

transN / Neuchâtel - Travers - Fleurier - Buttes Ligne 221

Auteur	RJ
Contrôlé	FJ
Visa	NyS
Document	ECH-285.12-004

KM 11.60 à 12.00

Gare de Buttes

Renouvellement de l'infrastructure et de l'installation de quai

Rapport de l'évaluation du rayonnement non ionisant

Dossier du 03.04.2018

Transports publics Neuchâtelois (transN) SA
Infrastructure
CP1429
2301 La Chaux-de-Fonds

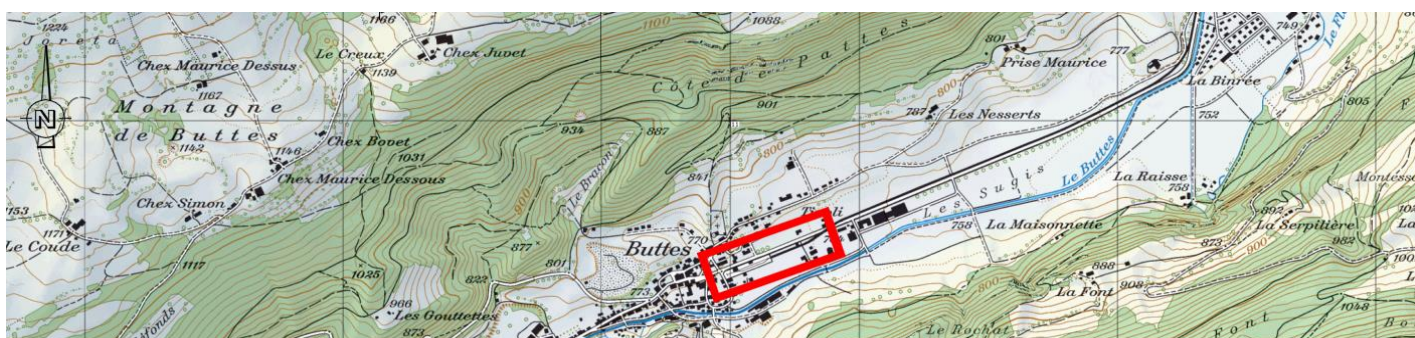
**Procédure d'Approbation
des Plans**

ENOTRAC



ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
3600 Thun

	Ind	Objet	Auteur	Contr.
Modifications	a	Version PAP0	RJ	NyS
	b			
	c			
	d			
	e			
	f			



Transports publics Neuchâtelois (transN) SA
Direction

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
3600 Thun

Original signé par
Pascal Vuilleumier
Directeur général

Original signé par
Yann Montandon
Chef de projet

Original signé par
Nydegger Stefan

Original signé par
Schär René
Auteur du projet



Réaménagement de la ligne 221

Rapport de l'évaluation du rayonnement non ionisant Gares de Couvet, Môtiers et Buttes

ECH-285.12-002
Version 1.0

Mandant :

Transports Publics Neuchâtelois S.A.
Allée des Défricheurs 3
2301 La Chaux-de-Fonds

Mandataire :

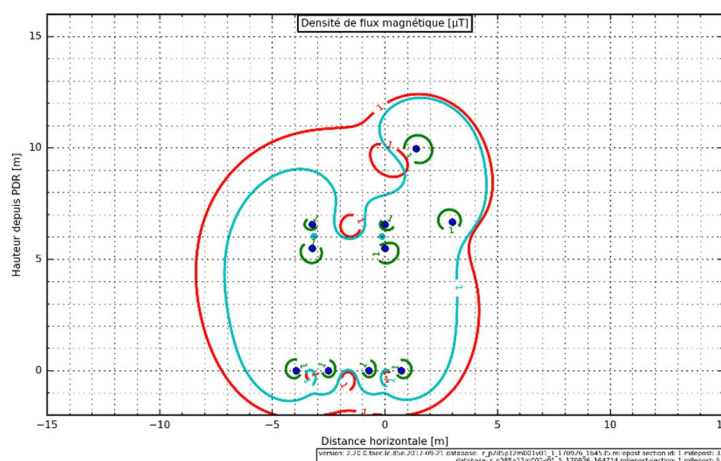
ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 (0)33 346 66 11
Fax +41 (0)33 346 66 12
e-mail: info@enotrak.com
www.enotrak.com

Validé

19.10.2017

ECH-285.12-002.V1.0.Rapport_RNI_Gare_Travers_Buttes.docx

© ENOTRAC AG



Réaménagement de la ligne 221
Rapport de l'évaluation du rayonnement non ionisant Gares de Couvet, Môtiers
et Buttes

ECH-285.12-002
Version 1.0

Version actuelle

Version	Date	Statut	Etabli	Vérifié	Validé
1.0	19.10.2017	Validé	J. Ribaux	S. Rochat	S. Nydegger

Version précédente

Version	Date	Statut	Etabli	Vérifié	Validé

Modifications par rapport à la version précédente

Mentions légales

Ce document a été établi dans le cadre de l'exécution d'un mandat et est propriété d'ENOTRAC AG. Le commanditaire jouit du droit d'usage du document et de son contenu. Toute reproduction, communication à des tiers ou exploitation du contenu sont interdites sans autorisation écrite.
© ENOTRAC AG

Bookmarks


Titre du projet	ProjTitle1	Réaménagement de la ligne 221
	ProjTitle2	
Titre du document	DocTitle1	Rapport de l'évaluation du rayonnement non ionisant
	DocTitle2	Gares de Couvet, Môtiers et Buttes
	DocTitle3	
Référence du document	DocNumber	ECH-285.12-002
Mandant	ClientName	Transports Publics Neuchâtelois S.A.
	ClientAddr	Allée des Défricheurs 3 2301 La Chaux-de-Fonds
Logos	EnoLogoHeader	ENOTRAC 
	ClientLogo1Header	transN transports publics neuchâtelois
	ClientLogo2Header	
Contact	Contact	Jonas Ribaux, Tel. +41 (0)33 346 66 47
	Contact_Mail	jonas.ribaux@enotrac.com

Table des matières :

1	Introduction, résumé	4
1.1	Situation initiale	4
1.2	But de l'étude	4
1.3	Abréviations utilisées	5
1.4	Résumé	6
2	Logiciels de simulations utilisés	8
2.1	SIMNET	8
2.2	EMFCALC	9
2.3	Validation des logiciels de simulation	9
3	Description du modèle	10
3.1	Généralités	10
3.1.1	Définition du système de coordonnées	10
3.1.2	Etendue du modèle	10
3.2	Courant déterminant	10
3.2.1	Evolution du courant déterminant entre Travers et Buttes	11
3.3	Caractéristiques et configuration des conducteurs	12
3.3.1	Caractéristiques des conducteurs	12
3.3.2	Configuration des conducteurs	12
3.4	Connexions des lignes de contact	13
3.5	Mise à terre et retour du courant de traction	13
4	Résultats	15
4.1	Couvet	15
4.2	Môtiers	16
4.3	Buttes	17
4.4	Récapitulatif des résultats	17
5	Références	18

1 INTRODUCTION, RÉSUMÉ

1.1 Situation initiale

Dans le cadre de l'avant-projet du renouvellement des gares de Couvet, Môtiers et Buttes et de la halte de La Presta, transN a défini un nouveau concept d'alimentation [2] pour l'ensemble de la ligne 221 (Travers – Buttes) électrifiée en 15 kV / 16.7 Hz. Le concept prévoit l'ajout d'une ligne auxiliaire (1x 95 Cu) entre Travers et Buttes avec une connexion à la gare de Fleurier via le poste de distribution existant, comme le montre la Figure 1-1. La ligne étant à simple voie, les gares de Couvet, Môtiers et Buttes vont être agrandies afin de pouvoir assurer le croisement d'unités multiples (UM) et ainsi assurer une cadence à la demi-heure avec des compositions de type FLIRT en double traction.

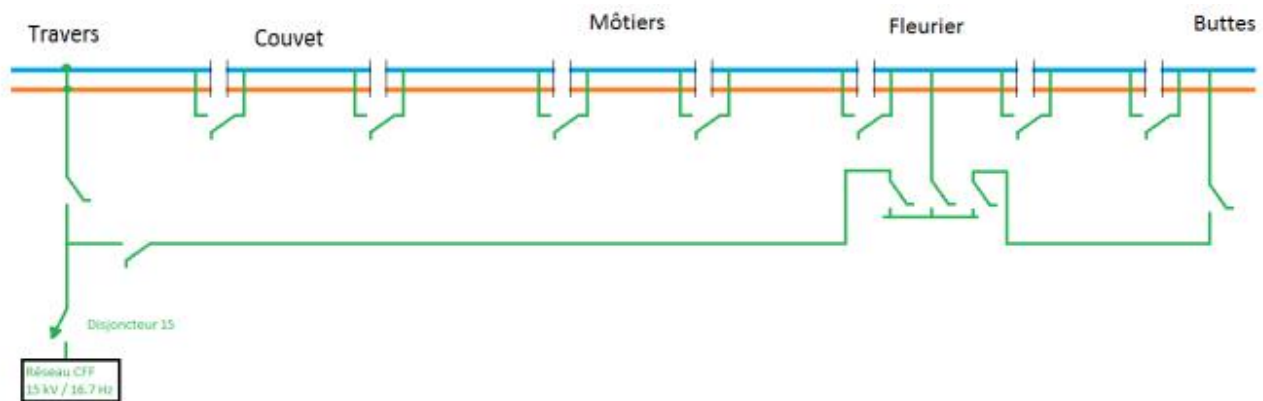


Figure 1-1 Nouveau concept d'alimentation de la ligne 221 selon [2]. En bleu le câble porteur, en orange le fil de contact et en vert la ligne auxiliaire reliée à la ligne de contact à Travers, Fleurier et Buttes.

1.2 But de l'étude

Dans le cadre de l'avant-projet, transN souhaite obtenir l'emprise du rayonnement non ionisant (RNI) afin de pouvoir déterminer si des zones sont critiques.

Cette ligne étant considérée au sens de l'Ordonnance pour la protection contre le Rayonnement Non Ionisant (ORNI [1]) comme une ancienne installation (art.3 al.1), seuls les tronçons des gares où les aiguilles sont déplacées (prolongement de la double voie) sont considérés comme une modification d'installation, car il y a extension du nombre des voies électrifiées (ORNI annexe 1, ch. 52, al. 2). En revanche, l'ajout ou la modification d'une ligne auxiliaire, comme prévu par le nouveau concept d'alimentation sur la partie pleine voie, ne requière pas d'étude RNI.

En conséquence, la présente étude consiste à évaluer l'emprise de l'isoligne du 1 μ T (valeur limite d'installation (VLInst) selon l'ORNI [1]) au droit des gares de Couvet, Môtiers et Buttes. Dans le cadre de l'avant-projet, transN souhaite évaluer le RNI d'un seul profil en travers type de gare (deux voies avec ligne auxiliaire) [3].

Afin d'évaluer la densité de flux magnétique, l'installation a été modélisée et simulée à l'aide des logiciels SIMNET et EMFCALC de l'entreprise ENOTRAC (voir descriptif des logiciels au chapitre 2). Le modèle inclut les installations courant de traction telles que les lignes de contact, les lignes auxiliaires, les rails et les conducteurs de terre.

Remarque : L'ORNI fixe également une valeur limite instantanée d'immission (VLI) pour le flux magnétique qui doit être respectée partout où des personnes peuvent séjourner (ORNI art 13). La VLI est fixée à 300 μ T pour une fréquence de 16.7 Hz (ORNI annexe 2, ch. 11). Pour les lignes aériennes, en raison des distances d'isolement (pour la protection contre les chocs électriques en 15 kV) qui sont plus grandes que l'emprise des zones où le champ magnétique dépasse les 300 μ T, la VLI est naturellement respectée partout où il est possible de séjourner. De plus, les installations ligne de contact considérées ici ne comprennent aucun câble – dont l'isolation permettrait de séjourner à proximité directe. IL est donc possible d'affirmer que la VLI est respectée sans analyse plus approfondie.

1.3 Abréviations utilisées

Abréviations	Définition
AC	Acier
Cu	Cuivre
Cu AC	Bimétal cuivre et acier
LC	Ligne de contact
ORNI	Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant [1]
PDR	Plan de roulement
PK	Point kilométrique
RNI	Rayonnement non ionisant
VLI	Valeur limite d'immission selon ORNI art. 13
VLInst	Valeur limite d'installation selon ORNI annexe 1, ch. 54

Tableau 1-1 Liste des abréviations utilisées.

1.4 Résumé

L'étude vise à évaluer l'émission¹ au droit des trois gares de Couvet, Môtiers et Buttes. L'évaluation a lieu sur la base du tracé des lignes de contact défini dans le document [3] avec les courants futurs pour l'exploitation déterminante (voir chapitre 3.2). La méthode de détermination du courant ainsi que les hypothèses concernant l'exploitation future étant déjà conservateurs, aucune réserve supplémentaire n'a été prise en compte.

Les résultats de l'étude, détaillés au chapitre 4, sont résumés dans le Tableau 1-2 et la Figure 1-2. L'emprise latérale de la VLInst (1 μ T) est donnée pour chaque côté du tracé. En fonction de l'axe de la voie de gauche (voie 1) pour la limite du côté gauche et de la voie de droite (voie 2) pour la limite du côté droit, dans le sens du kilométrage croissant (Travers \square Buttes).

Gare	Gauche [m]	Droite [m]
Couvet (PK 3.4)	5.3	5.0
Môtiers (PK 5.8)	3.8	4.5
Buttes (PK 11.4)	0.5	0.5

Tableau 1-2 Récapitulatif de l'emprise de la VLInst pour chaque gare.

Sachant qu'un profil en travers type commun a été pris pour les trois gares (voir chapitre 3.3.2.1), l'emprise de la valeur limite d'émission de 1 μ T (VLInst) varie uniquement de par la variation du courant déterminant le long de la ligne (voir chapitre 3.2).

Les valeurs pour la gare de Buttes sont petites et sont de l'ordre de grandeur des distances d'isolement liées au 15 kV. Il ne peut donc pas y avoir de problème lié au RNI dans le ce cas.

¹ Par rapport à la valeur limite de l'installation (ORNI [1] annexe 1, ch. 54).

La Figure 1-2 montre l'emprise de la VLInst pour les gares de Couvet (rouge), Môtiers (cyan) et Buttes (vert). La diminution de l'emprise est liée à la réduction du courant déterminant le long de la ligne.

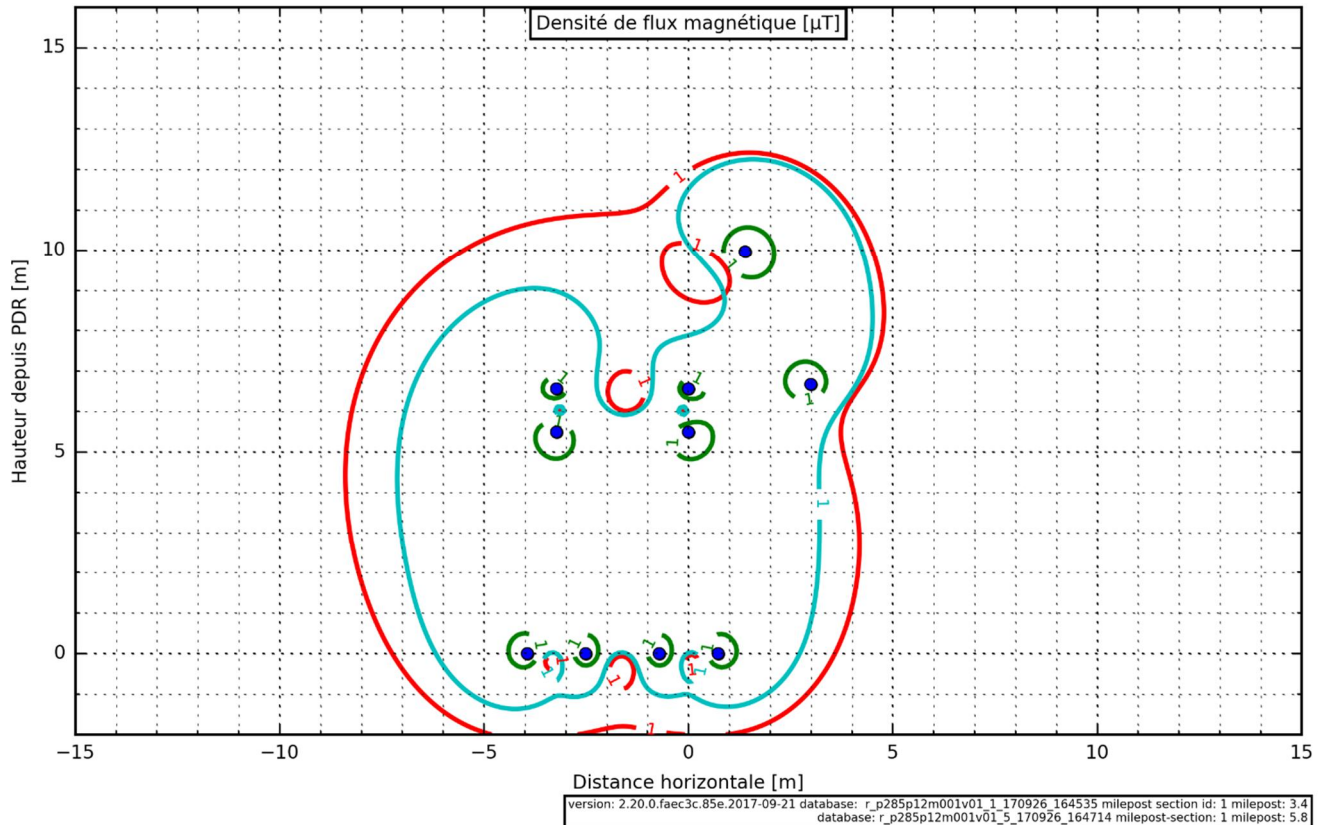


Figure 1-2 Représentation graphique de l'emprise de la VLInst (1 µT) pour les trois gares (en rouge pour Couvet, en cyan pour Môtiers et en vert pour Buttes). L'origine en X correspond à l'axe de la voie de droite et en Y à la hauteur de plan de roulement. Les conducteurs électriques du profil en travers type sont représentés en bleu.

2 LOGICIELS DE SIMULATIONS UTILISÉS

2.1 SIMNET

Le programme SIMNET sert au calcul de courants et de tensions dans un réseau composé de conducteurs parallèles, comme c'est typiquement le cas pour une voie de chemin de fer composée de lignes de contact, de ligne d'alimentation, de feeders, de conducteurs et rails de retour. SIMNET est spécialement conçu pour :

- Le calcul du chemin de retour du courant pour les tunnels et les tronçons ouverts (cordes de retour, rails, armatures, terre, etc.).
- Le calcul de la répartition du courant entre les différents conducteurs d'aller comme de retour disposés en parallèle.
- Le calcul de la densité du flux magnétique pour un courant et une disposition des conducteurs donnés.
- Le calcul de l'impédance correspondant à différentes dispositions de lignes aériennes et de conducteurs de retour comme base de calcul pour FABEL.
- Le calcul de l'influence des courants sur des câbles basse tension disposés en parallèle.
- Le calcul de tensions de pas et du potentiel des conducteurs de retour en cas de court-circuit ainsi qu'en exploitation normale.
- L'estimation de l'effet des mises à terre et des différentes dispositions des conducteurs.

Pour une fréquence donnée, SIMNET procède par juxtaposition d'un nombre potentiellement infini de sous-sections, chacune étant composée de câbles parallèles et de liaisons (impédances, sources) entre les conducteurs eux-mêmes ou entre les conducteurs et la terre. Sur la base des courants calculés dans chacun des conducteurs, SIMNET calcule la densité du flux magnétique dans un plan perpendiculaire aux conducteurs.

Pour chaque sous-section, SIMNET tient compte de la position de chaque conducteur dans un plan perpendiculaire au tracé, de leur diamètre, perméabilité relative, résistance ohmique et de leur conductance avec la terre. De la même façon, une bibliothèque des liaisons transversales entre les conducteurs est établie, par exemple pour les alimentations, les consommateurs (trains), les liaisons à la terre, les mises à terre des mâts, les liaisons entre les conducteurs etc. Le tronçon considéré est modélisé en donnant la disposition des conducteurs dans des tronçons de longueur voulue mis bout-à-bout et en plaçant les différents types de liaisons transversales au bon endroit.

Sur la base des données à disposition, SIMNET calcule la résistance ohmique, l'inductance propre et la capacité linéique de chaque conducteur, les inductances et les capacités mutuelles des conducteurs entre eux et avec la terre. L'effet pelliculaire dans les conducteurs est aussi pris en compte, de même que la profondeur du courant de terre et la résistance de la terre.

2.2 EMFCALC

EMFCALC est un programme utilisé pour le calcul du flux magnétique aux alentours d'une ligne de chemin de fer. Le flux est calculé sur la base de la répartition du courant entre les différents conducteurs déterminée par SIMNET.

EMFCALC calcule la densité du flux magnétique dans un plan perpendiculaire aux conducteurs. La valeur du flux est calculée en plusieurs points quadrillant le plan. L'espacement entre les points du quadrillage dépend du niveau de détails voulu et peut être adapté par l'utilisateur. La densité du flux magnétique est visualisée avec une représentation graphique des isolignes.

2.3 Validation des logiciels de simulation

Les résultats livrés par nos logiciels ont été à maintes reprises validés par comparaison avec des mesures faites sur des installations existantes. Ces logiciels, utilisés depuis plus de 25 ans par ENOTRAC pour des projets dans le monde entier, sont adaptés régulièrement aux nouveaux besoins par une équipe de spécialistes interne à l'entreprise.

3 DESCRIPTION DU MODÈLE

3.1 Généralités

3.1.1 Définition du système de coordonnées

- Axe des **x** : Origine à l'axe de la voie 2 (voie de droite, voir Figure 3-2), valeurs positives vers la droite.
- Axe des **y** : Origine au niveau du plan de roulement, valeurs positives vers le haut.
- Axe des **z** : La ligne transN est référencée par un kilométrage croissant dans le sens Travers \square Buttes allant du PK 0 à 11.6.

3.1.2 Etendue du modèle

Afin de prendre en compte la mise à terre dans son ensemble et de pouvoir simuler les courants s'échappant des voies dans la terre sur la distance, le modèle s'étend sur plusieurs kilomètres avant la zone étudiée, soit depuis la sous-station CFF de Neuchâtel et se termine à la fin de la ligne au PK 11.6.

3.2 Courant déterminant

Selon l'ORNI [1], la valeur efficace de la densité de flux magnétique doit être évaluée en tant que moyenne sur 24 heures. L'étude considère une relation linéaire entre le courant et la densité de flux magnétique et se base ainsi sur le courant issu du mode d'exploitation déterminant, moyenné sur 24 heures.

Les installations de la ligne 221 sont alimentées depuis la sous-station de Neuchâtel (départ 1004) situées à 23 km de la gare de Travers. Les valeurs des courants ont été déterminées à partir des mesures effectuées par les CFF au point d'injection de Travers (disjoncteur 15) durant tout le mois de juillet 2017 [4]. Le courant moyenné sur 24h maximal obtenu lors des mesures est de 26 A. Toutefois, il est nécessaire d'extrapoler cette valeur afin de l'adapter aux compositions et à l'horaire futurs (UM composée de deux FLIRT et cadence à la demi-heure tout au long de la journée).

Pour le passage à la double traction future (au lieu de la traction simple actuellement), le courant déterminant a été doublé (de 26 à 52 A). Cette augmentation est pessimiste, sachant que certaines pertes (notamment dues au frottement de l'air) ne doublent pas. L'augmentation admise en rapport avec l'horaire futur correspond au rapport entre la cadence future et la cadence actuelle (de 29 à 38 trains par jour).

	Mesure (07.2017)	Adapté à UM	Cadence future
Courant Travers 15 [A]	26	52	68

Tableau 3-1 Courant au disjoncteur 15 à Travers et les extrapolations nécessaires pour l'adapter à l'exploitation future

3.2.1 Evolution du courant déterminant entre Travers et Buttes

La valeur de 68 A, déterminée au chapitre précédent, représente le courant moyen sur 24 heures circulant dans le disjoncteur à Travers. Plus on s'en éloigne en direction de Buttes, plus ce courant moyen diminue, jusqu'à atteindre environ 0 A en bout de la ligne. Pour déterminer le courant à Couvet, Môtiers et Buttes, l'hypothèse a été faite que le courant est consommé de manière uniforme et homogène le long de la ligne. Cependant, comme hypothèse conservatrice (principalement pour la gare de Buttes), 8 A de consommation résiduelle au terminus ont été pris en compte (par exemple train qui reste stationné à Buttes, chauffages des appareils de voies, etc.). La répartition du courant utilisée dans le modèle est donc représentée par une droite allant de 68 A à Travers à 8 A en bout de ligne, comme montré à la Figure 3-1.

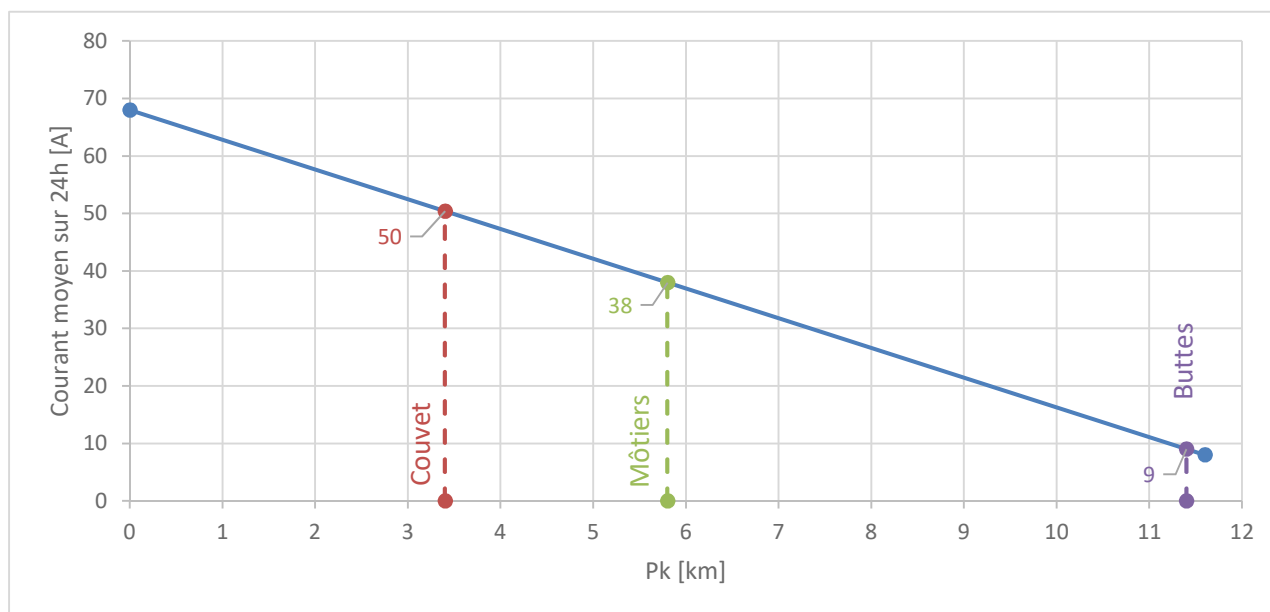


Figure 3-1 Interpolation entre Travers et Buttes du courant moyen sur 24 heures mesuré au disjoncteur 15 à Travers avec 8 A de consommation résiduelle (hypothèse) en fin de ligne

Il en résulte un courant de **50 A** à la gare de Couvet, de **38 A** à la gare de Môtiers et de **9 A** à la gare de Buttes.

3.3 Caractéristiques et configuration des conducteurs

3.3.1 Caractéristiques des conducteurs

Les paramètres des conducteurs utilisés dans le modèle sont donnés dans le Tableau 3-2 ci-dessous.

Conducteur	Matériau	Section [mm ²]	Rayon équivalent [mm]	Perméabilité magnétique relative [-]	Résistance linéique DC (20°C) [Ohm/m]	Remarque(s)
Rail CFF UIC 60 (CFF VI)	AC	7686	108	50	3.000E-05	Conductance linéique contre la terre de 0.001 S/m
Fil de contact Cu 107 mm ²	Cu	107	6.125	1	1.661E-04	
Câble porteur Cu AC-92 mm ²	Cu AC	92	6.15	1	2.220E-04	Câbles porteurs en pleine voie
Corde Cu 95 mm ²	Cu	95	6.25	1	1.871E-04	Ligne d'alimentation (2x95), lignes auxiliaire et détournées (1x95) et corde de retour (1x95)

Tableau 3-2 Paramètres des conducteurs utilisés dans le modèle de simulation.

3.3.2 Configuration des conducteurs

La configuration des conducteurs a été simplifiée entre Neuchâtel et Travers, en ne prenant en compte qu'une seule voie ainsi que la ligne d'alimentation. La modélisation de la ligne 221 a aussi été simplifiée en ne prenant en compte qu'un seul profil en travers type (voir Figure 3-2). Sur les tronçons où la ligne est composée d'une seule voie (pleine voie), seule la voie de droite et la ligne auxiliaire sont conservées.

3.3.2.1 Profils en travers

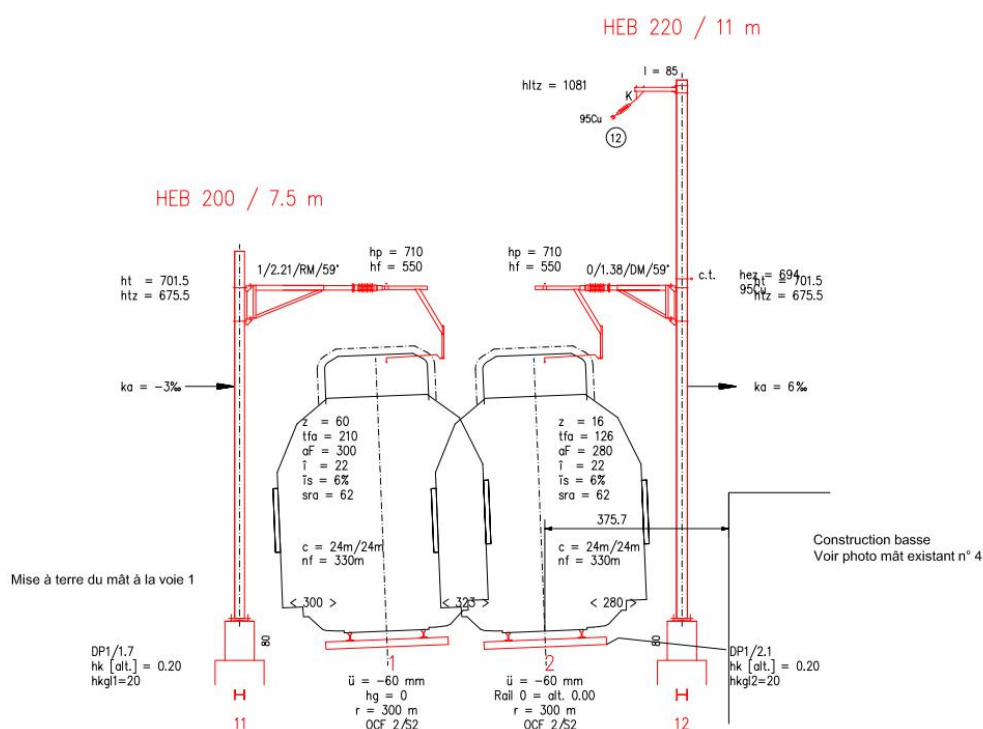


Figure 3-2 Arrangement des conducteurs dans les gares (Couvet, Môtiers, Buttes). La corde de retour est indiquée par l'abréviation c.t. Extrait de [3].

Le profil en travers en Figure 3-2 a été fourni par Furrer+Frey et correspond au profil choisi par transN comme étant le profil type des futures gares de Couvet, Môtiers et Buttes.

3.4 Connexions des lignes de contact

Tous les 10 m, chaque fil de contact du modèle est connecté à son câble porteur par une liaison à faible impédance (pendules ou suspensions).

3.5 Mise à terre et retour du courant de traction

Pour le contrôle d'occupation des voies, des compteurs d'essieux sont utilisés dans les secteurs de pleine voie. Ainsi, tous les rails conduisent le courant de retour au droit du périmètre de projet (pleine voie).

Tous les 250 m (cinq mâts avec une distance standard de 50 m entre deux mâts), les conducteurs du circuit de retour (rails et cordes de retour) sont reliés par une équipotentielle.

Pour la mise à terre, les valeurs d'expérience suivantes ont été utilisées :

Paramètre	Valeur
Résistivité de la terre	160 $\Omega \cdot m$
Mise à terre des mâts LC	25 Ω / mât tous les 50 m
Conductance linéique entre les rails et la terre	0.001 S/m

Tableau 3-3 Valeurs utilisées pour les paramètres de mise à terre dans le modèle de simulation.

Remarque : La résistivité de la terre le long de la ligne 221 n'étant pas connue, une hypothèse conservatrice a été prise avec une valeur de 160 $\Omega \cdot m$. Cela correspond à une valeur standard pour la Suisse.

4 RÉSULTATS

Les résultats de la simulation sont illustrés par trois diagrammes montrant les isolignes de densité de flux magnétique dans les gares respectives. La vue est prise dans le sens des kilomètres croissants de la ligne transN (direction Travers → Buttes). Les distances latérales de l'emprise sont données par rapport à l'axe de la voie 2 (voie de droite) pour l'emprise sur la droite et par rapport à la voie 1 (voie de gauche) pour l'emprise sur la gauche. Cette notation permet d'avoir une estimation correcte de l'emprise si l'écartement entre les deux voies venait à être modifié.

4.1 Couvet

A la gare de Couvet, l'isoligne du 1 μT (VLInst) est, au maximum, à 5 m sur la droite de l'axe de la voie de droite (voie 2). La distance à gauche à partir de l'axe de la voie de gauche (voie 1) est de 5.3 m.

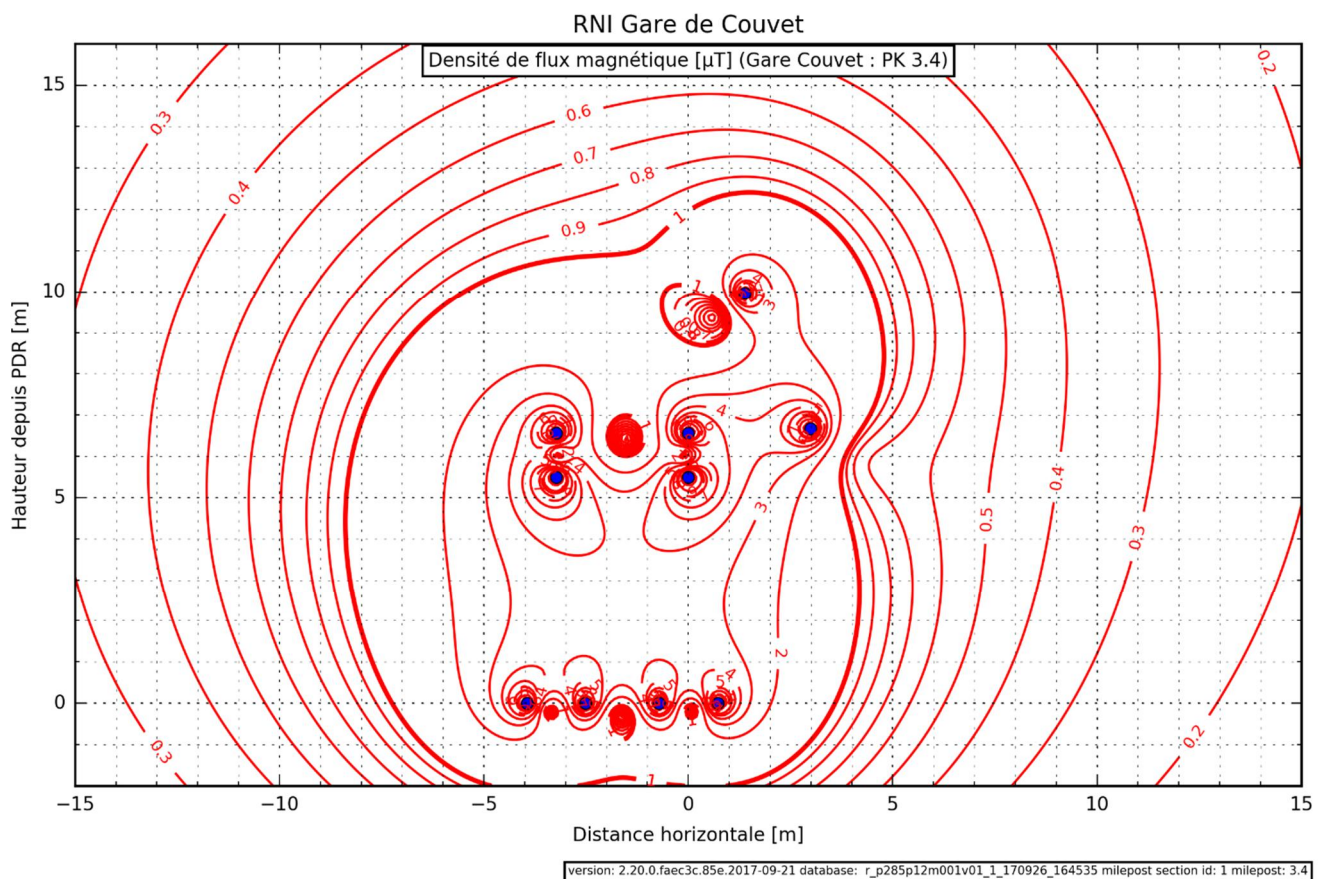


Figure 4-1 Diagramme des isolignes de flux magnétique au droit de la gare de Couvet (PK 3.400), généré par les installations de la ligne de contact.

4.2 Môtiers

A la gare de Môtiers, l'isoligne du 1 μ T (VLInst) est, au maximum, à 4.5 m sur la droite de l'axe de la voie de droite (voie 2). La distance à gauche à partir de l'axe de la voie de gauche (voie 1) est de 3.8 m.

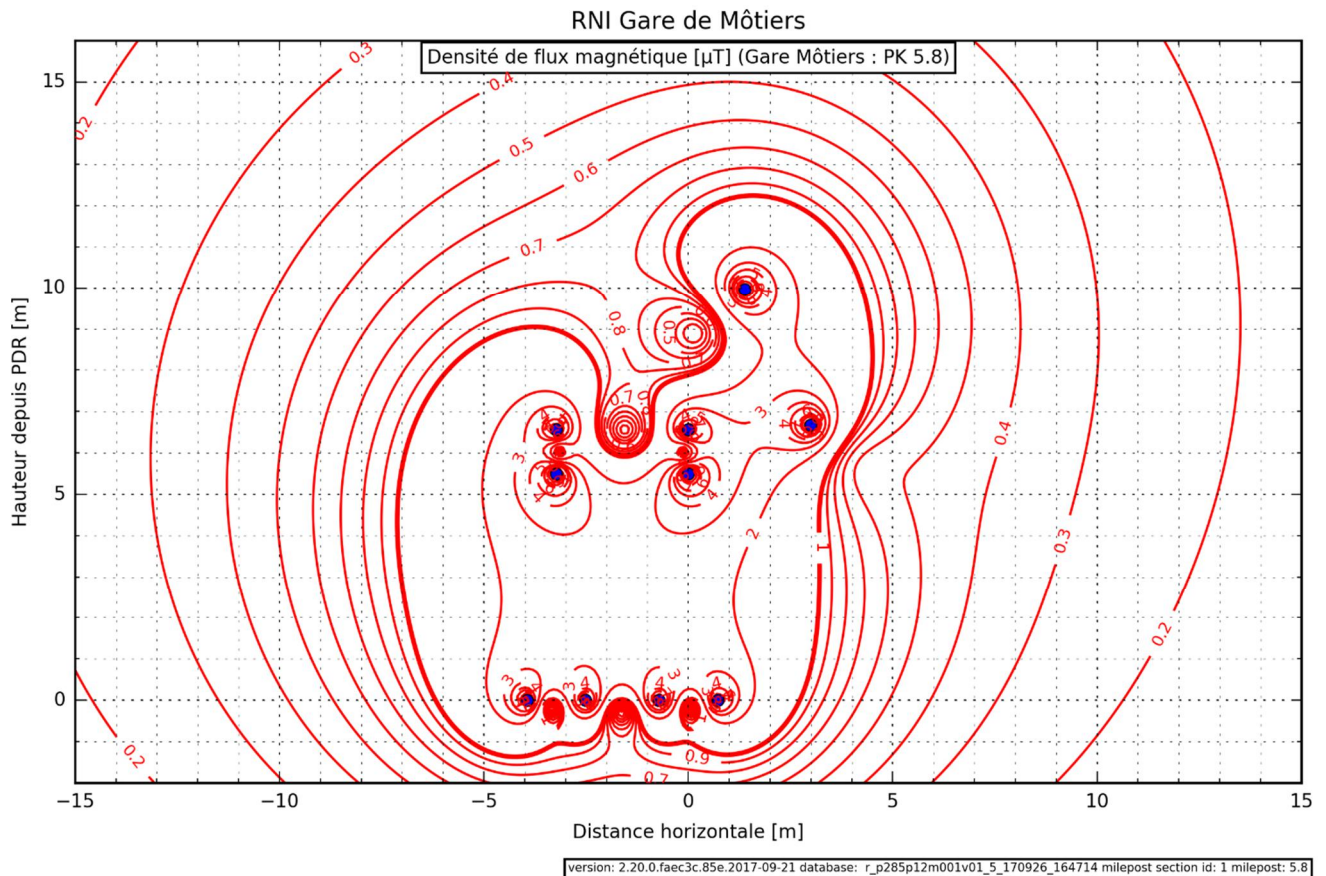


Figure 4-2 Diagramme des isolignes de flux magnétique au droit de la gare de Môtiers (PK 5.800), généré par les installations de la ligne de contact.

4.3 Buttes

A la gare de Buttes, l'isoligne du 1 μT (VLInst) est située à environ 50 cm autour des conducteurs. En effet, le courant moyen étant très faible, l'emprise du flux magnétique est minime. Dans ce cas, ce sont les distances d'isolement liées au 15 kV qui sont déterminantes.

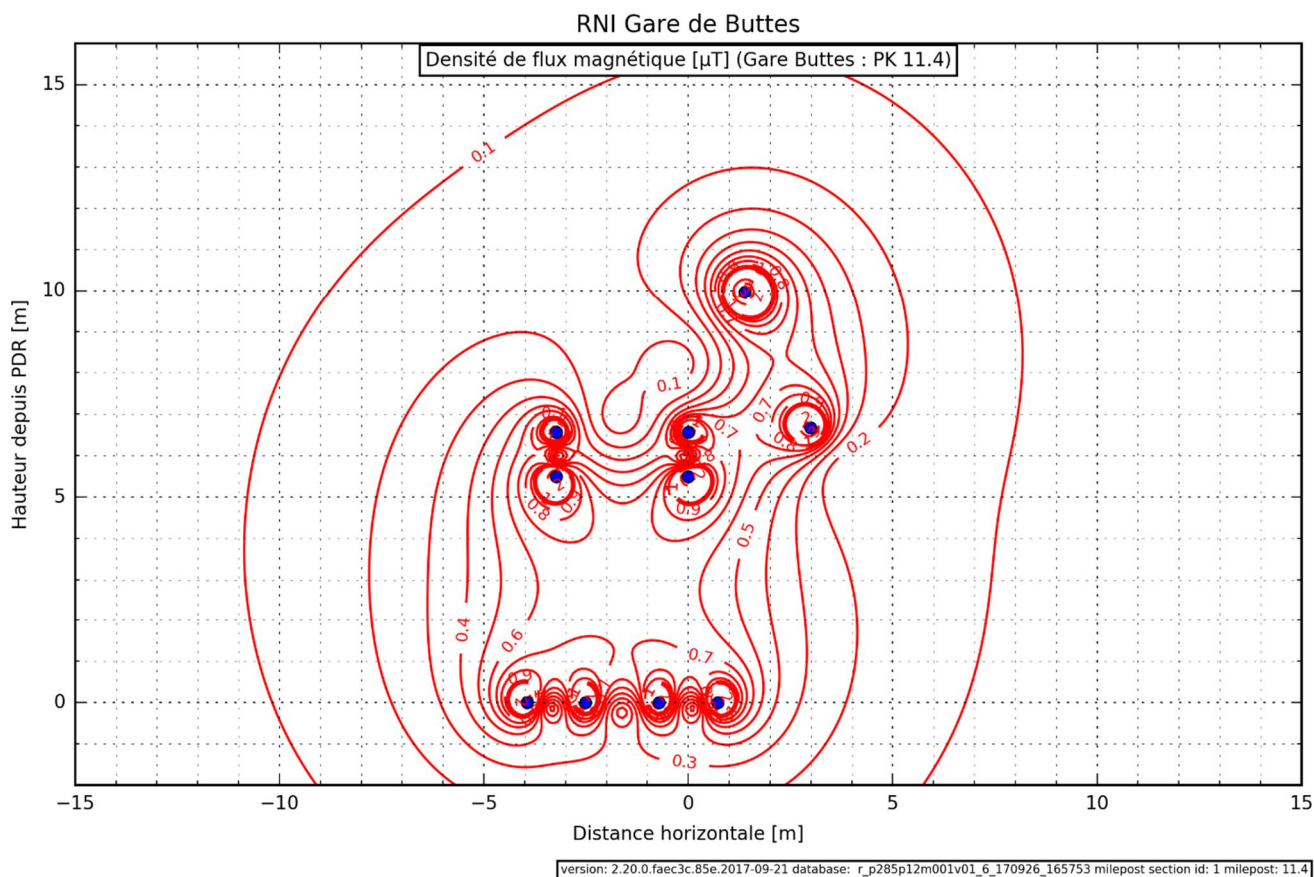


Figure 4-3 Diagramme des isolignes de flux magnétique au droit de la gare de Couvet (PK 11.400), généré par les installations de la ligne de contact.

4.4 Récapitulatif des résultats

Le Tableau 4-1 indique l'emprise de la VLInst en fonction de la voie de droite pour les valeurs à droite et en fonction de l'axe de la voie de gauche pour les valeurs sur la gauche, toujours dans le sens Travers \square Buttes. Les valeurs correspondantes à la gare de Buttes ne sont pas reprises dans le tableau, car pas significatives.

Gare	Gauche [m]	Droite [m]
Couvet (PK 3.4)	5.3	5.0
Môtiers (PK 5.8)	3.8	4.5

Tableau 4-1 Tableau récapitulatif de l'emprise de l'isoligne 1 μT (VLInst) pour les gares de Couvet et Môtiers.

5 RÉFÉRENCES

- [1] **Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI**, RS 814.710) du 23 décembre 1999 (Etat le 1^{er} juillet 2016)
- [2] **Evaluation du concept d'alimentation transN, L221 : Travers – Buttes**, ENOTRAC AG, ECH-285.06-006, version 1.0, 04.08.2017
- [3] **Profil en travers, 221 – travers – Buttes – Couvet**, Furrer+Frey, 19.08.17
- [4] **Courant au disjoncteur 15 à Travers pour le 6 mars 2017**, Zeitreihen_BP_Travers_I-Moyenne-horaire-201707, CFF SA, 24.08.2017