

**Automatisation du fret ferroviaire en Suisse – projet sectoriel 5
« Financement »**

**Analyse coût-utilité préalable de l’attelage
automatique numérique**

Documentation Modèle de calcul pour l’analyse de rentabilité

pour
Office fédéral des transports OFT
Section Trafic marchandises
à l’attention de M. Wolf-Dieter Deuschle
Mühlestrasse 6
CH-3063 Ittigen
Suisse



hwh Gesellschaft für Transport-
und Unternehmensberatung mbH
Sophienstrasse 152
D-76135 Karlsruhe
Allemagne

www.hwh-transport.de

Karlsruhe, le 19 novembre 2022

Contenu

1. Résumé.....	5
2. Introduction	7
3. Hypothèses de base du modèle de calcul	8
4. Cadre estimatif - hypothèses sur le nombre de véhicules ferroviaires à post-équiper	10
5. Hypothèses concernant les coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires	11
6. Hypothèses sur les avantages de l'automatisation du FF en Suisse.....	12
7. Résultat intermédiaire de l'analyse de rentabilité.....	14

Illustrations

Figure 1 : Évolution des wagons de marchandises adaptés au DAC au cours de la migration	10
Figure 2 : Durée d'amortissement par scénario technologique	14
Figure 3 : Flux financiers cumulés actualisés par année et par scénario technologique	15
Figure 4 : Flux financiers actualisés (en fonction des coûts de post-équipement et des avantages)	15
Figure 5 : Flux financiers par année et scénario technologique sans actualisation	17

Tableaux

Tableau 1 : Aperçu des scénarios technologiques.....	8
Tableau 2 : Courbe de montée en puissance Conversion du parc de véhicules et mise à disposition de moyens auxiliaires	9
Tableau 3 : Hypothèses de coûts pour les véhicules et le personnel ferroviaires.....	9
Tableau 4 : Hypothèses concernant les coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires	11
Tableau 5 : Coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires par scénario technologique	11
Tableau 6 : Modèle pour la saisie du temps nécessaire par train - ici à l'exemple d'un train complet	13
Tableau 7 : Coefficients de conversion des économies de coûts de processus en économies potentielles	13

Liste des abréviations

OFT	Office fédéral des transports
CBM	<i>Condition based maintenance</i> / Maintenance basée sur l'état
CH	<i>Confoederatio Helvetica</i> - Confédération suisse
CHF	Francs suisses
DAC	Attelage automatique numérique
DCF	<i>Discounted Cash-Flows</i> / flux financiers actualisés
EDDP	<i>European DAC Delivery Program</i> / Programme européen de livraison du DAC
Frein ep	Frein électropneumatique
ETF	Entreprise de transport ferroviaire
TWCI	Transport par wagons complets isolés
FF	Fret ferroviaire
VM	Véhicule moteur
ST	Scénario technologique

1. Résumé

Conformément à la motion Dittli 20.3221, l'Office fédéral des transports (OFT) est chargé d'élaborer un concept de migration pour l'automatisation du fret ferroviaire (FF) en Suisse. Les éléments de migration pour cette automatisation sont l'attelage automatique numérique (DAC), l'essai automatique d'efficacité du frein, l'automatisation (partielle) du fret de proximité ainsi que la maintenance basée sur l'état. À cet effet, à l'automne 2021, l'OFT a lancé un projet comprenant six projets sectoriels¹. L'OFT a chargé la société hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH (hwh) de l'assister dans le cadre du projet sectoriel 5 « Financement » afin d'élaborer une analyse de rentabilité basée sur la méthode du *Discounted Cash Flow* (DCF)².

Dans un modèle de calcul, tous les revenus et coûts d'automatisation du FF en Suisse ont été saisis sur une période de 25 ans, avec un début de la migration en 2025 et une fin de la migration en 2030. Les flux financiers ont été actualisés avec un taux d'intérêt de 5 % et fixés avec un taux d'inflation annuel de 2 %³. L'analyse de rentabilité se base sur trois scénarios technologiques :

- Scénario technologique 1 (ST1) : DAC type 2 (uniquement mécanique/pneumatique), essai automatique du frein, inspection technique numérique des wagons ;
- Scénario technologique 2 (ST2) : comme ST1, mais avec DAC type 4, y compris le système électrique d'énergie et de communication
- Scénario technologique 3 (ST3) : comme ST2, mais avec DAC type 5, y compris le dételage à distance, le frein électropneumatique, l'automatisation du fret de proximité, le contrôle d'intégrité du train et la maintenance basée sur l'état.

Au total, on part d'un parc de 17 600 wagons de marchandises pertinent pour le FF suisse. Sur ce total, 10 600 wagons de marchandises peuvent être équipés d'un DAC de manière relativement simple, 4000 wagons requièrent un post-équipement plus important pour des raisons techniques. 3000 wagons ne peuvent pas être adaptés pour des raisons techniques ou économiques. Chaque année, 500 wagons neufs seront équipés du DAC et, suivant le scénario technologique, d'autres composants innovants. On part en outre de l'hypothèse que 520 véhicules moteurs (VM) seront concernés, dont 206 pourront être adaptés relativement facilement, 225 uniquement au prix d'efforts accrus et 89 ne pourront pas être réaménagés. Chaque année, 22 nouveaux VM devraient être livrés avec des composants innovants.

Comme la plupart des composants innovants considérés ici ne sont pour l'instant disponibles que sous forme de prototypes, l'industrie ferroviaire ne dispose pas de données fiables sur les prix du marché. Dans le cadre de l'EDDP, des estimations ont été faites concernant les coûts d'acquisition et de transformation possibles pour les différents composants innovants. Ces données ont été largement reprises et traduites dans les trois scénarios technologiques considérés ici. Une distinction a également été faite selon que la transformation du véhicule est relativement simple ou plus coûteuse. Les coûts d'acquisition des composants innovants et de transformation des véhicules vont de CHF 21 000 pour un wagon facile à transformer dans le ST1 à CHF 44 000 pour un wagon difficile à transformer dans le ST3. Pour les véhicules moteurs, les coûts supposés vont de CHF 60 000 (VM TS1 facile à transformer) à

¹ PS1 État des lieux | PS2 Concertation avec l'Europe | PS3 Conception-cible | PS4 Migration | PS5 Financement | PS6 Message

² Les DCF ou flux de trésorerie actualisés sont une méthode théorique d'investissement pour déterminer une valeur, en particulier dans le cadre de projets d'investissement. Ils s'appuient sur un concept de finance quantitative, l'actualisation (en anglais *discounting*) des flux de trésorerie (en anglais *cash flow*) pour déterminer la valeur du capital.

³ Détermination du taux d'escompte ainsi que du taux d'inflation par l'OFT – mais réglable dans le modèle de calcul.

CHF 250 000 (VM TS3 difficile à transformer). Pendant la phase de migration, des coûts supplémentaires d'un montant de 30 millions de francs ont été pris en compte pour une exploitation parallèle de véhicules ferroviaires avec DAC et attelage à vis. Pour les adaptations de l'infrastructure, les coûts totaux ont été estimés à 125 millions de francs.

Sans rémunération des flux financiers, mais en tenant compte du taux d'inflation annuel, on peut s'attendre, sur une période d'observation de 25 ans, à des coûts de post-équipement du matériel roulant allant de 429 millions de francs (ST1) à 707 millions de francs (ST3). En additionnant les coûts susmentionnés d'adaptation de l'infrastructure ainsi que les charges d'exploitation supplémentaires dues à l'exploitation parallèle de véhicules ferroviaires avec attelage à vis et DAC, on a calculé des coûts totaux d'environ 584 millions de francs (ST1) à 862 millions de francs (ST3).

En collaboration avec six entreprises de transport ferroviaire (ETF) participant au projet, nous avons déterminé les économies de temps attendues dans chacune des étapes de processus par scénario technologique et par forme de production en trains complets, en transport par wagons complets isolés (TWCI) et en transport combiné par rapport au statu quo. Ces économies de temps de traitement par train ont été converties en économies de temps réelles à l'aide de facteurs de conversion également utilisés dans l'EDDP et multipliées par le nombre de trains annuels des ETF participantes. Le ST1 calcule un gain de productivité de 18 % par rapport au statu quo ; dans le ST3, l'augmentation de la productivité est de 34 %. Sur une période d'observation de 25 ans (sans actualisation, mais avec un taux d'inflation annuel), les bénéfices totaux sont estimés entre 1,0 (ST1) et 2,2 milliards de CHF (ST3).

En tenant compte d'une actualisation annuelle de tous les flux financiers (coûts et avantages) à hauteur de 5 % et d'un taux d'inflation annuel de 2 %, l'analyse de la rentabilité sur la période considérée de 25 ans aboutit au résultat intermédiaire suivant :

- ST1 : valeur actuelle positive de 86 millions de francs et durée d'amortissement de 20 ans
- ST2 : valeur actuelle positive de 549 millions de francs et durée d'amortissement de 11 ans
- ST3 : valeur actuelle positive de 518 millions de francs et durée d'amortissement de 12 ans.

2. Introduction

Conformément à la motion Dittli 20.3221, l'OFT est chargé d'élaborer un concept de migration pour l'automatisation du FF en Suisse. Les éléments de migration pour cette automatisation sont le DAC, l'essai automatique d'efficacité du frein, l'automatisation (partielle) du fret de proximité ainsi que la maintenance basée sur l'état. À cet effet, à l'automne 2021, l'OFT a lancé un projet comprenant six projets sectoriels. L'OFT a chargé la société hwh de l'assister dans le cadre du projet sectoriel 5 « Financement » afin d'établir un plan de coûts global et de réaliser un *business case*. La présente documentation reflète l'état intermédiaire de l'élaboration d'un *business case* (analyse de rentabilité) en novembre 2022.

Le *business case* pour l'automatisation du FF en Suisse a été développé dans le cadre du projet sectoriel 5. Pour ce faire, un modèle de calcul basé sur la méthode DCF a été élaboré et des hypothèses de base, telles que le taux d'intérêt et le taux d'inflation sur toute la durée du modèle de calcul, ainsi que des hypothèses sur les taux de coûts du FF ont d'abord été définies (cf. ch. 3). Dans un deuxième temps, le nombre de véhicules à équiper – la structure quantitative pour la migration du DAC – a été déterminé (cf. ch. 4) en collaboration avec le projet sectoriel 1 du projet Automatisation du fret ferroviaire en Suisse. En s'appuyant sur les travaux préliminaires de l'EDDP et en accord avec les ETF participantes, on a ensuite estimé les coûts d'acquisition de composants innovants, tels que le DAC ou l'essai automatique du frein, ainsi que les coûts d'installation des composants dans les véhicules ferroviaires (cf. ch. 5). Enfin, les avantages de l'automatisation du FF ont été évalués avec les ETF participantes (cf. ch. 6). Tous les paramètres d'entrée déterminés ont été introduits dans le modèle de calcul et tous les flux de capitaux ont été actualisés afin de déterminer la valeur actuelle de l'investissement et sa durée d'amortissement sur tout le temps de fonctionnement (cf. ch. 7).

3. Hypothèses de base du modèle de calcul

Dans le modèle de calcul, tous les revenus et coûts d'automatisation du FF en Suisse ont été saisis sur une période de 25 ans, avec un début de la migration en 2025 et une fin de la migration en 2030. En accord avec le mandant OFT, les flux financiers ont été actualisés avec un taux d'intérêt de 5 % et fixés avec un taux d'inflation annuel de 2 %. L'analyse de rentabilité se base sur trois ST coordonnés (cf. également Tableau 1) :

- ST1 : DAC type 2 (uniquement mécanique/pneumatique), essai automatique du frein, inspection technique numérique des wagons ;
- ST2 : comme ST1, mais avec DAC type 4, y compris le système électrique d'énergie et de communication
- ST3 : comme ST2, mais avec DAC type 5, y compris le dételage à distance, le frein électropneumatique, l'automatisation du fret de proximité, le contrôle d'intégrité du train et la maintenance basée sur l'état.

Tableau 1 : Aperçu des scénarios technologiques

Fonctionnalité technique	ST1	ST2	ST3
Degré d'automatisation (D)AC2	Oui	-	-
Degré d'automatisation DAC4	-	Oui	-
Degré d'automatisation DAC5	-	-	Oui
Essai automatique du frein	Oui	Oui	Oui
Inspection technique du wagon	Oui	Oui	Oui
Système électrique d'énergie	-	Oui	Oui
Système de communication	-	Oui	Oui
Système de freinage ep	-	-	Oui
Last Mile – transmission d'images de la loc	-	-	Oui
Contrôle d'intégrité du train	-	-	Oui
Capteurs CBM	-	-	Oui

Source : Hypothèses propres en accord avec l'OFT et avec les participants au projet

En outre, il a fallu faire des hypothèses sur la date à laquelle les véhicules ferroviaires doivent être équipés de DAC et, le cas échéant, d'autres composants d'automatisation. On a ainsi déterminé à quel moment les coûts d'acquisition et de post-équipement, mais aussi les effets bénéfiques, interviendront. Pour les engins de traction, on est parti du principe qu'une grande partie du parc de VM devait déjà être équipée à un stade très précoce de la migration. On a donc supposé que 30 % des VM seraient équipés d'un attelage hybride dès la première année de la migration, 50 % la deuxième année, 75 % la troisième et 100 % du parc de VM à partir de la quatrième année de la migration. Pour les wagons, en revanche, on a supposé que le post-équipement de la flotte serait réparti uniformément sur la période de migration de six ans, c'est-à-dire que chaque année, environ 17 % du parc seraient rééquipés du DAC et d'autres composants d'automatisation.

En outre, il a été supposé que pour réussir la migration du DAC, il faudrait acheter des adaptateurs d'attelage et poser des attelages hybrides sur des wagons dits d'attelage. Les adaptateurs d'attelage et/ou les wagons d'attelage doivent permettre la circulation/manœuvre de trains/groupes de manœuvre mixtes pendant la migration. Comme ces outils doivent être disponibles rapidement, on a supposé que 50 % des adaptateurs d'attelage et des wagons

d'attelage nécessaires seraient disponibles la première année de migration. Dès la deuxième année, 100 % des moyens auxiliaires nécessaires devraient être disponibles.

Le tableau 2 présente une vue d'ensemble de la courbe de montée en puissance supposée pour les véhicules ferroviaires à post-équiper ainsi que la mise à disposition d'adaptateurs d'attelage et de wagons d'attelage.

Tableau 2 : Courbe de montée en puissance Conversion du parc de véhicules et mise à disposition de moyens auxiliaires

Période de migration : 6 ans						
Année	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Proportion de wagons équipés du DAC	17 %	33 %	50 %	67 %	83 %	100 %
Proportion de véhicules moteurs équipés du DAC	30 %	50 %	75 %	100 %	100 %	100 %
Proportion d'adaptateurs d'attelage	50 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Proportion de wagons d'attelage avec double attelage hybride	50 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Proportion de wagons d'attelage avec simple attelage hybride	50 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Proportion de butoirs post-équipés	50 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Proportion d'exploitation parallèle	17 %	33 %	50 %	67 %	83 %	100 %
Proportion d'infrastructure post-équipée	17 %	33 %	50 %	67 %	83 %	100 %

Source : Hypothèses propres en accord avec l'OFT

Enfin, les hypothèses générales ont également permis de déterminer les taux de coûts moyens des véhicules ferroviaires et du personnel ferroviaire en Suisse. À cet effet, les ETF participant au projet ont été priées d'indiquer de manière anonyme leurs paramètres de coûts pour ces deux postes. Leurs réponses ont permis de calculer un taux moyen pour chaque paramètre de coût.

Le Tableau 3 présente les hypothèses retenues pour les taux de coûts des véhicules ferroviaires et du personnel ferroviaire en Suisse.

Tableau 3 : Hypothèses de coûts pour les véhicules et le personnel ferroviaires

Paramètres de coûts	Taux de coûts
Conducteur de VM de voie par heure	120,00 CHF
Conducteur de loc de manœuvre par heure	100,00 CHF
Atteleur par heure	90,00 CHF
Visiteur par heure	120,00 CHF
VM électrique de voie par heure	180,00 CHF
VM de voie diesel par heure	150,00 CHF
Locomotive de manœuvre par heure	120,00 CHF
Wagons par jour	40,00 CHF

Source : Taux de coûts moyens sur la base des réponses des ETF participantes

4. Cadre estimatif – hypothèses sur le nombre de véhicules ferroviaires à post-équiper

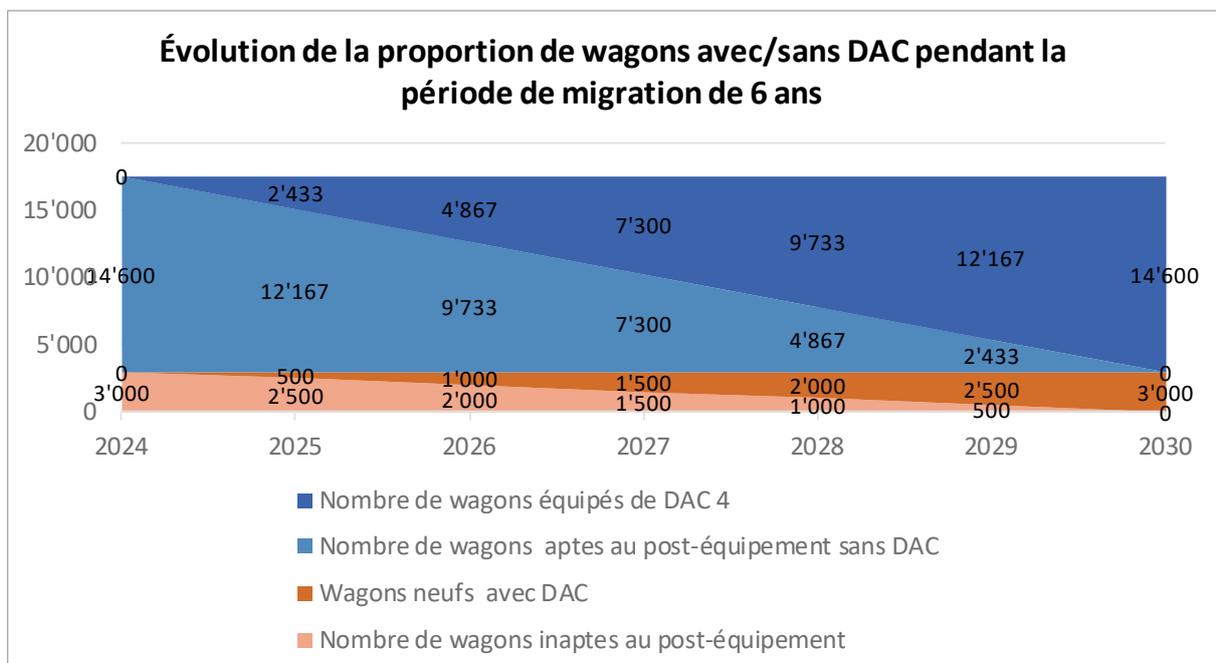
Le nombre de véhicules à post-équiper a été déterminé par le projet sectoriel 1 et mis à disposition pour la présente analyse de rentabilité. Au total, on part d'un parc de 17 600 wagons pertinent pour le FF suisse. Sur ce total, 10 600 wagons peuvent être équipés d'un DAC de manière relativement simple, 4000 requièrent une transformation plus importante pour des raisons techniques, 3000 ne peuvent pas être équipés pour des raisons techniques ou économiques. Chaque année, 500 nouveaux wagons devraient être équipés du DAC et, selon le scénario technologique, d'autres composants innovants.

En Suisse, on estime à 520 le nombre de VM concernés par l'attelage hybride. Sur ce total, 206 peuvent être équipés relativement facilement, 225 ne peuvent l'être qu'à grands frais et 89 ne peuvent pas l'être. Chaque année, 22 nouveaux VM devraient être livrés avec le DAC et des composants innovants.

Il a également été supposé que 400 wagons d'attelage avec DAC et attelage à vis et 500 adaptateurs d'attelage seraient nécessaires à la migration. De même, 2500 butoirs doivent être adaptés en vue de l'utilisation d'un attelage à tampon central/DAC.

La figure 1 montre l'évolution du post-équipement du parc de wagons au cours de la période de migration. La courbe de montée en puissance linéaire, déjà présentée au ch. 3, est mise en évidence. À la fin de la période de migration, en 2030, l'ensemble du parc suisse de wagons, soit 17 600 wagons, devrait être équipé d'un DAC et d'autres composants d'automatisation. Pour simplifier, on suppose que les wagons qui ne peuvent pas l'être seront remplacés par de nouveaux wagons directement équipés d'un DAC.

Figure 1 : Évolution des wagons de marchandises adaptés au DAC au cours de la migration



Source : Calculs propres sur la base de la structure quantitative du projet sectoriel 1.

5. Hypothèses concernant les coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires

Comme la plupart des composants innovants considérés ici ne sont pour l'instant disponibles que sous forme de prototypes, l'industrie ferroviaire ne dispose pas de données fiables sur les prix du marché. Dans le cadre de l'EDDC, les coûts probables d'acquisition et de post-équipement pour les différents composants innovants ont été estimés. Ces données ont été largement reprises et traduites dans les trois scénarios technologiques considérés ici. Toutefois, les hypothèses de coûts retenues dans l'EDDP ont également été comparées à celles de quelques ETF participantes, ce qui a entraîné une légère modification de certaines hypothèses de coûts par rapport à l'EDDP.

Les hypothèses de coûts ont également été différenciées selon qu'il est relativement facile ou plus difficile d'équiper un véhicule ferroviaire du DAC. Les coûts d'acquisition du DAC, des composants innovants et d'adaptation des véhicules vont de 21 000 CHF pour un wagon facile à adapter dans le ST1 à 44 000 CHF pour un wagon difficile à adapter dans le ST3. Pour les VM, les coûts escomptés vont de 60 000 CHF (VM ST1 facile à adapter) à 250 000 CHF (VM ST3 difficile à adapter). En outre, en accord avec les ETF impliquées dans le projet, des coûts uniques d'ingénierie ont été estimés pour chaque type de wagon et chaque série de construction de VM.

Tableau 4 : Hypothèses concernant les coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires

Coûts de post-équipement par véhicule	ST 1	ST 2	ST 3
Coûts supplémentaires pour le DAC sur wagons neufs	13'000 CHF	13 000 CHF	17 000 CHF
Coûts supplémentaires pour le DAC sur VM neufs	80 000 CHF	80 000 CHF	80 000 CHF
Coûts de post-équipement par wagons – faciles à post-équiper	21 000 CHF	32 000 CHF	39 000 CHF
Coûts de post-équipement par wagons – difficiles à post-équiper	31 000 CHF	37 000 CHF	44 000 CHF
Coûts de post-équipement par VM – faciles à post-équiper	60 000 CHF	70 000 CHF	160 000 CHF
Coûts de post-équipement par VM – difficiles à post-équiper	80 000 CHF	90 000 CHF	2 500 000 CHF
Total des coûts d'ingénierie parc de wagons	5 000 000 CHF	5 000 000 CHF	5 000 000 CHF
Coûts uniques d'ingénierie par type de wagon	50 000 CHF	50 000 CHF	50 000 CHF
Total des coûts d'ingénierie parc de VM	5 000 000 CHF	5 000 000 CHF	5 000 000 CHF
Coûts uniques d'ingénierie par série de construction de VM	250 000 CHF	250 000 CHF	250 000 CHF

Source : Hypothèses en accord avec l'OFT et les participants au projet, EDDP WP5

Le tableau 5 présente les coûts de post-équipement des parcs de wagons et de VM pour les trois scénarios technologiques, soit d'environ 429 millions de francs dans le ST1 à 707 millions de francs dans le ST3.

Tableau 5 : Coûts de post-équipement des véhicules ferroviaires par scénario technologique

	ST 1	ST 2	ST 3
--	------	------	------

Post-équipement des wagons	-384 885 317 CHF	-492 698 000 CHF	-606 898 000 CHF
Post-équipement des VM	-44 128 819 CHF	-46 129 017 CHF	-100 669 017 CHF
Somme	-429 014 136 CHF	-538 827 017 CHF	-707 567 017 CHF

Source : Calculs propres à partir d'hypothèses de coûts de post-équipement et du cadre estimatif

Pendant la phase de migration, on s'attend à des surcoûts d'exploitation en raison de l'exploitation parallèle de véhicules ferroviaires avec DAC et attelage à vis. Au stade actuel du projet, il n'est possible d'évaluer ces surcoûts qu'approximativement. En accord avec l'OFT, ceux-ci ont été estimés à 30 millions de francs.

En outre, en accord avec l'OFT, on a estimé que les adaptations de l'infrastructure, telles que la pose de butoirs permettant l'utilisation d'attelages à tampon central ainsi que d'autres constructions infrastructurelles éventuellement nécessaires, par exemple dans les gares de triage, entraîneront des coûts de 125 millions de francs pendant la période de migration.

Au total, les postes de coûts ci-dessus pour les post-équipements du parc de véhicules ferroviaires et de l'infrastructure ainsi que les surcoûts pour l'exploitation parallèle aboutissent à des totaux respectifs de 584 millions de francs pour le ST1, 693 millions de francs pour le ST2 et 862 millions de francs pour le ST3.

6. Hypothèses sur les avantages de l'automatisation du FF en Suisse

En collaboration avec six ETF, qui représentent globalement une part de marché très élevée dans le FF suisse, on a déterminé les économies de temps attendues par rapport au statu quo dans chaque étape de processus par scénario technologique et par forme de production (train complet, TWCI et transport combiné). Les ETF participantes ont rempli différents questionnaires pour chaque forme de production et ont estimé le temps nécessaire à chaque étape du processus avec la technologie actuelle, ainsi qu'avec la technologie utilisée dans chacun des trois scénarios technologiques. Les rôles du personnel (par ex. conducteur de locomotive) et la technique (par ex. locomotive de manœuvre) impliqués dans les différentes étapes du processus ont également été pris en compte. De cette manière, le gain de temps a été calculé pour chaque ETF participante au projet, pour chaque train et pour chaque scénario technologique dans les trois formes de production précitées. En outre, les ETF participantes ont également fourni le nombre de trains qu'elles ont fait circuler chaque année dans chaque forme de production, ce qui a permis de calculer un gain de temps total par an.

Le tableau 6 montre à titre d'exemple le formulaire de saisie pour la forme de production « train complet » pour un scénario technologique. Les informations fournies par les ETF étant des données sensibles, elles ne peuvent pas être divulguées dans le cadre de la présente documentation.

Tableau 6 : Modèle pour la saisie du temps nécessaire par train – exemple pour un train complet

Groupe de base	Processus	Sous-processus	Rôles du personnel			Technique		Besoin en temps EFFECTIF STATU QUO	Besoin en temps NOUVEAU pour le ST	Delta EFFECTIF - NOUVEAU ST	
			CL	CLM	Zu	Zv	VM				BPA
Point de chargement / départ client	Manœuvrer	Mouvement de manœuvre	CL	CLM			VM				
	Préparer le train	Composition des trains				Zv	VM				
		Visite technique du train				Zu					
		Visite opérationnelle du train				Zu					
		Essai du frein				Zu	VM	BPA			
	Manœuvrer	Mouvement de manœuvre	CL	CLM			VM				
	Préparer le train	Essai supplémentaire du frein				Zu	VM				
Clôture de la visite du train					Zv						
Mouvement	Conduire un train marchandises	Annonce de tran prêt à partir conduite conforme aux PCT	CL								
			CL				VM				
Point de chargement / réception client	Décomposer un train marchandises	Scinder le train à 1...n endroits	CL	CLM			VM				
	Manœuvrer	Mouvement de manœuvre	CL	CLM			VM				
	Remettre un wagon	Remise du wagon au client		CLM							
	Manœuvrer	Mouvement de manœuvre	CL	CLM			VM				
	Réceptionner un wagon	Vérifier les données du check-in		CLM							
		Réceptionner un wagon		CLM							
	Manœuvrer	Mouvement de manœuvre	CL	CLM			VM				
Somme par train								Somme par train	Somme par train		
Nombre de trains par an								Somme par an	Somme par an		
Somme par an								Somme par an	Somme par an		

Source : représentation propre

Les économies de temps annuelles ainsi obtenues ont ensuite été converties en fonction des rôles du personnel et des techniques utilisées, puis multipliées par les taux de coûts du personnel et des véhicules ferroviaires mentionnés au ch. 2. De cette manière, une valeur au moins théorique d'une économie de coûts de personnel et d'utilisation de véhicules ferroviaires a été calculée. Comme les économies de coûts de processus ne se traduisent pas par des économies réelles, des coefficients de conversion déterminés par l'EDDP et présentés dans le tableau ci-dessous ont été utilisés pour calculer les économies potentielles.

Tableau 7 : Coefficients de conversion des économies de coûts de processus en économies potentielles

Facteurs de conversion	
Personnel de manœuvre	100 %
VM de manœuvre	40 %
VM de voie	20 %
Conducteur de VM de voie	20 %
Utilisation des wagons	20 %

Source : EDDP WP5

À titre d'exemple, les coefficients de conversion signifient qu'une économie de temps de processus calculée pour le personnel de manœuvre est convertie à 100 % en économie potentielle, mais à 20 % seulement pour l'utilisation des wagons.

Pour le ST1, on suppose un gain de productivité de 18 % par rapport au statu quo, et de 34 % dans le ST3. Sur une période d'observation de 25 ans (sans actualisation, mais avec un taux d'inflation annuel), l'utilité totale est estimée à environ 1,0 milliard de francs dans le ST1, à 2 milliards dans le ST2 et jusqu'à 2,3 milliards dans le ST3.

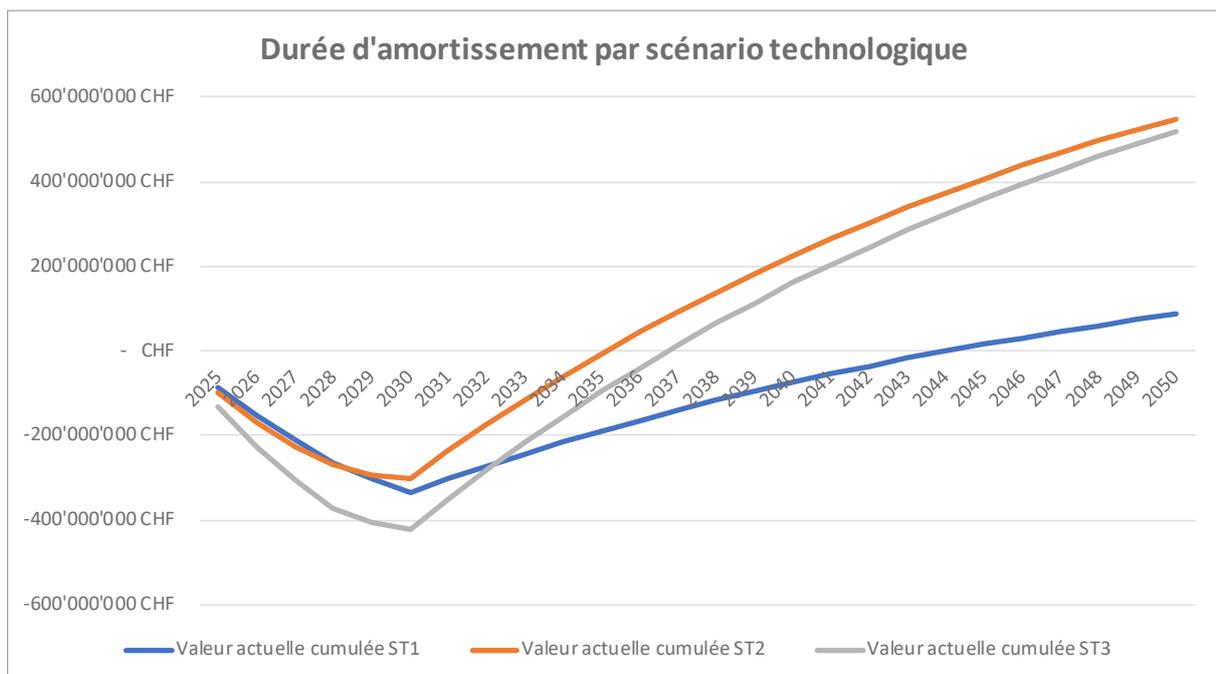
D'autres aspects bénéfiques, tels que des effets de transfert sur le rail et l'augmentation des recettes de transport qui en découle pour les ETF, l'amélioration de la sécurité au travail ou le gain d'attrait des métiers d'exploitation ferroviaire, n'ont pas (encore) pu être quantifiés, mais représentent en tout cas des bénéfices qualitatifs additionnels.

7. Résultat intermédiaire de l'analyse de rentabilité

En tenant compte d'une actualisation annuelle de tous les flux financiers (coûts et utilité) à hauteur de 5 % et d'un taux d'inflation annuel de 2 %, l'analyse de rentabilité sur la période d'observation de 25 ans aboutit au résultat intermédiaire suivant (voir également la figure 2) :

- ST1 : valeur actuelle positive de 86 millions de francs et amortissement sur 20 ans (jusqu'en 2045)
- ST2 : valeur actuelle positive de 549 millions de francs et amortissement sur 11 ans (jusqu'en 2036)
- ST3 : valeur actuelle positive de 518 millions de francs et amortissement sur 12 ans (jusqu'en 2037).

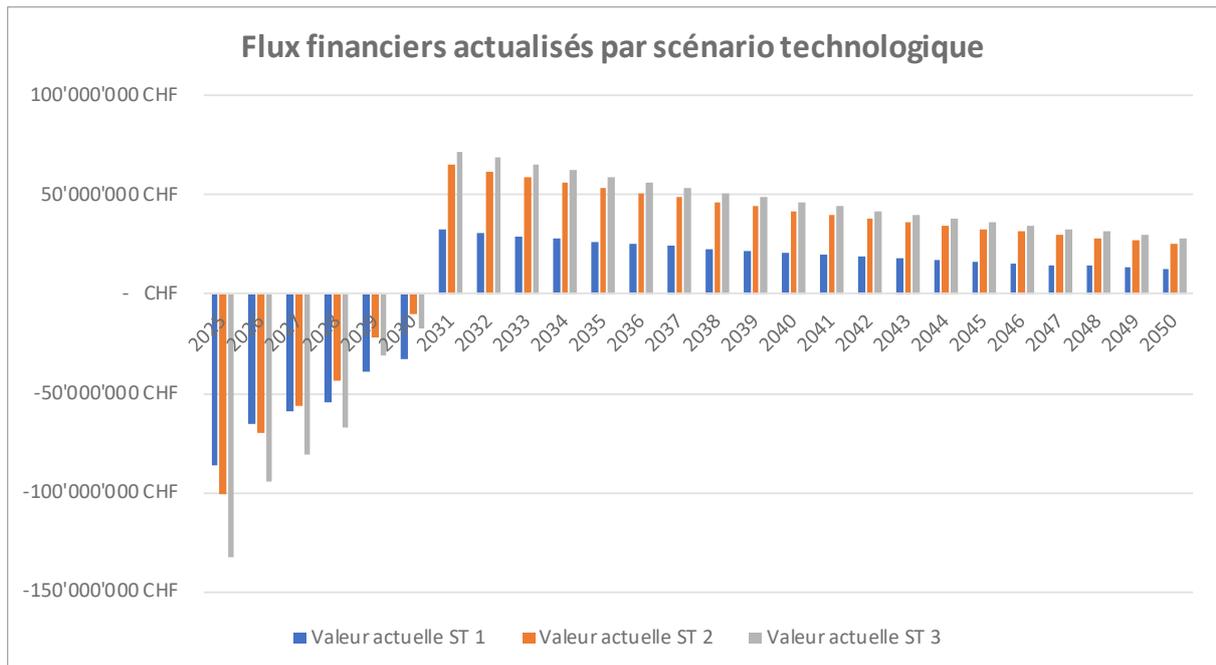
Figure 2 : Durée d'amortissement par scénario technologique



Source : Calculs propres

La figure 3 présente les flux financiers actualisés (solde des coûts de post-équipement et des avantages) par année et par scénario technologique. Au cours des premières années de la migration, les flux financiers annuels actualisés sont, comme prévu, négatifs en raison des coûts élevés de post-équipement. Ils sont clairement positifs une fois la migration terminée. Ces flux financiers résultant de l'automatisation du FF en Suisse sont plus élevés dans le ST3 en raison du degré d'automatisation plus élevé. L'effet de l'actualisation des flux financiers est également frappant, de sorte que les flux financiers positifs issus des effets en termes d'utilité sont plus faibles d'année en année (figure 3).

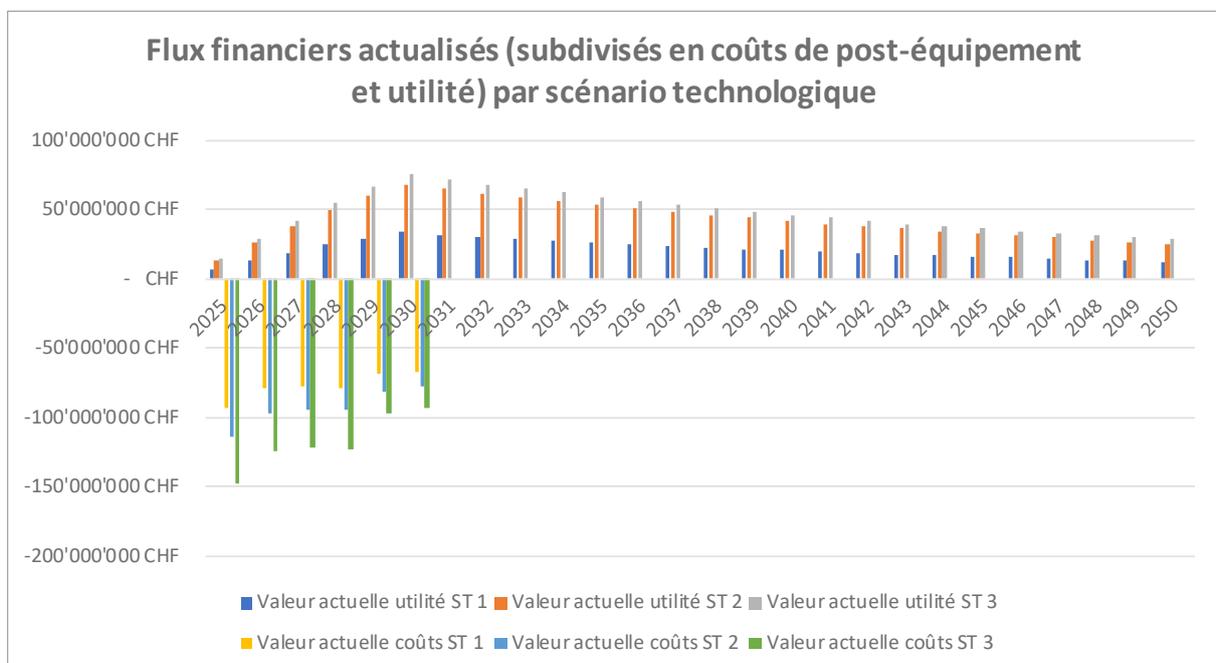
Figure 3 : Flux financiers cumulés actualisés par année et par scénario technologique



Source : Calculs propres

Alors que la figure 3 ci-dessus présente les flux financiers sous forme de solde des coûts de post-équipement et des avantages, la figure 4 présente séparément les flux financiers actualisés pour les coûts de post-équipement et les avantages pour chaque scénario technologique.

Figure 4 : Flux financiers actualisés répartis entre coûts de post-équipement et avantages, par scénario technologique

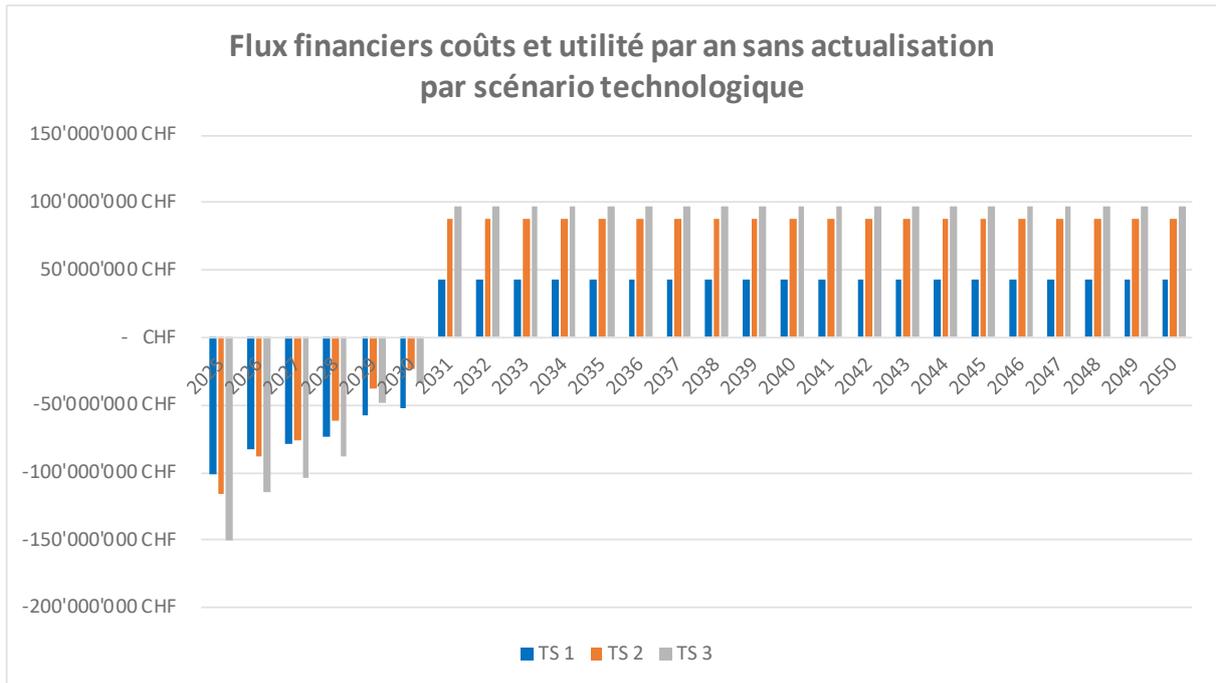


Source : Calculs propres

Le montant des intérêts joue toujours un rôle important dans un modèle de calcul basé sur la méthode DCF. C'est pourquoi il est possible de faire varier le montant des intérêts dans le

modèle de calcul. En supposant un taux d'intérêt de zéro % (donc sans actualisation), on obtient les flux financiers représentés dans le graphique ci-dessous.

Figure 5 : Flux financiers par année et scénario technologique sans actualisation



Source : Calculs propres