

Hauptsponsoren • Main Sponsors



AFRY Schweiz AG, Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Amberg Engineering AG
Amberg Technologies AG
VersuchsStollen Hagerbach AG



Frutiger AG, Thun



Avesco AG, Langenthal



Gähler und Partner AG,
Ennetbaden



B+S AG, Bern



Gasser Felstechnik AG,
Lungern



Basler & Hofmann AG, Zürich



Heitkamp Construction
Swiss GmbH, Dierikon



Bellini Personal AG, Zürich



Herrenknecht AG,
Schwanau (DE)



Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG,
Wangen SZ



Holcim (Schweiz) AG, Zürich



csc costruzioni sa, Lugano



Implenia Schweiz AG, Opfikon

Sponsoren • Sponsors



Infra Tunnel SA, Marin



Pini Gruppe AG, Grono



IM Maggia Engineering SA,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern



Renzo Tarchini
Cantieri & Contratti SA
Lugano



Lombardi AG
Bellinzona-Giubiasco, Rotkreuz,
Fribourg



Robert Aebi AG, Regensdorf



Marti Technik AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



Sika Schweiz AG, Zürich



Master Builders Solutions
Schweiz AG, Holderbank



WSP | BG
Ingénieurs Conseils SA,
Lausanne

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel

ACO AG, Netstal

Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau (DE)

Bekaert (Schweiz) AG, Baden

CSD INGÉNIEURS SA, Fribourg

Dolenco Tunnel Systems, Roskilde (DK)

EBP Schweiz AG, Zürich

FAMA Srl, Zoppola (IT)

GIPO AG, Seedorf

Gruner SA, Renens

ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich

JAUSLIN STEBLER AG, Muttenz

Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden

Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens

PORR SUISSE AG, Altdorf

Promat AG, Münchwilen

Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau

Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig

Davide Calderara, Dipl. Bau-Ing. HTL, SBB Infra, 1020 Renens

Patrick Senn, Leiter Infrastrukturbau Engineering & Design, Amberg Engineering, 8105 Regensdorf

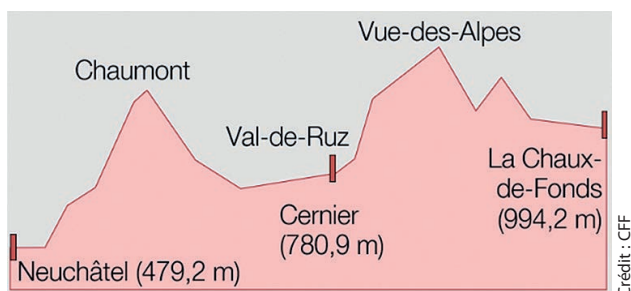
Projet Ligne Directe NE-CF

La nouvelle liaison ferroviaire Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

Le projet Ligne Directe NE-CF a pour objectif d'améliorer significativement le temps de parcours entre les villes de Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds, situées respectivement dans le bas et le haut du canton de Neuchâtel. Il prévoit la réalisation de deux tunnels ferroviaires qui se distinguent par leur pente importante. Le coût d'investissement est évalué à approximativement 1.4 milliard de francs suisses.

1 Contexte

La ligne ferroviaire actuelle à voie unique qui relie les villes de Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds franchit un dénivelé total de 560 m pour relier le bas et le haut du canton de Neuchâtel (fig. 1). La longueur du tracé est d'environ 30 km et présente une pente moyenne de 27‰.



Crédit : CFF

1 Schéma du profil longitudinal entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds via le Val-de-Ruz



Crédit : CFF

2 Schéma de la future Ligne Directe NE-CF versus état existant

Avec un rebrassage nécessaire en gare de Chambrilien, le temps de trajet entre les deux villes est aujourd'hui d'un peu moins de 30 minutes (fig. 2). La ligne est exploitée avec des trains InterRegio et RegioExpress. Seul un très faible trafic marchandise circule sur une partie de cette ligne.

En 2016, la cadence est passée d'une offre asymétrique, avec deux trains à l'heure dont l'un desservant tous les arrêts, à une cadence symétrique à la demi-heure, permettant une correspondance complète avec l'offre de la ligne du Pied-du-Jura. Depuis, la fréquentation de la ligne a pratiquement doublé, passant de 3 500 passagers/jour environ à 7 000 environ aujourd'hui, avec une tendance à la hausse constante.

Malgré un assainissement effectué en 2021, le tracé et l'état de vétusté de la ligne, qui date de 1860, ne permettent pas un développement de l'offre apte à répondre aux besoins croissants de mobilité à terme ainsi qu'aux exigences sécuritaires actuelles. Pour être en mesure de répondre à l'offre prévue dans l'étape d'aménagement 2035 du programme de développement stratégique de l'infrastructure ferroviaire (PRODES) de la Confédération, la ligne actuelle doit être remplacée par une nouvelle liaison ferroviaire directe.

Le 21 juin 2019, dans le cadre de PRODES, les Chambres Fédérales ont approuvé le financement d'une liaison ferroviaire directe entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds et l'aménagement d'une gare de croisement au Crêt-du-Loche. Cette nouvelle ligne permettra le cadencement au quart d'heure entre ces deux villes et celle du Locle. Suite à

l'inscription de ces mesures d'infrastructure dans l'étape d'aménagement 2035 de PRODES, l'Office Fédéral des Transports (OFT) a mandaté les CFF pour réaliser une étude préliminaire sur la base d'un avant-projet précédemment étudié par le canton de Neuchâtel en 2011.

En plus de ces nouvelles infrastructures, le démantèlement de la ligne existante entre Corcelles-Peseux et le raccordement à La Chaux-de-Fonds ainsi que le remplacement des fonctionnalités ferroviaires supprimées doivent être réalisés.

Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt

Die neue Bahnverbindung Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

Die Strassenverbindung zwischen den Städten Neuenburg und La Chaux-de-Fonds ist regelmässig durch den Pendlerverkehr überlastet. Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt wird diesen Druck lindern, indem es die Zugverbindung zwischen den beiden Städten erheblich verbessert und gleichzeitig den Mobilitätsanforderungen der Zukunft gerecht wird. La Chaux-de-Fonds liegt auf einer Höhe von fast 1000 m und kann als Bergstadt bezeichnet werden, während Neuchâtel am Seeufer liegt. Die grösste Herausforderung des Projektes besteht darin, den Zügen des Flachlandnetzes die Überwindung eines Höhenunterschieds von rund 560 Metern mit den im Fahrplan geforderten Geschwindigkeiten zu ermöglichen.

Il Progetto del collegamento ferroviario diretto NE-CF

Il nuovo collegamento ferroviario Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

La strada che collega le città svizzere Neuchâtel e La Chaux-de-Fonds è sistematicamente congestionata dal traffico pendolare. Il progetto del collegamento diretto NE-CF mitigherà questa criticità, migliorando notevolmente il collegamento ferroviario tra le due città e rimanendo al contempo all'altezza delle sfide di mobilità del futuro. La Chaux-de-Fonds si trova ad un'altitudine di quasi 1000 m e può essere considerata città montana, mentre Neuchâtel si trova sulla sponda del lago. La maggiore sfida del progetto risiede nel fatto che i treni che transitano nella rete della pianura possano superare, alle velocità necessarie per l'orario di marcia pianificato, un dislivello di ca. 560 m.

2 Description du projet

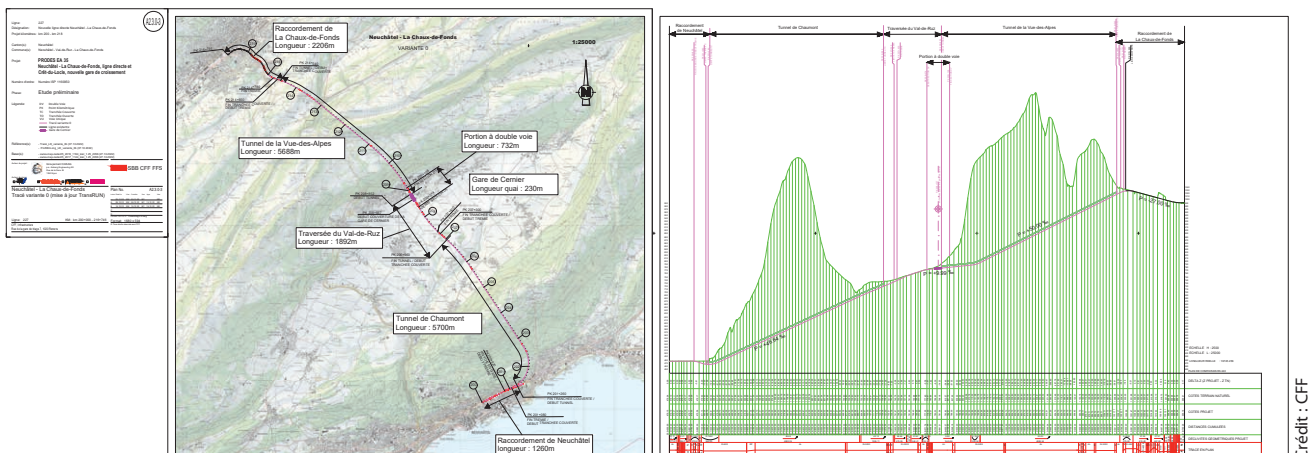
2.1 Tunnels

La nouvelle Ligne Directe Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds à voie unique porte sur un tracé total d'environ 16.8 km, dont 14.2 km de nouveau tracé, avec un dénivelé à franchir de 560 m (fig. 3 et 4).

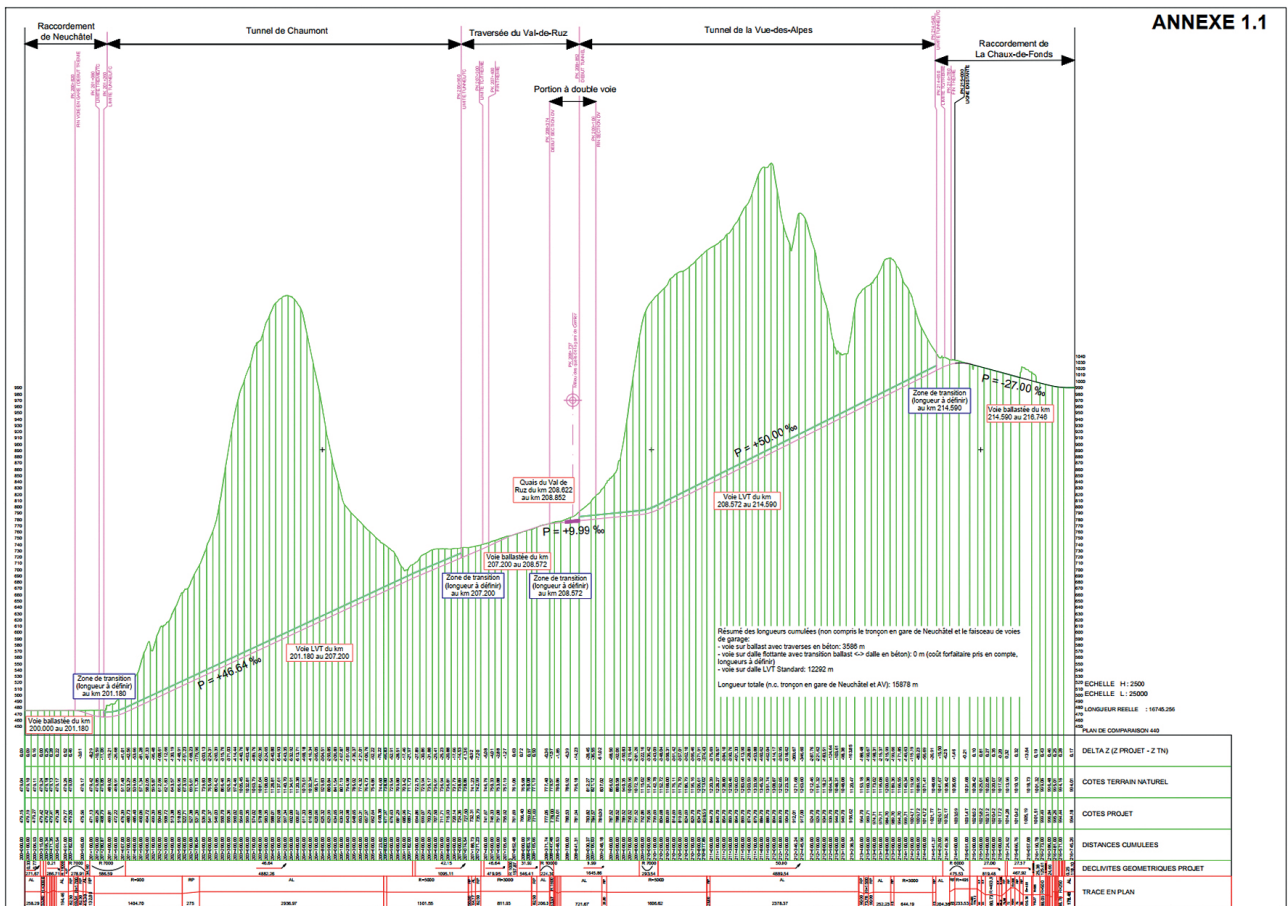
Majoritairement souterraine, elle nécessite la réalisation de deux tunnels conséquents : le tunnel de Chaumont, entre Neuchâtel et le Val-de-Ruz, et le tunnel de la Vue-des-Alpes entre Cernier et La Chaux-de-Fonds, d'une longueur respective de 5.6 km et 5.7 km.

Entre les deux tunnels se situe le secteur dit « Traversée du Val-de-Ruz », d'une longueur d'environ 1300 m, dont la réalisation est prévue à ciel ouvert. À son extrémité nord, juste avant la localité de Cernier, se trouvera la nouvelle gare du Val-de-Ruz, qui sera partiellement enterrée. Une plateforme intermodale sera réalisée au droit de la future gare de Cernier afin de permettre le rabattement des divers modes de transport à réorganiser autour de la nouvelle infrastructure.

Chaque tunnel ferroviaire, d'un diamètre d'excavation d'environ 9.4 m, est complété d'une galerie de service et de sauvetage d'un diamètre d'excavation d'environ 4.7m (fig. 5). Cette galerie est parallèle au tunnel principal, dont elle est distante d'environ 20 m et auquel elle est reliée par des rameaux de communication tous les 500 m afin de garantir le niveau de sécurité requis et un accès pour la maintenance de l'ouvrage souterrain. Ces éléments sont susceptibles d'évoluer dans le cadre des études en cours.



3 Plan de situation générale de la future Ligne Directe NE-CF



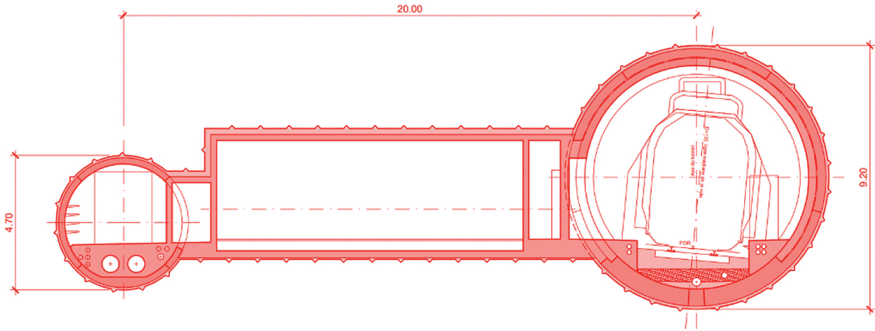
Crédit : CFF

4 Profil longitudinal de la future Ligne Directe NE-CF

Les tunnels seront construits selon le principe de la double coque, avec une étanchéité entre le soutènement et la voûte intérieure en béton coulé sur place. Dans les sections à fortes venues d'eau, une étanchéité complète pourrait s'avérer nécessaire.

Les tunnels seront équipés d'une voie sur dalle en béton et d'un rail de contact compact fixé en sommet de voûte. Dans le but d'harmoniser l'entretien, l'application de ces modes constructifs sur le secteur « traversée du Val-de-Ruz » reste à étudier.

Coupe type tunnels et galeries de sécurité, 1 :100



Galerie de service et de sauvetage :

- Diamètre d'excavation 4.70 m
- Positionnée à l'intérieur de la courbe
- Pressurisée

Tunnel ferroviaire :

- Diamètre d'excavation 9.20 m (à optimiser)
- Voie ferrée sur dalle béton
- Rail de courant (DSS)

Crédit : CFF

5 Profil standard du tunnel ferroviaire et de la galerie de service et de sauvetage

2.2 Géologie

La géologie du Jura neuchâtelois au droit des deux tunnels présente une grande diversité de formations et de nombreux défis, avec des alternances de calcaires, marnes, calcaires marneux et marnes calcaires qui constituent la majeure partie du terrain à traverser. Certaines marnes présentent en outre un potentiel de gonflement considérable. Le versant nord de la montagne de Chaumont est constitué de molasse tectonisée ou fortement fissurée, tandis que le Val-de-Ruz comporte de la moraine. La nature des terrains varie ainsi de dur et compact à mou et fracturé, présentant des propriétés similaires à celles de terrains meubles. L'équipe

de projet s'attend donc à ce que certains tronçons soient étanches et secs, et que d'autres se retrouvent dans des zones aquifères avec de l'eau partiellement sous pression. Par ailleurs, les formations calcaires de la région contiennent de nombreux karsts, et sous le Montperreux, il existe un risque important de rencontrer du Keuper contenant de l'anhydrite. Des sondages à grande profondeur ont été effectués et les résultats sont en cours d'analyse.

Malgré ces conditions de terrain variables, un percement mécanique s'impose en raison de la grande longueur des deux tunnels. Les réflexions en cours portent principalement sur des tunneliers à bouclier avec la possibilité de stabiliser le front de taille. Les avancements devraient être réalisés en majorité en mode ouvert, c'est-à-dire sans appui sur le front de taille, mais le passage en mode confiné est envisagé sur certains tronçons. Cela devrait être le cas dans les zones de portails et dans le tronçon le plus au nord du tunnel de Chaumont, où des formations molassiques tectonisées et peu stables, en combinaison avec d'éventuelles venues d'eau, nécessiteront de telles mesures. Certains tronçons courts à faible recouvrement pourraient éventuellement être excavés de manière conventionnelle.

Afin d'évacuer en toute sécurité les eaux du massif, et en particulier les eaux karstiques, tous les creusements seront effectués en direction ascendante, c'est-à-dire du sud vers le nord. Faute d'exutoire au portail de Neuchâtel, il ne sera pas possible d'évacuer les eaux du massif, en particulier les débits karstiques, ce qui nécessitera la réalisation d'une galerie d'évacuation descendant jusqu'aux rives du lac de Neuchâtel.

Les zones d'installations aux portails sud des deux tunnels, situées en milieu urbain pour le tunnel de Chaumont et dans le Val-de-Ruz pour celui de la Vue-des-Alpes, ne présentent pas, en termes de surfaces, d'environnement et de transports, des conditions favorables à la logistique d'un pareil chantier. Pour ces raisons, une étude est en cours afin de tester l'option de réaliser la galerie d'évacuation des eaux plus grande que nécessaire du point de vue hydraulique, à savoir de la dimensionner pour permettre le transit de camions et de l'utiliser également pour la logistique de construction pendant la durée des travaux. Un tel ouvrage permettrait de créer un accès facilité aux rives du lac et à d'autres secteurs présentant un potentiel de valorisation des matériaux d'excavation et pourrait être utilisé pour la livraison de voussoirs et des matériaux de construction en direction du front de taille.

2.3 Mise en oeuvre

Concernant l'excavation par tunneliers et le choix du concept d'avancement, une analyse de variantes sera menée pour comparer les deux solutions suivantes :

- la première, dite « parallèle », qui consiste à excaver simultanément les deux secteurs en tunnel, à l'aide de deux tunneliers par secteur, l'un au gabarit de la galerie ferroviaire et l'autre au gabarit de la galerie de service et de sauvetage, soit au total quatre tunneliers travaillant simultanément. Pour cette variante, il est nécessaire de réaliser deux installations de chantier, l'une à Neuchâtel et l'autre au Val-de-Ruz ;
- la seconde, dite « en série », qui consiste, en partant de Neuchâtel, à excaver le tunnel de Chaumont avant de s'attaquer à celui de La Vue-des-Alpes, ceci en réalisant simultanément la galerie ferroviaire et la galerie de sécurité. Pour cette variante, les matériaux peuvent être acheminés et évacués par les galeries vers le bas.

Dans les deux scénarios, la place d'installation principale serait située non pas en gare de Neuchâtel mais au bord du lac, accessible grâce à la galerie de décharge. Cette configuration permettrait de privilégier une évacuation de la quasi-totalité des matériaux d'excavation par voie lacustre plutôt que par camions à travers le Val-de-Ruz. La place d'installation au bord du lac étant également à proximité immédiate d'une entrée d'autoroute, cela permettrait d'éviter de charger trop lourdement le réseau des routes cantonales et communales.

En cas de réalisation des deux tunnels en série, les installations d'approvisionnement et d'évacuation resteraient plus longtemps en service sur les berges du bord du Lac de Neuchâtel, une zone bien connectée au réseau autoroutier et accessible par voie lacustre, ce qui déchargerait le Val-de-Ruz d'un important trafic. La durée des travaux serait en revanche prolongée. À l'inverse, dans le cas d'un creusement des tunnels en parallèle, les besoins pour les surfaces d'installation ainsi que la gestion des matériaux dans le Val-de-Ruz seraient considérablement accrus et le trafic routier beaucoup plus important – car le secteur n'est raccordé ni au rail, ni à des voies navigables. L'avantage d'un tel scénario réside dans le fait que la durée globale des travaux pourrait être raccourcie et la nouvelle ligne ferroviaire mise en service plus tôt.

En raison de la forte déclivité des pentes allant jusqu'à 50‰ dans les tunnels, le transport souterrain de voussoirs, de mortier et de béton devra être assuré en priorité par des véhicules sur pneus. Le transport des déblais, en revanche, peut être envisagé à l'aide de tapis roulants. En raison de surfaces disponibles limitées à proximité du portail en gare de Neuchâtel, les possibilités de stocks tampons pour les déblais et les matériaux sont restreintes, ce qui laisse à penser qu'une logistique agile et précise sera de première importance pour la réussite du chantier.

3 Matériel roulant

La contrainte d'un temps de parcours inférieur à 15 minutes pour relier les deux villes, avec un tracé de 16.8 km et un dénivelé supérieur à 560 m, nécessite un tracé de la ligne avec des pentes variant entre 46 et 50‰ sur plus de 4.5 km. Cela a pour conséquence que la nouvelle ligne ferroviaire ne peut pas être interopérable selon les Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) européennes, car elles spécifient une pente maximale de 25‰ sur une section moyenne de 10 km et de 35‰ sur une section allant jusqu'à 6 km. Cependant, certains éléments des STI doivent néanmoins être pris en compte dans la conception de l'infrastructure, notamment les aspects liés à la sécurité.

Le projet de la Ligne Directe représente un défi unique en raison de cette combinaison de fortes pentes et de vitesses élevées nécessaires pour assurer le temps de parcours et la cadence voulue.

Dès le début des études préliminaires, il est clairement apparu que la capacité du matériel roulant à assurer une exploitation régulière et fiable dans de telles conditions n'allait pas de soi. C'est pour cette raison qu'un groupe de travail spécifiquement dédié aux études portant sur le matériel a été constitué.

Un panel de spécialistes de l'infrastructure et du matériel roulant a été réuni avec pour mission de répondre aux questions suivantes :

- Le matériel roulant standard actuel susceptible d'être engagé sur une ligne avec un tel profil longitudinal est-il capable d'affronter les pentes et d'atteindre les vitesses nécessaires à la tenue des temps de parcours ?
- Le cadre normatif actuel peut-il être respecté, notamment en ce qui concerne la chaîne de traction mais aussi les systèmes de freinage des trains ?
- Les coûts d'exploitation du matériel roulant seront-ils supportables ?
- Le cas échéant, de quelles adaptations le matériel roulant aurait-il besoin pour assurer l'offre horaire ?
- Les valeurs extrêmes et théoriques du tableau de freinage contenu dans les Dispositions d'Exécution de l'Ordonnance sur les Chemins de Fer (tableau de freinage 90 DE-OCF) sont-elles valables et peuvent-elles être appliquées ?

Les résultats de cette étude sont positifs et permettent d'envisager la mise en place d'un tracé avec une pente allant jusqu'à 50‰ avec des vitesses maximales de circulation en montée de 130 km/h et en descente de 105 km/h. Pour des raisons de fiabilité et de robustesse de l'offre, le matériel roulant devra être doté d'une chaîne de traction renforcée (trois bogies de traction au lieu des deux habituels) et d'une chaîne de freinage évitant une surchauffe du système en cas de freinages d'urgence répétés. Dans le cadre de la validation des valeurs extrêmes et théoriques du tableau de freinage 90 des DE-OCF, une campagne de mesure simulant les pentes a été menée et les résultats de celle-ci ont fait l'objet d'un rapport, lequel a été transmis à l'OFT pour validation. Les conclusions de ce rapport ont été acceptées par l'autorité de tutelle, ce qui a permis le lancement de la phase d'avant-projet.

4 Coûts et délais

Depuis la précédente étude réalisée en 2011, le projet a fait l'objet d'une actualisation récente des coûts afin de tenir compte de l'évolution du marché de la construction ainsi que de l'évolution technologique de l'infrastructure, tant pour sa construction que pour son exploitation.

Tous les coûts ont été évalués sur la base des plans et rapports réalisés par les services spécialisés. Un calcul des coûts de cycle de vie a également été réalisé.

Dans le cadre de processus CFF, les coûts ont été soumis pour validation au groupe d'experts interne et à un collège d'experts externes pour avis (principe de la « Second Opinion »). Les remarques issues de ces expertises ont été prises en compte.

Le coût total du projet est estimé à 1380 MCHF à $\pm 30\%$ (base de prix 12/2014). Les études d'avant-projet en cours devront affiner les prévisions pour aboutir à une estimation plus précise.

Concernant les délais, l'étude d'avant-projet permettra de définir le programme détaillé de la réalisation de la nouvelle infrastructure ferroviaire.

DONNÉES DE PROJET

Région

Canton de Neuchâtel, Suisse

Client

Office fédéral des transports - Division infrastructure, Section grands projets

Direction des études

CFF Infrastructure - Développement du réseau Région Ouest

Équipe en charge de l'étude

Interne CFF et Externe avec le groupement mandataire CASAG (Consortium Amberg, Systra, AJS et GESTE)

Données clés

Période de construction: 2031–2038
Début des opérations: Fin 2038
Frais de construction: CHF 1380 Mio.
Longueur: 16.8 km
Coupe transversale excavée: 66.5 m² et 17.3 m²