d'un groupe de trains doivent être équipés en conséquence. La surveillance de l'intégralité du contrôle technique sur tous les wagons s'effectue avec le soutien informatique correspondant dans un poste de commande central (voir Figure 5 : plan stratégique du contrôle numérique des wagons).

Processus actuel : avant chaque départ, le train est contrôlé dans le cadre de la préparation technique par un contrôleur technique spécialement formé.

Utilité : réduction du travail de contrôle manuel, transparence et traçabilité des contrôles effectués. L'analyse des tendances et la connaissance permanente de l'état des véhicules permettent une maintenance plus efficace, basée sur l'état et nécessitent moins d'interventions pendant la circulation des trains. La traçabilité de l'origine des dommages entraîne moins de dommages dus à une utilisation non appropriée ou des effets positifs lors de la facturation au responsable du dommage.

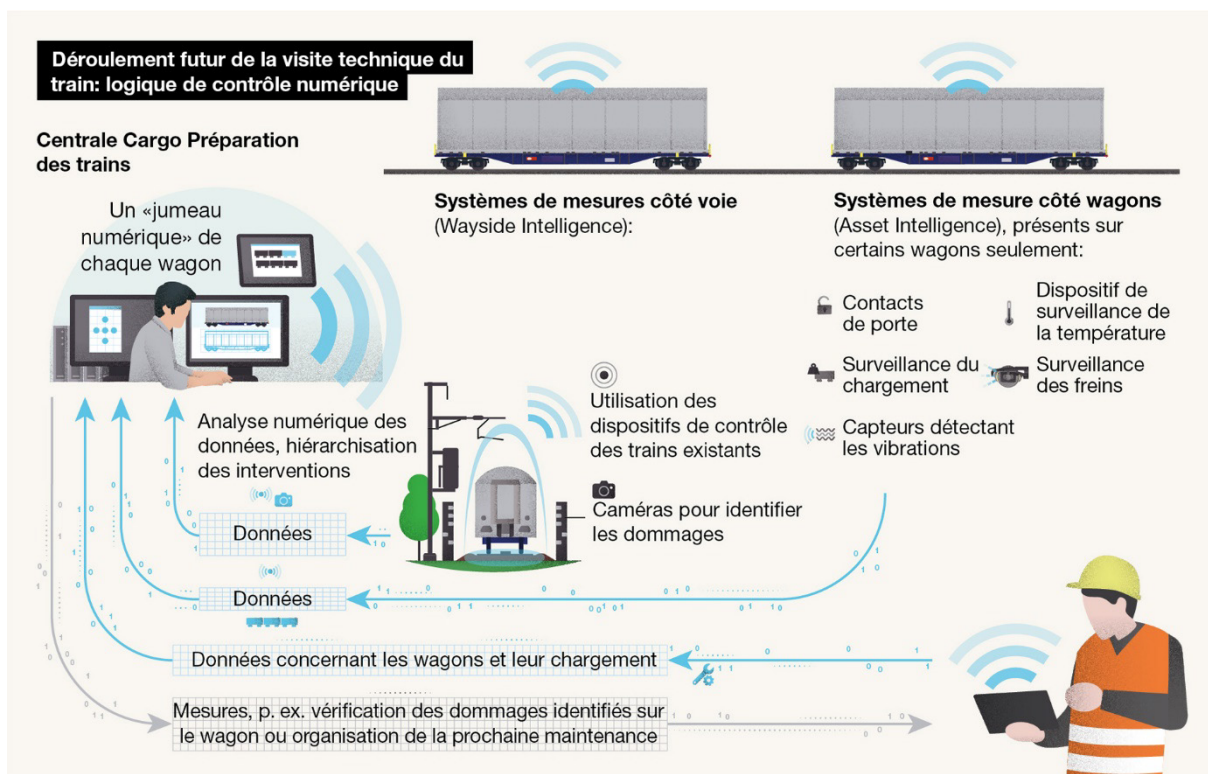


Figure 5 : plan stratégique du contrôle numérique des wagons (source : CFF Cargo)

Maintenance de wagons basée sur l'état

- **Mode de fonctionnement** : les éléments de post-équipement définis mettent à disposition la technologie de base du recensement des données pour la maintenance basée sur l'état. Ils permettent aux détenteurs de véhicules de mettre en œuvre de manière indépendante diverses solutions techniques. De plus, des données actuelles sur l'état de plus de 200 dispositifs de contrôle des trains (DCT) au sol du réseau à voie normale suisse sont actuellement disponibles. Elles peuvent être acquises dans une qualité élevée auprès des gestionnaires d'infrastructure (GI) et servir à recenser l'état de différents composants de wagons déterminants pour la sécurité. En vue de l'attribution automatique des données, le détenteur doit doter ses wagons d'un tag RFID (radio-

étiquette). Cette solution est rapidement réalisable et présente un bon rapport coût-utilité.

- Les wagons peuvent désormais être équipés d'une surveillance autonome. Le détenteur doit réaliser l'ensemble du système avec les composants embarqués et l'évaluation côté système. Cette solution peut être mise en œuvre dans un délai raisonnable, mais elle nécessite des investissements plus importants, qui varient en fonction du nombre de données à collecter. La qualité des données et la fiabilité des capteurs intégrés seront critiques. Le détenteur doit s'assurer que l'équipement supplémentaire installé est surveillé et entretenu en cours d'exploitation.
- L'utilité de l'équipement DAC 4 pour une surveillance embarquée sur les wagons recèle des synergies : l'alimentation électrique et les systèmes de transmission des données du DAC 4 peuvent être utilisés pour la surveillance embarquée. L'utilisation ne pourra être étendue à tout le parc de véhicules qu'une fois la migration vers le DAC 4 achevée. Les spécifications seront élaborées par l'EDDP.

Processus actuel : les wagons font l'objet d'une maintenance basée sur les délais : en règle générale, un wagon est transféré tous les six ans dans un atelier de maintenance certifié pour y être remis en état. Cette opération implique que les composants importants pour la sécurité fonctionnent en principe parfaitement pendant l'intervalle d'exploitation et ne dépassent pas leur limite d'usure. Si un wagon atteint une limite d'usure en cours d'exploitation, le personnel sur place doit le reconnaître lors des contrôles d'exploitation périodiques et le wagon doit être retiré de la composition du train pour être réparé.

Utilité du DAC : la maintenance basée sur l'état contribue d'une part à améliorer la fiabilité d'exploitation, car elle nécessite moins d'interventions en cas de dommages, et peut d'autre part être mieux adaptée à l'intensité d'utilisation des wagons. L'intervalle d'utilisation des composants peut être optimisé systématiquement grâce aux données disponibles. Il en résulte moins de périodes d'inactivité et les wagons peuvent être utilisés davantage.

Mise à disposition des informations pour la logistique

Mode de fonctionnement : les informations en temps réel sur l'emplacement actuel et l'état d'un envoi sont indispensables pour une entreprise de logistique moderne, elles sont courantes dans le transport routier et partiellement utilisées dans le transport de marchandises via la localisation des différents wagons. Cet aspect est d'une part très important pour la planification des transports dans le cas de chaînes de transport multimodales, et d'autre part, les clients attendent aujourd'hui des prévisions fiables sur les délais de livraison concrets de leurs envois. Dans le principe du juste-à-temps, la chaîne de livraison doit s'intégrer parfaitement dans le concept de production. Le transport lui-même n'en est qu'une petite partie, mais il doit fonctionner de manière fiable et ponctuelle. L'information sur l'emplacement de la

cargaison est particulièrement importante sur le plan économique en cas d'incident.

Processus actuel : les informations fournies par les chemins de fer aux entreprises de logistique sur les délais de livraison concrets des cargaisons sont insuffisantes. Les transports sont souvent retardés pour des raisons d'horaires et les informations sur les retards sont insuffisantes.

Utilité du DAC : les informations sur l'emplacement sont toujours disponibles pour tous les wagons. Les entreprises de logistique peuvent planifier leur travail à l'avance de manière fiable grâce à des informations de livraison fiables. Les clients peuvent s'informer pendant le transport sur la date de livraison prévue et ainsi planifier efficacement leurs travaux.

2.2 Composants techniques de rééquipement des véhicules

Afin que les applications susmentionnées soient réalisables, il faut adapter et/ou post-équiper les véhicules. Les interfaces doivent être compatibles afin que le matériel roulant puisse être utilisé librement. Sur la base des spécifications du DAC, cette démarche nécessite une ingénierie préparatoire par type de wagon. L'ingénierie mécanique doit s'assurer que la structure du wagon est adaptée à l'introduction des forces par les tampons centraux plutôt que par les tampons latéraux. Même si de nombreux véhicules possèdent l'espace de montage défini par l'UIC dans les années 70 et devraient également être conçus pour l'introduction des forces, cette condition doit être explicitement vérifiée. En outre, les butées/plaques de pression ou autres éléments de fixation nécessaires pour le DAC doivent être déterminés et construits (si nécessaire, en fonction du type de wagon). En vue de l'intégration électrique, il convient de prévoir les emplacements de montage des composants ainsi que la tuyauterie et le câblage. Il faut déterminer dans le cadre du développement du système des composants la manière dont les différentes applications doivent être adaptées à chaque type de véhicule, par exemple en ce qui concerne la configuration des capteurs.

L'équipement technique des wagons est constitué des éléments suivants :

- DAC avec bloc-ressort et dispositif électrique de dételage ;
- adaptateur de la conduite de frein pneumatique pour le raccordement au DAC ;
- tubes (pour les câbles électriques) ;
- câbles électriques et pour le flux des données ;
- unité embarquée pour traiter localement les signaux des capteurs et servir de point de communication ;
- transformateur pour la tension du wagon et batterie-tampon ;
- capteurs, actionneurs et, le cas échéant, vannes pour les fonctionnalités définies.

En conséquence, les locomotives doivent être équipées des éléments suivants :

- dispositifs d'attelage hybrides, numériques, automatiques ; les locomotives doivent pouvoir tracter des trains à DAC et des trains à attelage à vis, du moins au début de la phase de migration ;
- alimentation en courant ;
- point de communication et affichage / tablette en tant qu'interface avec le groupe de trains ;
- attelages de manœuvre pour les petites locomotives des propriétaires des voies de raccordement et/ou pour les wagons d'attelage.

Les projets pilotes menés jusqu'à présent et les transformations déjà effectuées ont montré que la complexité et les coûts de transformation ne sont pas comparables pour tous les véhicules. Dans l'idéal, les véhicules devraient être équipés des dispositifs correspondants dès leur construction ou être directement équipés du DAC. Le coût du post-équipement de véhicules existants dépend en grande partie de la structure du véhicule et de la configuration exacte de l'espace de montage.

2.3 Nombre de véhicules à adapter

Au total, on dénombre environ 450 000 wagons en Europe. En Suisse, environ 18 000 wagons doivent être équipés et transformés pour la variante avec TWCI. À cela s'ajoutent environ 520 locomotives de ligne et de manœuvre. Dans toute l'Europe, la base est constituée par les véhicules enregistrés dans le registre national des véhicules, peu importe où ils sont utilisés. L'utilisation est transfrontalière en fonction des mandats. Ainsi, CFF Cargo a conclu des contrats de location à long terme pour des wagons immatriculés en Allemagne. En contrepartie, les wagons du transport transalpin, par exemple, effectuent beaucoup plus de kilomètres dans les pays limitrophes, mais sont immatriculés en Suisse. Dans l'ensemble, les performances des wagons s'équilibrent à peu près, de sorte que l'immatriculation peut servir de critère pour un cofinancement par l'État. Cette pratique a également été appliquée lors de l'assainissement phonique des wagons au cours des dernières années.

Le recensement, sur l'ensemble du réseau, des wagons et locomotives à post-équiper est complexe. Les aspects suivants jouent un rôle à cet égard :

- Les wagons ont des âges différents (années de construction 1957–2021) et présentent différentes caractéristiques techniques de base.
- Les locomotives ont des âges différents (années de construction 1938–2022) et présentent différentes caractéristiques techniques de base.
- Il existe environ 40 types de wagons, dont certains divisés en sous-groupes du fait de modifications a posteriori et d'adaptations individuelles.
- Il existe environ 20 types de locomotives.
- Les véhicules sont plus ou moins faciles à post-équiper.
- Il y a du matériel roulant qui sera vendu ou mis hors service au cours des prochaines années et des véhicules neufs qui seront mis en service durant la phase de migration.
- Certains véhicules ne quittent pas le site industriel et peuvent être post-équipés à moindre coût au moyen d'un attelage auxiliaire.

- Il faut comparer tous les véhicules du registre des véhicules et les détenteurs de véhicules déclarés.
- Du fait du changement de détenteur ou d'autres circonstances, les indications peuvent être différentes ou incomplètes.

Le nombre total de véhicules qui en résulte a été limité par les critères de sélection suivants :

- Les wagons mis en service avant 1995 ne sont pas pris en compte. Ils seront remplacés par des véhicules neufs au cours de la phase de migration.
- Les locomotives doivent être en service pendant encore au moins cinq ans au moment de la migration afin de justifier l'investissement.
- Les locomotives, les engins de construction guidés par rail et les wagons des entreprises d'infrastructure sont comptabilisés séparément.

Dans la variante sans TWCI, environ 3000 wagons sont supprimés. De prime abord, cette somme semble peu élevée. Cependant, à elle seule, HUPAC fait circuler presque autant de wagons dans le transport transalpin (4800) que l'ensemble du TWCI en Suisse (5500). De plus, sans le TWCI, il n'est pas possible de mettre tous les wagons au rebut, car beaucoup de ceux qui sont utilisés en TWCI le sont également dans des transports par trains complets. De plus, une partie du TWCI actuel sera maintenue, par exemple les transports de ciment. Ces transports et les wagons qui les accompagnent seraient intégrés dans le transport par trains complets. En fonction de la durée de la migration ou de l'évolution des modèles commerciaux des entreprises, le nombre de matériel roulant à réaménager peut également varier.

Dans le domaine de l'infrastructure et des voies de raccordement, les installations doivent être adaptées à l'exploitation avec le DAC. Cette adaptation concerne d'une part les nombreux heurtoirs, qui nécessitent en outre un point d'amarrage pour l'attelage à tampon central. Les heurtoirs de l'infrastructure sont déjà en train d'être mis en place dans leur nouvelle forme dans le cadre du remplacement normal. Sur les voies de raccordement, il faut équiper environ 2500 heurtoirs.



Figure 6 : heurtreur moderne (source: Bahnbilder.de)

2.4 Utilité

L'automatisation du fret ferroviaire dans l'ensemble du système profitera aux entreprises de transport ferroviaire (ETF), aux détenteurs de wagons et aux GI. Les entreprises de logistique pourront compter sur une capacité accrue et une meilleure planifiabilité de la part du secteur ferroviaire. D'un point de vue global, l'amélioration de la productivité aura des effets macroéconomiques positifs. Des avantages notables et des effets positifs peuvent ainsi être obtenus tout au long de la filière de création de valeur.

Utilité pour les ETF

L'utilité la plus importante réside dans l'exploitation quotidienne. Elle est particulièrement marquée dans le TWCI, avec ses divers processus de démontage et de reformage. Il faut mentionner ici, d'une part, les lieux de desserte sur l'ensemble du territoire (voies de raccordement, gares de réception et de formation) et, d'autre part, les processus nécessitant un important travail dans les gares de triage (voir « Utilité pour les GI » ci-après).

Les principaux leviers pour les économies opérationnelles se trouvent dans le processus d'attelage lui-même (temps de processus et de trajet) et en particulier dans la préparation des trains (saisie de la liste des trains, essai de frein, contrôle technique des wagons). Selon les prescriptions de circulation, l'essai d'efficacité du frein et le contrôle technique des wagons doivent être effectués sur chaque wagon avant le départ des trains nouvellement formés ou quotidiennement si les trains n'ont pas été modifiés. Dans la pratique, cela signifie qu'un wagon du TWCI est généralement contrôlé plusieurs fois par jour. Le potentiel d'économie de temps peut être illustré par une

course de desserte typique passant par plusieurs points de desserte dans le cadre de la livraison et de la réception. Les économies potentielles ont été calculées pour les processus d'attelage et de préparation des trains.

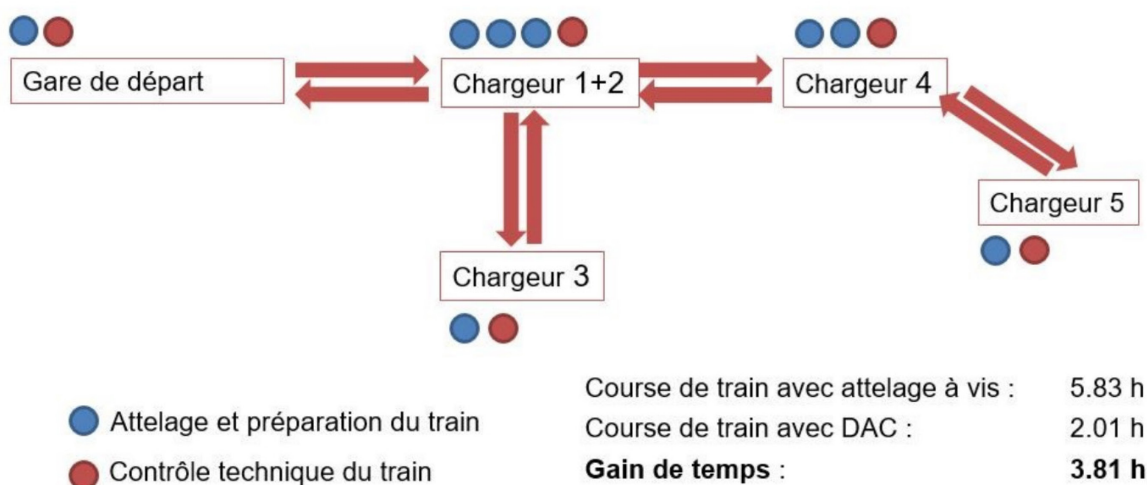


Figure 7 : exemple de l'utilité pour le TWCI (source : OFT)

Vu l'hétérogénéité du paysage de desserte et les nombreux processus spécifiques (par ex. aiguillages manuels ou autres éléments à manœuvrer manuellement dans le périmètre des clients) qui ne peuvent pas tous être modifiés dans un premier temps, les économies réalisables seront d'abord inférieures à celles de la course de desserte mentionnée. Pour les trains complets, le processus d'attelage lui-même joue un rôle plutôt secondaire. Dans ce cas, ce sont surtout les économies réalisées dans le cadre de la préparation du train (essai d'efficacité du frein, contrôle technique des wagons, etc.) qui entrent en ligne de compte.

Outre les économies directes, toute une série d'avantages supplémentaires qui n'ont pas encore été quantifiés de manière définitive doivent être pris en compte :

- Réduction du temps de passage pour la préparation du train : les trains sont prêts plus rapidement et le temps total de la chaîne de transport diminue. Les économies de temps permettent d'une part une offre plus attrayante pour les clients et d'autre part, les actifs sont liés moins longtemps et peuvent ainsi effectuer plus de rotations.
- Augmentation de la charge remorquée de jusqu'à 17,5 % car l'attelage supporte des efforts de traction plus élevés.
- Augmentation de la sécurité dans le domaine des manœuvres, puisqu'il n'est plus nécessaire « de se placer » entre les wagons.
- Suppression des profils professionnels peu attrayants qui souffrent déjà d'une pénurie de personnel. Des profils professionnels plus attrayants peuvent être proposés afin de répondre à la demande.

Utilité pour les GI

Certains des avantages clés du DAC ou de la numérisation apparaissent au niveau de l'infrastructure. Ceux-ci restent à quantifier par les GI. Ici aussi, une distinction est faite entre les avantages directs, qui surviennent immédiatement après l'introduction (en particulier dans les grandes gares de triage gérées par l'infrastructure) et les avantages supplémentaires. Le DAC est également un facteur décisif pour le perfectionnement de l'infrastructure.

Pour l'utilité directe dans les gares de triage, il importe de comprendre que les logiques de commande des années 70 ont déjà été conçues pour l'utilisation prévue des attelages automatiques. Aujourd'hui, une gare de triage moderne est une installation hautement automatisée dont les performances peuvent encore être améliorées grâce au DAC.

Compte tenu du passage important de wagons et vu que les installations sont déjà orientées vers l'automatisation, il est possible de réaliser ici de substantielles économies en termes de personnel de service. En raison de sa position centrale dans le réseau, la gare de triage est l'endroit idéal pour regrouper les étapes d'automatisation et utiliser les installations de manière optimale.

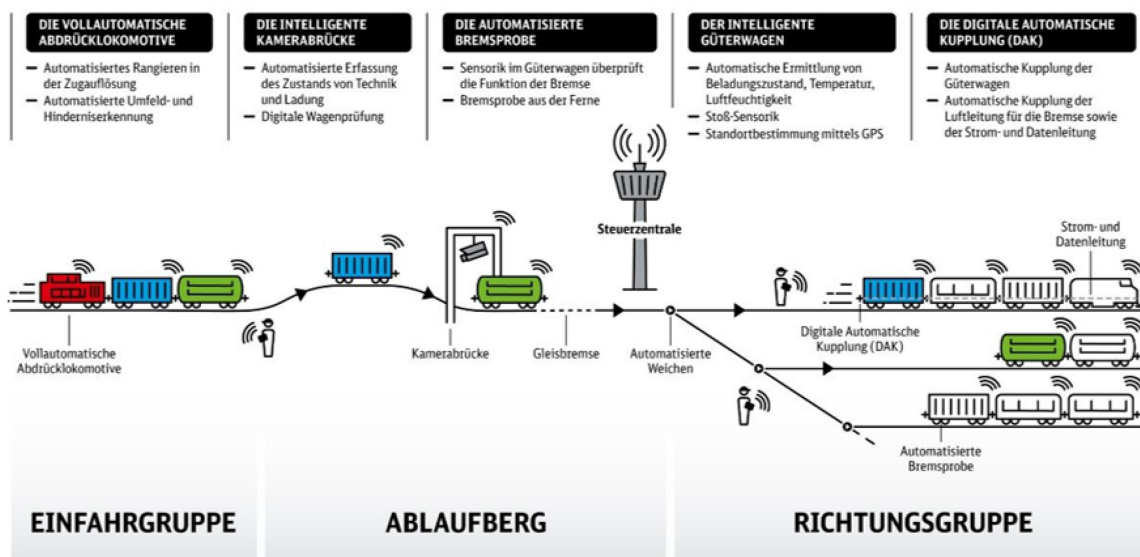


Figure 8 : la gare de triage du futur (source : Deutsche Bahn)

L'infrastructure profite avant tout des processus plus rapides, de sorte que les voies dans les gares de triage sont libérées plus rapidement et que davantage de trains peuvent ainsi être traités sur les mêmes installations. Il est ainsi possible d'économiser des aménagements coûteux dans les gares de

trriage ou de les reporter dans le temps. Cette remarque s'applique également aux exploitants d'installations de transbordement dédiées au transport combiné.

D'autres avantages indirects exerceront une grande influence à l'avenir :

- Contrôle de l'intégrité du train : la connexion de données dans le train offre une surveillance continue de l'intégrité du train, une condition importante pour l'ETCS Level 3 (*moving block*) ainsi que pour la suppression à long terme de la signalisation de voie libre.
- Meilleure puissance de freinage grâce aux freins EP : un frein EP imputable peut entraîner de meilleures catégories de freinage aussi en transport de marchandises, ce qui se répercute positivement sur le taux d'utilisation du réseau.
- *Autonomous Train Operation* (ATO) : une ATO n'est concevable que pour un train de marchandises qui s'autocontrôle au moins sur des paramètres essentiels tels que le contrôle du déraillement et l'intégrité du train.

Utilité pour les détenteurs de véhicules

Les avantages pour les détenteurs de véhicules résident surtout dans les nombreuses possibilités qu'offre la numérisation. Les données relatives à l'état du véhicule, à sa position en temps réel et à sa charge sont disponibles à tout moment sous forme numérique, ce qui permet l'intégration numérique des mouvements de wagons dans les autres processus de l'entreprise. Cette intégration offre à son tour des optimisations sans discontinuité, jusqu'au service clientèle et à la facturation.

Dans le cadre de l'intensification prévue des rotations, la surveillance de l'état et la planification de la maintenance peuvent également être automatisées. La transmission automatisée des données fournit des informations continues sur l'état des wagons, de sorte que ceux-ci ne doivent être envoyés à l'atelier que lorsqu'une usure ou une défaillance de composants se profile effectivement. En outre, les mises au rebut non planifiées de wagons suite à des défauts constatés spontanément diminueront, étant donné qu'il sera possible de planifier la maintenance en temps voulu sur la base des données disponibles sur les wagons. La disponibilité et la fiabilité des wagons s'en trouveront accrues, d'une part parce que le nombre de wagons vides sera réduit et d'autre part parce que les travaux de maintenance pourront être mieux planifiés.

3 Collaboration avec l'Europe et interopérabilité

La nécessité de la numérisation et l'utilisation de nouvelles technologies dans le fret ferroviaire sont reconnues dans toute l'Europe comme la base d'une mobilité durable et compétitive dans le transport de marchandises. Il est également reconnu que cela requiert un processus coordonné avec tous les chemins de fer européens, car les wagons circulent librement et de manière flexible dans toute l'Europe en fonction des mandats des clients. Cela signifie que les fonctionnalités, les normes techniques et les processus d'exploitation doivent être définis de manière non discriminatoire afin que les véhicules soient compatibles entre eux, que toutes les fonctions numériques soient garanties dans chaque groupe de trains et que les processus d'exploitation respectifs soient compatibles.



Figure 9 : attelage Scharfenberg avec conduite de frein intégrée
(source : CFF Cargo)

Les futurs standards techniques et d'exploitation doivent être développés et spécifiés dans les normes européennes communes pour le transport ferroviaire. Les procédures d'homologation étatiques nécessaires doivent être coordonnées avec les autorités nationales sous la direction de l'Agence de l'UE pour les chemins de fer (ERA) et définies de manière uniforme au niveau transfrontalier. Les anciennes prescriptions nationales doivent être systématiquement supprimées afin de créer un nouveau système ferroviaire européen unifié. Même si le DAC et les applications numériques dans le fret ferroviaire constituent un terrain inconnu, il existe des standards valables selon le CENELEC (Comité européen de normalisation électrotechnique), qui peuvent désormais être utilisés également dans le transport de marchandises. Il faut accorder une attention particulière à la standardisation des interfaces, afin que les différents fournisseurs sur le marché puissent livrer des produits compatibles entre eux. Les rôles dans le processus d'homologation entre l'industrie, les détenteurs de wagons et les ETF doivent être clairement définis. En outre, le DAC lui-même doit être certifié en tant que composant des standards techniques d'interopérabilité (STI). Pour ce faire, les processus ont déjà commencé à l'ERA avec le paquet de modifications des STI 2022.

L'UE soutient les projets de recherche et d'innovation dans le secteur ferroviaire. *Shift to Rail* (S2R) était la première étape de ce vaste programme

d'encouragement (2015–2021), le DAC n'y jouait encore qu'un rôle secondaire. C'est précisément à la transition entre S2R et le programme qui lui a succédé, l'ERJU, que le secteur s'est réuni et a créé l'EDDP, largement autofinancé. L'objectif de l'EDDP est, d'une part, de définir le standard technique du DAC et, d'autre part, de faire avancer activement les lots « migration européenne », « *business case* supérieur » et « financement ». Entre-temps, le nouveau programme ERJU est sur le point d'être lancé officiellement et le développement et la standardisation du DAC sont estimés à un volume de projet total d'environ 80 millions d'euros. L'ERJU étant un projet purement technique, l'EDDP continuera d'exister et de faire avancer les questions de la migration et du financement.

L'OFT, CFF Cargo et l'Union internationale des wagons de marchandises primaires (UIP) représentent la Suisse de manière compétente au sein de ces organes, font valoir activement les intérêts suisses et contribuent au processus de développement et à la prise de décision grâce à leur expérience. Ainsi, en septembre 2021, la tête d'attelage Scharfenberg, déjà utilisée par CFF Cargo, a été sélectionnée au niveau européen (voir figure 10). Sur cette base, d'autres décisions seront prises concernant la technique à utiliser pour les conduites électriques et les lignes de données. Ici aussi, la Suisse participe activement avec la technologie de transmission de données *Powerline Plus*. L'objectif commun est de pouvoir mettre à disposition d'ici 2026 des solutions techniques autorisées et prêtes à être commercialisées pour le DAC et les composants d'automatisation.

4 Concept de migration

La migration est, outre le financement, le plus grand défi pour l'introduction du DAC. Les wagons équipés du DAC et ceux équipés de l'attelage à vis ne sont pas compatibles et ne peuvent donc pas être attelés directement. Il serait impossible d'équiper tous les wagons d'attelages hybrides en raison de la trop grande complexité et du non-respect du « rectangle de Berne » (l'espace libre pour les employés de la manœuvre entre les wagons pour accrocher et décrocher l'attelage à vis), de sorte que la sécurité des collaborateurs ne serait plus garantie. En outre, le changement s'étalerait sur une longue période sans que l'on puisse déjà tirer profit du DAC. C'est pourquoi les instances européennes compétentes ont décidé de renoncer à une variante hybride pour les wagons.

4.1 La migration du point de vue de la Suisse

a) Types de transport

Le transport intérieur suisse est important, mais il interagit étroitement avec l'étranger dans le cadre de transports spécifiques. En vue d'un concept de migration global, il faut considérer dans leur intégralité le TWCI, le transport combiné (TC) et les trains complets d'import/export et en transit. Il convient de noter qu'une partie des transports d'import/export en Suisse est traitée dans le TWCI et qu'il y a un échange de wagons entre les trains complets et le TWCI. En principe, les wagons des transports par trains complets peuvent toutefois être migrés dans une large mesure indépendamment du TWCI. De même, de nombreux trains de

transit peuvent être convertis indépendamment de la migration européenne. Pour l'import/export, il faut prévoir une vague spécifique dans le TWCI (plus de détails ci-dessous).

b) Concentration sur le TWCI

La migration commencera par les trains et les groupes de wagons exploités dans le cadre de transports clairement définis et isolés (par ex. La Poste, Coop, transports de gravier, TC intérieur, etc.) Ensuite, la migration peut être abordée de différentes manières³. Dans tous les cas, il faudra établir un concept de migration détaillé, adapté aux différents clients et wagons.

La solution la plus rapide serait le « big bang », que l'EDDP préconise actuellement. Tous les wagons du TWCI (environ 5500) devraient donc être post-équipés et remis directement en service sur une période très courte (par ex. 1 à 2 semaines). Cette solution présente le grand avantage d'éviter autant que possible l'exploitation parallèle de trains équipés d'un attelage à vis et de trains équipés d'un attelage automatique, mais elle suscite des inquiétudes non négligeables quant à sa réalisation en cours d'exploitation. De plus, les véhicules devraient être pré-équipés à grands frais pendant une longue période de préparation avant d'être finalement équipés de la nouvelle tête d'attelage puis mis en service.

D'autres concepts de migration prévoient un changement par secteur ou par client, réparti en 7 ou en 12 phases, la dernière étant réservée à l'import/export, qui ne peut être converti qu'en coordination avec la migration en Europe.

Pour obtenir le scénario de changement le plus efficace, il convient de pondérer et d'optimiser une série de facteurs, à savoir :

- une période de migration aussi brève que possible : env. 3 à 5 ans (par ex. 2025–2030) ;
- une qualité élevée pour les clients (un minimum d'interruptions de l'offre) ;
- les ressources disponibles dans les ateliers et dans l'exploitation ;
- un minimum de coûts dus à des inefficacités durant la période transitoire ;
- les capacités de l'infrastructure (sillons pour trains de dédoublement et installations de garage du matériel roulant) ;
- les stratégies des détenteurs de véhicules (coordination de l'utilisation des wagons et des nouvelles acquisitions) ;
- une migration échelonnée conforme au stade de développement du DAC (AC 2 → DAC 4).

Du point de vue actuel et sur la base des simulations effectuées, la migration par client en 12 phases est la plus avantageuse. D'une part, les premières phases permettent d'acquérir rapidement de l'expérience pratique

³ D'après une analyse de CFF Cargo, en tenant compte des conditions-cadres du TWCI (capacité et modes de travail des gares de triage, disponibilité des sillons ainsi que conditions dans les gares disposant d'une équipe de manœuvre et les points de desserte).

et de la mettre à profit pour la suite des travaux et, d'autre part, l'échelonnement permet d'exploiter de manière optimale les capacités disponibles des ateliers. Le risque lié au changement est réduit, car les différentes phases sont gérables. Le principal inconvénient de cette variante est que l'ensemble de la migration s'étend sur une période d'environ 4 à 5 ans et que les coûts dus aux inefficacités résultant de l'exploitation parallèle pendant la conversion sont plutôt élevés. En revanche, elle permet d'économiser des investissements préalables coûteux qui ne porteraient leurs fruits qu'après plusieurs années. Dans le cadre de la poursuite de la planification et de l'élaboration détaillée, les variantes seront à nouveau soumises à un examen critique et pondérées dans le contexte des facteurs susmentionnés.

c) Conditions

Avant d'être lancée, la migration doit être bien préparée. Il faut par exemple terminer l'ingénierie pour les types de wagons concernés par les différentes phases, établir et expertiser l'ensemble des dossiers de preuve pour l'homologation et achever les contrôles des autorités. La planification doit être élaborée de manière détaillée jusqu'au niveau de l'horaire. Les capacités de transformation doivent être assurées et le post-équipement / le montage de la tête d'attelage doit être préparé. En outre, un plan solide pour le déroulement du transport d'import/export est nécessaire, car la migration européenne risque de ne pas avoir encore commencé au moment du lancement de la migration en Suisse. Le personnel ferroviaire de toutes les entreprises concernées doit être formé et testé avant le début de la mise en service des trains à DAC.

4.2 Dépendance envers l'Europe

Les solutions techniques définies au sein de l'UE doivent également être adoptées en Suisse. Cela signifie que les solutions et les normes développées dans le cadre de l'ERJU seront également contraignantes en Suisse :

- La Suisse reprend ces spécifications telles quelles.
- Dans l'UE, les spécifications et les descriptions de processus aboutissent à des STI mise à jour.
- La Suisse reprend les réglementations en les mettant en œuvre de manière autonome (accord sur les transports terrestres, annexe 1).
- Il faut adapter les réglementations régaliennes nationales.
- Lors de la révision, les occasions sont saisies pour épurer les règles.

En suivant ce principe, les dépendances vis-à-vis de l'UE sont significatives, car la migration en Suisse ne peut être lancée sur l'ensemble du territoire que si les spécifications techniques du DAC sont achevées et si l'UE a pris une décision de principe positive sur l'introduction du DAC. Même si ce sujet fait l'objet d'un travail soutenu, il est entaché d'une incertitude non négligeable en raison du grand nombre de partenaires impliqués.

Il convient d'apprécier positivement le fait qu'en raison de la grande autonomie de parties importantes du TWCI, la migration au sein du réseau intérieur suisse peut également être lancée et mise en œuvre avant la migration en Europe. Il n'existe pas de dépendance temporelle directe à ce niveau. Le cas échéant, une migration anticipée en Suisse présente également des avantages pour la réalisation, comme par exemple une meilleure disponibilité du matériel et des véhicules chez les constructeurs.

5 Gestion des risques

Les risques liés à la migration systémique du transport de marchandises vers le DAC sont importants et doivent être suivis de près par tous les décideurs. C'est pourquoi il existe au sein du projet une gestion des risques explicite, qui traite en permanence les risques importants pour le système. Comme la Suisse est étroitement intégrée au réseau européen et que seules des solutions techniques pouvant être mises en œuvre dans toute l'Europe entrent en ligne de compte, il en résulte une dépendance vis-à-vis de l'évolution des travaux européens. Il existe bien une étroite collaboration dans laquelle la Suisse s'est engagée avec succès jusqu'à présent, mais celle-ci n'est qu'un partenaire parmi d'autres.

La matrice ci-après montre les risques pertinents :

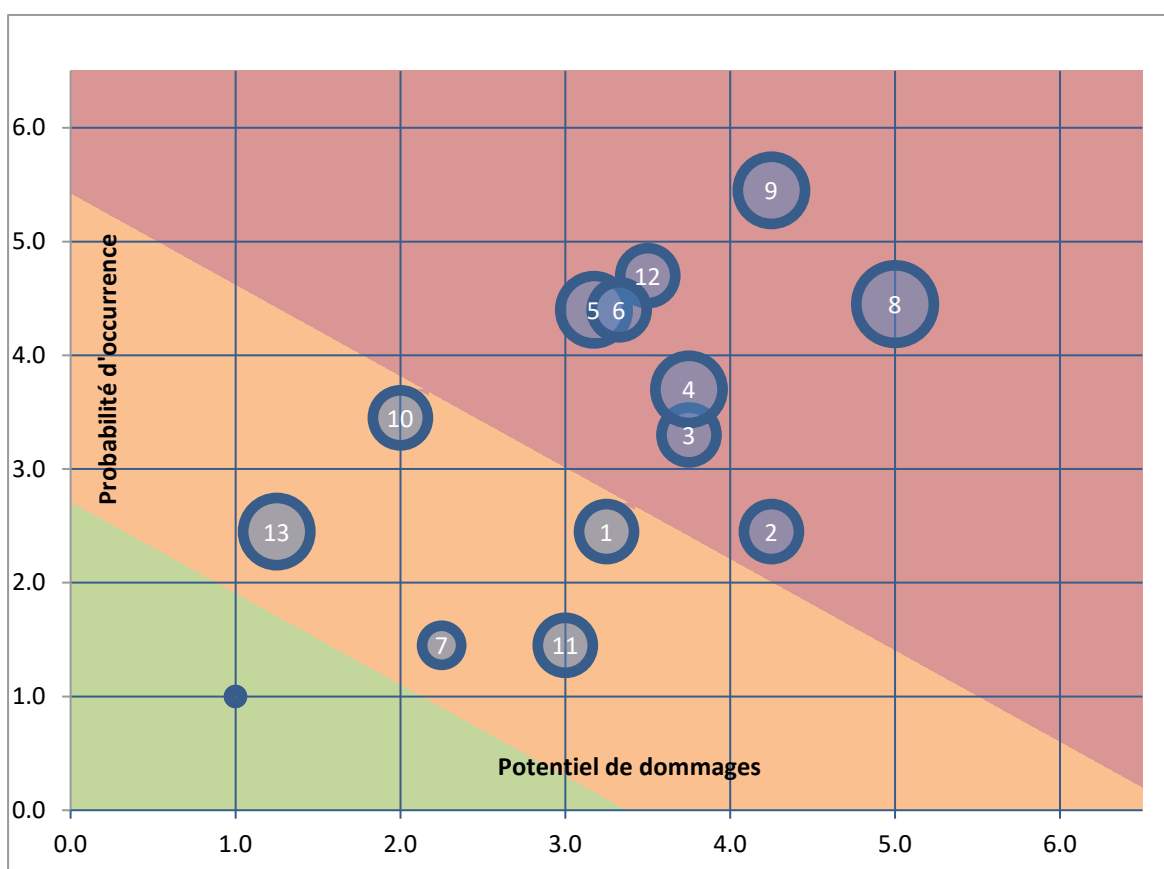


Figure 10 : matrice des risques

Risques :

- 1 Qualité insuffisante des données pour le montant de l'investissement et la migration.
- 2 Montant de l'investissement incompréhensible en raison de tous les facteurs de coûts pertinents.
- 3 Rupture prolongée du système CH / UE.
- 4 Harmonisation insuffisante entre EDDP et ERJU.
- 5 Maturité technique retardée du DAC.
- 6 Normes STI non adoptées.
- 7 Mise à disposition problématique des composants d'infrastructure nécessaires pendant la période transitoire.
- 8 Financement par l'UE non clarifié.
- 9 Absence de stratégie de migration de l'UE.
- 10 Conviction en baisse au sein du secteur ferroviaire et des partenaires industriels.
- 11 Décision politique en défaveur du TWCI.
- 12 Perte temporaire de l'interopérabilité.
- 13 Problèmes de poids des locomotives pendant la période de transition.

Illustration succincte des risques les plus importants :

Risque 8 : financement non clarifié

L'introduction du DAC dans les pays européens nécessite un financement suffisant et équilibré, accepté par tous les acteurs en Europe. L'EDDP élabore actuellement une proposition qu'il soumettra aux partenaires du projet, à la Commission européenne et aux États membres. Cette proposition devra être discutée et approuvée dans un délai utile.

Risque 9 : absence de stratégie de migration de l'UE

Une migration à l'échelle de l'UE ne peut avoir lieu que si les questions de financement sont réglées. En outre, il reste des questions en suspens concernant la durée, l'ordre et les priorités de la migration. L'EDDP n'a pas encore terminé ses travaux à cet égard. Comme le transport de marchandises interconnecté au niveau international, une harmonisation insuffisante ou des interprétations divergentes sont préjudiciables à une migration qui doit permettre de maintenir la capacité du fret ferroviaire pendant la phase de transition.

Risque 12 : perte temporaire de l'interopérabilité

Des stratégies de migration insuffisamment coordonnées peuvent entraîner une perte temporaire de l'interopérabilité. Cette situation entraîne généralement une diminution de la capacité, une augmentation des coûts et une perte de qualité dans le fret ferroviaire international, mais aussi, selon l'état d'avancement du réaménagement, des restrictions dans l'utilisation des différents types de wagons. Il s'agit ici de développer des scénarios appropriés pour utiliser le DAC le plus tôt possible sans affaiblir le système pendant la période de transition. Les risques 5 (maturité du DAC retardée) ou 6 (absence de norme STI) entrent également dans le cadre de ces réflexions.

6 Conclusion

La combinaison de l'automatisation et de la numérisation en une seule étape génère beaucoup plus d'avantages que la seule introduction d'un attelage automatique mécanique. Cela s'explique par le fait que la numérisation augmente considérablement les économies de temps et de ressources réalisées grâce à l'attelage automatique, ce qui les rend intéressantes non seulement pour le TWCI, mais aussi pour les trains complets. En particulier les économies réalisées dans la préparation des trains, les effets de capacité pour l'infrastructure, la possibilité de numériser les autres processus ainsi que la condition nécessaire à l'évolution vers l'ETCS Level 3 font de l'automatisation et de la numérisation, au-delà du simple attelage dans le TWCI, la condition d'un renouvellement fondamental du fret ferroviaire.

Outre l'augmentation de l'efficacité, l'un des principaux avantages réside dans l'amélioration de la sécurité pour le personnel de manœuvre et dans la création de nouveaux profils professionnels attrayants dans le secteur du fret ferroviaire. Aujourd'hui déjà, il est difficile de recruter du personnel et cette tendance va encore s'accroître dans les années à venir avec les vagues de départs à la retraite qui se profilent.

L'élément central est le DAC, qui sera installé avec les composants nécessaires dans tous les véhicules circulant sur le réseau. Les spécifications techniques en la matière seront valables de manière uniforme dans tout l'espace européen. La Suisse participe aux organes correspondants et y apporte son savoir-faire et défend ses intérêts.

Le DAC et l'attelage à vis traditionnel n'étant pas compatibles, il faudra définir une stratégie de migration précise qui ne compromette pas la qualité du fret ferroviaire, surtout pendant la période de transition. Le défi consistera à coordonner les ressources de l'infrastructure et des ateliers chargés des travaux de rééquipement. Une coordination avec les autres parties prenantes européennes est également nécessaire.

Les acteurs européens du secteur ferroviaire, de l'industrie et de la politique s'accordent à dire que le DAC est nécessaire au développement du fret ferroviaire. En intégrant le DAC dans le projet de consultation sur le perfectionnement des conditions-cadres du transport de marchandises en Suisse, la Suisse a été le premier État à se lancer dans le débat politique.

Les résultats de la consultation permettront au projet suisse de passer à la phase d'approfondissement, dont l'objectif est de pouvoir présenter le concept concret d'objectifs et de migration relatif au DAC dans le cadre du message.