



VOLUME 6 - ANNEXE
SECTION 6.3 – Critères de conception des infrastructures ferroviaires



Référence du consultant: LGA-1-GN-F-FRN-RT-0006_00_Annexe 6.3
2023-12-13



Stantec | **DESFOR** | **SYSTRA**

Avec sous-consultant **KPMG**



SERVICES DE CONSEIL EN INGÉNIERIE

Étude de faisabilité — Phase I

Critères de conception des infrastructures ferroviaires



Référence de consultant : LGA-1-GN-T-RDC-RT-0001_02

13-12-2022



Vision
Eeyou Istchee

• Connecte • Développe • Protège



LA GRANDE
ALLIANCE
ᓃᓃ ᓃᓃ ᓃᓃ ᓃᓃ ᓃᓃ ᓃᓃ

Stantec | DESFOR | SYSTRA

En collaboration avec 

Historique et état des documents

Version	00	01	02
Date	15-07-2021	13-12-2022	13-12-2022
Préparé par	NY	NY	NY
Révisé par	SK	SK	SK
Approuvé par	CS	CS	CS
Commentaires	Soumis pour commentaires	Révisé selon les commentaires	Révisé selon les commentaires

Approbations

Préparé par : 

Nicolas YEDYNAK, ing.
Ingénieur civil

Révisé par : 

Smâil KALEM, ing.
Ingénieur ferroviaire principal

Approuvé par : 

Christopher SALHANY, ing.
Directeur de projet adjoint



Document IDENTIFICATION

Étude de faisabilité — Phase I

Critères de conception des
infrastructures ferroviaires

Référence de consultant :
LGA-1-GN-T-RDC-RT-0001_02

Table des matières

1.	GLOSSAIRE	7
2.	ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	10
3.	DESCRIPTION DU PROJET.....	12
3.1	Introduction.....	12
3.2	Étendue des travaux	12
4.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	15
4.1	Réglementations provinciales et fédérales	15
4.2	Normes et lignes directrices	15
4.3	Référence spécifiée et référence de ligne de contrôle	15
4.4	Conditions environnementales	15
5.	CRITÈRES GÉNÉRAUX.....	18
5.1	Vitesse de conception.....	18
5.2	Charge à l'essieu.....	18
5.3	Durée de vie.....	18
5.4	Matériel roulant	19
5.5	Exploitation.....	19
5.6	Classification des voies	19
6.	CRITÈRES DU TRACÉ DE LA VOIE.....	21
6.1	Contraintes du tracé	21
6.1.1	Chemin de fer Billy-Diamond	21
6.1.2	Chemin de fer Grevet-Chapais	22
6.2	TRACÉ EN PLAN	22
6.2.1	Rayon maximal et minimal des courbes de tracé en plan	22
6.2.2	Dévers	23
6.2.3	Courbes de transition.....	23
6.2.4	Longueur minimale de la voie en tangente	24
6.2.5	Courbes composées	25
6.3	Tracé en profil.....	25
6.3.1	Pente maximale et minimale	25
6.3.2	Changement brusque de la pente.....	25
6.3.3	Longueur de la courbe en profil en long.....	26
6.3.4	Longueur minimale de la pente	26



6.4	Emplacement des éléments de tracé	27
6.4.1	Chevauchement des courbes de tracé en plan et des courbes en profil en long	27
6.4.2	Emplacement des branchements	27
6.5	Gabarits.....	27
6.6	Entraxes des voies.....	32
6.7	Résumé des critères du tracé de la voie.....	32
7.	CRITÈRES DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT	35
7.1	Déblai	36
7.2	remblai	36
7.3	Analyse de la stabilité	37
7.4	Analyse des tassements.....	37
7.5	Évaluation de la liquéfaction	37
7.6	Améliorations du sol	37
8.	CRITÈRES DE LA VOIE	39
8.1	Composants de la voie.....	39
8.1.1	Rail.....	39
8.1.2	Traverses	40
8.1.3	Attaches	41
8.1.4	Branchements	41
8.1.5	Rails protecteurs	41
8.1.6	Dérailleurs	41
8.1.7	Butoir.....	41
8.2	Ballast.....	42
8.3	Sous-ballast.....	42
8.4	Couche supérieure de plate-forme.....	42
8.5	Quais de voyageurs	42
8.6	Passages à niveau.....	43
8.7	Résumé des critères de la voie.....	43
9.	CRITÈRES DES OUVRAGES D'ART	46
9.1	Charges nominales.....	46
9.1.1	Charges de calcul.....	46
9.1.2	Charges mobiles	46
9.1.3	Charges d'impact.....	47
9.1.4	Charges de vents	48
9.1.5	Forces longitudinales	48
9.1.6	Poussée du terrain	48
9.1.7	Charges sismiques.....	48
9.1.8	Effets de la température	49



9.2	Combinaisons de charges	49
9.2.1	Fléchissement	50
9.3	Types de ponts et de planchers	50
9.4	Propriétés des matériaux	50
9.4.1	Béton	50
9.4.2	Barres d'armature	51
9.4.3	Acier de construction	52
9.5	Conception de l'infrastructure	52
9.6	Ponceaux.....	53
10.	HYDROLOGIE.....	55
10.1	Données pluviométriques.....	55
10.2	Données topographiques	58
10.3	Fossés.....	61
10.4	Ponceaux.....	62
10.5	Effets des digues de castor sur l'écoulement des zones humides subarctiques	64
11.	SIGNALISATION ET COMMUNICATION	67
11.1	Terminologie.....	67
11.2	Télécommunications.....	70
11.3	Guérite et alimentation électrique	73
12.	VOIES D'ACCÈS.....	75
12.1	Introduction.....	75
12.2	Structure des routes	75
13.	PRÉSENTATION DES BÂTIMENTS.....	77
13.1	Objectif et champs d'application	77
13.2	Abréviations.....	77
13.3	Codes et normes	77
13.3.1	Hiérarchie des normes	77
13.3.2	Codes et normes à caractère général	77
13.3.3	Architectural.....	78
13.4	MEP	79
13.4.1	Mécanique	79
13.4.2	Systèmes de plomberie.....	80
13.4.3	Systèmes d'extinction d'incendie	81
13.5	Systèmes électriques	82
14.	STRUCTURES	84
14.1	Conditions météorologiques	84
14.2	Durée de vie de la structure	84
14.3	Exigences techniques.....	84



Liste des Tableaux

Tableau 4-1 : Conditions environnementales à Matagami et Chapais	16
Tableau 4-2 : Données sur les vents à Val d'Or.....	16
Tableau 4-3 : Données sismiques à Val d'Or	16
Tableau 6-1 : Résumé des critères de tracé en plan	32
Tableau 6-2 : Résumé des critères de tracé en profil en long.....	33
Tableau 7-1 : Exigences relatives au déblai.....	36
Tableau 7-2 : Exigences relatives au remblai	36
Tableau 8-1 : Dimensions du quai de voyageurs.....	43
Tableau 8-2 : Résumé des critères de la voie.....	43
Tableau 9-1 : Combinaisons de charges.....	49
Tableau 9-2 : Options pour la conception de ponts.....	50
Tableau 9-3 : Caractéristiques de conception du béton (sur la base d'un essai cylindrique).....	50
Tableau 9-4 : Caractéristiques de conception des barres d'armature.....	51
Tableau 9-5 : Conception de l'enrobage du béton	51
Tableau 9-6 : Coefficients de pression des terres	52
Tableau 9-7 : Exigences relatives à la conception des ponceaux.....	53
Tableau 10-1 : Calculs de drainage et méthode hydrologique	59
Tableau 10-2 : Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée. Changement climatique à Chapais dans les années 2080.....	60
Tableau 10-3 : Changement climatique à Matagami dans les années 2080.....	60
Tableau 10-4 : Coefficient d'écoulement pour différents types de surface d'écoulement ⁴	61
Tableau 10-5 : Exigences relatives à la conception des fossés en bordure de voie, tirées de la norme 1-1.2.4.2.e du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA	62
Tableau 10-6 : Coefficient de rugosité pour divers types de doublure de fossé	62
Tableau 10-7 : Vitesse maximale admissible pour divers types de doublure de fossé.....	62
Tableau 10-8 : Exigences minimales relatives à la conception des ponceaux	63
Tableau 10-9 : Tailles des enrochements de protection contre l'érosion	64
Tableau 11-1 : Composants du système de signalisation	69
Tableau 11-2 : Options et caractéristiques des composants	72
Tableau 11-3 : Exigences relatives aux guérites de signalisation.....	73
Tableau 13-1 : Abréviations	77
Tableau 13-2 : Résumé des conditions internes pour le système CVC	80
Tableau 13-3 : Exigences relatives à la source d'alimentation électrique	82
Tableau 13-4 : Niveau d'éclairage par zone — Éclairage normal.....	83
Tableau 13-5 : Niveau d'éclairage par zone — Éclairage de secours	83



Liste des figures

Figure 3-1 : Lignes de chemin de fer projetées pour la Phase 1 de La Grande Alliance	13
Figure 6-1 Zone industrielle de Matagami	22
Figure 7-1 : Coupe transversale typique des travaux de terrassement	35
Figure 8-1 : Directives du CN pour la sélection de rails	40
Figure 8-2 : Butoir typique du CN.....	42
Figure 9-1 : Charges normalisées selon la méthode Cooper E80.....	46
Figure 9-2 : Charges normalisées selon la méthode Cooper E60.....	47
Figure 10-1 : Moyenne mensuelle des précipitations à la station de Chapais	55
Figure 10-2 : Moyenne mensuelle des précipitations à la station de Matagami.....	55
Figure 10-3 : Intensité, durée et fréquence des précipitations (IDF) à la station de Chapais.....	56
Figure 10-4 : Taux de précipitations en période de retour (mm/h) à la station de Chapais.....	56
Figure 10-5 : Quantité des précipitations en période de retour (mm) à la station de Chapais	57
Figure 10-6 : Intensité, durée et fréquence des précipitations (IDF) à la station de Matagami.....	57
Figure 10-7 : Taux de précipitations en période de retour (mm/h) à la station Matagami.....	58
Figure 10-8 : Quantité des précipitations en période de retour (mm) à la station de Matagami	58
Figure 10-9 : Types de ponceaux structurels en tôle d'acier	64
Figure 10-10 : Types de digues de castor	65
Figure 13-1 : Option : Quai de train + abri et aire de stationnement/Option : Quai de train + abri, aire de stationnement et aire d'attente fermée sur le côté.....	78
Figure 13-2 : Option : Quai de train + abri relié à une aire d'attente fermée + aire de stationnement et autres bâtiments	79





Glossaire



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᓄᓐᓂᓐ ᓂᓐᓂᓐ ᓂᓐᓂᓐ

1. GLOSSAIRE

Terme	Définition
Ballast	Matériau granulaire sur lequel sont posées les traverses. Le ballast est bourré entre, sous et autour des traverses. Il sert à supporter la charge des traverses, à faciliter l'écoulement de l'eau et à éviter la propagation de la végétation qui pourrait nuire à la structure de la voie. Le ballast maintient également la voie en place lorsque les trains roulent dessus.
Aiguillage/Branchement	Ou branchement, est un appareil permettant le guidage des trains d'une voie à une autre. Souvent et souhaitable que la voie directe est sur la voie principale mais pas obligatoire.
Butoir	Dispositif destiné à empêcher les véhicules ferroviaires d'arrêter un train à l'extrémité d'un tronçon de voie. Parfois également appelé heurtoir.
Chaînage	Distance relative, en kilomètres (appelée borne kilométrique), mesurée le long de l'axe de la voie entre le point de référence et la position actuelle. On l'appelle également borne kilométrique ou station (p. ex. sur le chemin de fer le long de la route Billy-Diamond, le PK 0 est à Matagami et le PK 253 est à la rivière Rupert).
Couche supérieure de plate-forme	Couche de matériau définie par une épaisseur et un compactage déterminés, placée entre le remblai (ou le déblai) et le sous-ballast. La fonction de cette couche est de minimiser la déformation des terrassements, d'améliorer la capacité portante et d'empêcher l'eau de pénétrer dans les terrassements.
Courbe circulaire horizontale/verticale	Courbe à rayon constant.
Courbe composée	Courbe formée par deux courbes circulaires de rayons différents qui s'incurvent dans la même direction. Les deux courbes peuvent être reliées par une courbe de raccordement.
Courbe de raccordement	Courbe de rayon variable qui sert de transition entre un alignement droit et une courbe.
Courbe en S	Une courbe en S est formée de deux courbes circulaires de directions opposées reliées par une tangente et, sous réserve de la vitesse d'exploitation, reliées par des courbes de transition.
Dévers	Niveau de surélévation du rail extérieur par rapport au rail intérieur dans une courbe, selon la section transversale de la voie.
Écartement de la voie	Distance entre les flancs intérieurs des rails, dans le plan tangent au sommet des rails, mesurée à 14 mm à partir du sommet du rail.
Entraxe	Espacement minimal entre les axes de deux voies parallèles.

Terme	Définition
Excavation	Déblai nécessaire à partir du niveau du sol existant, pour atteindre le niveau de fondation de la voie ferrée.
Inclinaison « Cant »	Angle que fait une droite horizontale et l'inclinaison donné au rail lors de la pose. Également connu sous le nom d'inclinaison du rail.
Liaison « Crossover »	Liaison composée généralement de deux branchements (Aiguillages) de même type. Elle est utilisée pour connecter deux voies parallèles et permettre à un train de passer d'une voie à l'autre. Les doubles croisements composés de quatre branchements sont également possibles avec un Diamonds au centre.
Sens d'aiguillage	Définit la direction empruntée par le train selon une déviation vers la droite ou vers la gauche.
Remblai	Structure de terre surélevée sur laquelle est placée la structure du chemin de fer (rails, traverses, ballast et sous-ballast). La couche supérieure sert de couche de fondation. Le remblai peut être cohésif ou pulvérulent selon les matériaux utilisés.
Sous-ballast	Couche de matériau granulaire ou de matériau traité d'un certain calibre placée entre la plate-forme et la couche de ballast. Elle est prévue pour assurer une meilleure répartition des charges, jouer le rôle de couche filtrante entre la plate-forme et le ballast, protéger la plate-forme contre l'érosion et le gel, et améliorer la capacité portante.
Sous-sol	Sol du terrain naturel sous les remblais.
Tracé en plan	Géométrie horizontale de l'axe de la voie
Vitesse de conception	Vitesse utilisée pour la conception géométrique des courbes horizontales et des courbes de raccordement.
Voie d'évitement	Voie utilisée pour l'entre-croisement ou le stationnement temporaire des véhicules pour laisser passer un véhicule sur une même voie.



Acronymes et abréviations



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᐱᐱ ᐱᐱ ᐱᐱ ᐱᐱ ᐱᐱ ᐱᐱ

2. ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

Acronyme	Abréviation
AAR	Association of American Railroads (Association des chemins de fer américains)
AEP	Aggregate Erosion Protection (Protection contre l'érosion des agrégats)
AREMA	American Railway Engineering and Maintenance-of-Way (Association américaine d'ingénierie ferroviaire et d'entretien des voies)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Société américaine pour les essais et les matériaux)
BDH	Billy-Diamond Highway (Route Billy-Diamond)
BDHR	Billy-Diamond Highway Railway (Chemin de fer Billy-Diamond)
CNBC	Code national du bâtiment du Canada
CSA	Association Canadienne de normalisation (Canadian Standards Association)
CSP	Corrugated Steel Pipe (Tuyaux en tôle d'acier ondulée)
GPS	Système de localisation GPS
KM/H	Kilomètres par heure (km/h)
LGC	Levés géodésiques du Canada
MI/H	Mille par heure (mi/h)
MRE	Manuel d'ingénierie ferroviaire (Manual for Railway Engineering)
MTMD	Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec (anciennement Ministère des transports du Québec – MTQ)
PGRE	Guide pratique de l'ingénierie ferroviaire (Practical Guide to Railway Engineering)
TBD	à déterminer (To Be Determined)
TMPA	Tonne métrique par an
TOR	Niveau supérieur du rail (Top of Rail)



Description du projet



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᓃᓚ·ᐃᓃ ᐃᐸᓃᓃᓃᓃ·ᐃᓃ

3. DESCRIPTION DU PROJET

3.1 INTRODUCTION

La Grande Alliance est un protocole d'entente innovant entre la Nation Crie et le gouvernement du Québec qui est axé sur le développement économique du territoire de la Nation, à savoir Eeyou Istchee dans la région de la Baie-James. En vue d'assurer une véritable collaboration à long terme, cette alliance s'articule autour de trois éléments principaux : Connecter, Développer et Protéger.

Suite logique à l'entente de la Paix des Braves (2002) dans le cadre de la Convention de la Baie-James et du Nord québécois (1975), cette alliance mobilise la participation de toutes les communautés de la Nation Crie (« Connecter ») afin d'engager les intervenants cris à contribuer à une vision commune du développement socio-économique du territoire (« Développer »), tout en protégeant les façons de faire et les biens patrimoniaux (« Protéger ») et en favorisant la création de liens entre les communautés, les entités et le gouvernement du Québec ainsi que ses différents ministères et institutions d'État.

Dans le cadre d'études sur les infrastructures de transport, la Société de développement crie (SDC, le client) a entrepris l'étude de faisabilité de la phase 1 de La Grande Alliance, qui comprend un réseau routier et ferroviaire dans la partie sud du territoire, avec pour objectif principal un développement socio-économique dans le respect des communautés.

3.2 ÉTENDUE DES TRAVAUX

Le présent document décrit les critères à utiliser pour l'étude de faisabilité de la partie ferroviaire relative au plan d'aménagement de la phase 1. Le plan d'aménagement de la phase 1 comprend la construction d'un nouveau chemin de fer le long de la route Billy-Diamond, de Matagami à la rivière Rupert (d'environ 257 km). Il prévoit également la réouverture du chemin de fer Grevet-Chapais entre Lebel-sur-Quévillon et Chapais. Ce document décrit les critères relatifs au tracé ferroviaire, aux terrassements, à la voie, aux ouvrages d'art, à l'hydrologie, à la signalisation et à la géométrie routière.

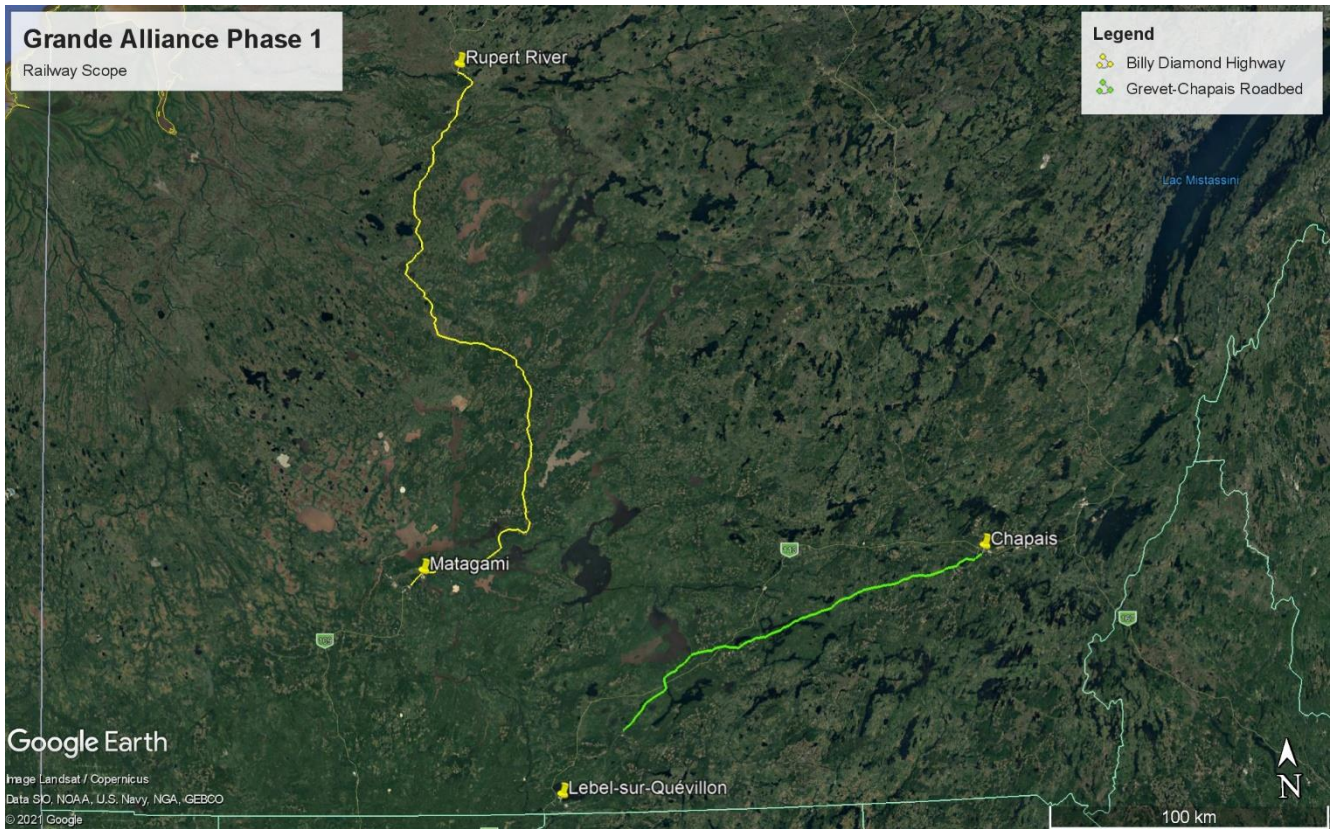


Figure 3-1 : Lignes de chemin de fer projetées pour la Phase 1 de La Grande Alliance

4. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

4.1 RÉGLEMENTATIONS PROVINCIALES ET FÉDÉRALES

Toutes les réglementations fédérales, provinciales et municipales doivent être respectées.

Lois et règlements provinciaux :

- Loi sur les transports (chapitre T-12)
- Loi sur les chemins de fer (chapitre C-14.1)
- Règlement sur la sécurité ferroviaire (chapitre S-3.3, r. 2)
- Codes, règlements et normes du *ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec* (MTMD)
- Règlement sur le transport des matières dangereuses (chapitre C-24.2, r. 43)

Lois et règlements fédéraux :

- Loi sur les transports (L.C. 1996, ch. 10)
- Lois sur les ponts et tunnels internationaux (L.C. 2007, ch. 1)
- Loi sur le déplacement des lignes de chemin de fer et les croisements de chemin de fer (L.R.C., 1985, ch. R-4)
- Loi sur la sécurité ferroviaire (L.R.C., 1985, ch. 32 [4e suppl.])
- Codes, règlements et normes de *Transports Canada* (TC)
- Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses (L.C. 1992, ch. 34)
- Code national du bâtiment du Canada (CNBC)

4.2 NORMES ET LIGNES DIRECTRICES

En l'absence d'exigences spécifiques fixées par le MTMD, Transports Canada ou le présent document sur les critères de conception, la conception suivra les normes et spécifications décrites dans le document spécifications techniques pour les voies industrielles intitulé « *Engineering Specifications for Industrial Tracks* » et les circulaires sur les pratiques courantes du CN. À défaut ou pour compléter ces normes, la dernière version du *Manual for Railway Engineering* (MRE) et du *Practical Guide to Railway Engineering* (PGRE) publiés par l'American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA) s'appliquent.

La conception des ponceaux et des ponts doit être réalisée conformément aux normes et lignes directrices suivantes :

- Le Code canadien sur le calcul des ponts routiers publié par l'Association canadienne de normalisation (CSA)
- Le manuel de la construction en acier de l'institut américain de la construction en acier, l'AISC « American Institute of Steel Construction »
- Les normes de l'administration fédérale des routes, FHWA « Fédéral Highway Administration »

4.3 RÉFÉRENCE SPÉCIFIÉE ET RÉFÉRENCE DE LIGNE DE CONTRÔLE

Le niveau vertical est basé sur les données des Levées géodésiques du Canada (LGC). La ligne de référence/contrôle définit l'axe central de la voie projetée, toutes les dimensions transversales seront prises à partir de cette ligne de contrôle. Le profil vertical de la ligne de contrôle est pris au niveau supérieur du rail (TOR).

4.4 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Les données sur les températures et les précipitations de Matagami et de Chapais sont fournies ci-dessous à titre de référence.

Tableau 4-1 : Conditions environnementales à Matagami et Chapais

Description	Matagami	Chapais
Température maximale quotidienne moyenne	5,5 °C	5,2 °C
Température minimale quotidienne moyenne	-6,9 °C	-5,2 °C
Température maximale extrême	39,4 °C	35 °C
Température minimale extrême	-44,1 °C	-43,3 °C
Variation de température	83,5 °C	78,3 °C
Précipitations maximales extrêmes quotidiennes (pluie)	73,7 mm	75 mm
Précipitations maximales extrêmes quotidiennes (neige)	37,2 cm	32,4 cm
Précipitations annuelles moyennes (pluie)	617,7 mm	659,7 mm
Précipitations annuelles moyennes (neige)	313,8 cm	301,7 cm

<https://www.eldoradoweather.com/canada/climate2/Matagamia.html>

<https://www.eldoradoweather.com/canada/climate2/Chapais%202.html>

Le Code national du bâtiment du Canada (CNBC) fournit des données climatiques pour Val D'or, qui est l'endroit le plus proche de la route Billy-Diamond (BDH) et du chemin de fer Grevet-Chapais (GCR). Les données climatiques de Val-D'Or seront utilisées pour la conception des structures sur le chemin de fer Billy-Diamond (BDHR) et le chemin de fer Grevet-Chapais (GCR).

Tableau 4-2 : Données sur les vents à Val-d'Or

Lieu	Temp. de calcul du vent, janv.	Temp. de calcul du vent, juill. Sec, humide	Pluie 15 min. (mm)	Pluie un jour 1/50 (mm)	Pluie annuelle (mm)	Précipitation annuelle (mm)	Charge de neige, kPa 1/50 Ss, Sr	Pression horaire du vent kPa 1/10, 1/50
Val-d'Or	-36	29; 21	20	86	640	925	3,4; 0,3	0,25; 0,32

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=c8876272-9028-4358-9b42-6974ba258d99>

Les données sismiques de Val-d'Or seront également utilisées pour le BDHR et le GCR.

Tableau 4-3 Données sismiques à Val-d'Or

Sa (0,2)	Sa (0,5)	Sa (1,0)	Sa (2,0)	Sa (5,0)	Sa (10,0)	PGA Accélération max. du sol	PGV Vitesse max. du sol
0,135	0,093	0,056	0,029	0,0076	0,0032	0,081	0,074

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=c8876272-9028-4358-9b42-6974ba258d99>

La classification de site C sera prise en compte pour les calculs sismiques jusqu'à ce que l'étude géotechnique en décide autrement.



Critères généraux

5. CRITÈRES GÉNÉRAUX

5.1 VITESSE DE CONCEPTION

Les voies principales du chemin de fer Billy-Diamond doivent être conçues comme des voies de classe 3. Selon Transports Canada, la vitesse maximale autorisée sur les voies de classe 3 est de 100 km/h pour les trains de voyageurs et de 65 km/h pour les trains de marchandises. La vitesse de conception à utiliser pour la conception de l'infrastructure et de l'alignement des voies principales sera donc de **100 km/h** (60 mi/h). La vitesse maximale du véhicule en service sur les voies d'évitement sera fixée par la taille des branchements.

Les voies principales du chemin de fer Grevet-Chapais doivent être conçues comme des voies de classe 3. Selon Transports Canada, la vitesse maximale autorisée sur les voies de classe 3 est de 100 km/h pour les trains de voyageurs et de 65 km/h pour les trains de marchandises. La vitesse de conception à utiliser pour la conception de l'infrastructure et de l'alignement des voies principales sera donc de **100 km/h** (60 mi/h), avec quelques ralentissements dans certaines courbes. Les ponts doivent être conçus pour une vitesse de 100 km/h, étant donné qu'il n'y a pas de facteur de réduction de charge supplémentaire au-delà de cette vitesse. La vitesse maximale du véhicule en service sur les voies d'évitement sera fixée par la taille des branchements.

Les gares de triage seront composées de voies d'accès et de voies de triage. Les voies d'accès seront conçues pour une vitesse maximale opérationnelle de 30 km/h (18 mi/h) et les voies de triage seront conçues pour une vitesse maximale opérationnelle de 15 km/h (9 mi/h).

5.2 CHARGE À L'ESSIEU

Les voies principales doivent être conçues pour accueillir des locomotives à marchandises ayant une charge maximale de 32,4 tonnes par essieu et des wagons à marchandises ayant une charge maximale de 30 tonnes par essieu. La réduction de la charge par essieu pour les wagons à marchandises est due au fait que les subdivisions Matagami, Chapais et Cran du CN sont soumises à un poids brut maximal autorisé pour les wagons de 30 tonnes par essieu (263 000 à 268 000 livres). Nous partons du principe que les locomotives de 32,4 tonnes par essieu qui circuleraient sur le BDHR seraient captives et ne quitteraient pas cette ligne (faisant de Matagami un point d'échange pour les wagons) tandis que la force motrice sur la section Grevet-Chapais serait probablement constituée de locomotives du CN dont la capacité est de 30 tonnes par essieu.

Pour le service aux voyageurs, les voies doivent pouvoir accueillir des locomotives de voyageurs ayant une charge maximale de 30 tonnes par essieu et des wagons de voyageurs ayant une charge maximale de 30 tonnes par essieu, car nous présumons que les trains de voyageurs pourraient provenir d'une région plus au sud que Matagami.

Il est à noter que les hypothèses ci-dessus sont susceptibles d'être modifiées au fur et à mesure de l'avancement de l'étude.

5.3 DURÉE DE VIE

Tous les composants de la voie, les structures et les systèmes de drainage doivent être conçus pour une durée de vie de 50 ans, sauf indication contraire.

5.4 MATÉRIEL ROULANT

Les voies principales doivent être conçues pour accueillir des trains à marchandises composés de 75 wagons, et des trains à voyageurs composés d'un maximum de 4 à 6 voitures. Cette affirmation devra être validée ultérieurement.

5.5 EXPLOITATION

Il est prévu que le BDHR reçoive un seul train, à sens unique, 6 jours par semaine et que le chemin de fer Grevet-Chapais reçoive un train, en aller-retour, 3 jours par semaine.

5.6 CLASSIFICATION DES VOIES

Type de voie	Description
Voies principales (et voies d'évitement)	Les voies principales acheminent la majeure partie du trafic ferroviaire. Les voies d'évitement permettent aux trains de se croiser lorsqu'il n'y a qu'une seule voie principale.
Voies de triage et voies d'entreposage	Les voies d'entreposage sont utilisées pour entreposer des pièces de matériel roulant. Les voies de triage sont utilisées pour réorganiser la composition des trains ou dans les ateliers d'entretien et les hangars à marchandises.

6



Critères du tracé de la voie



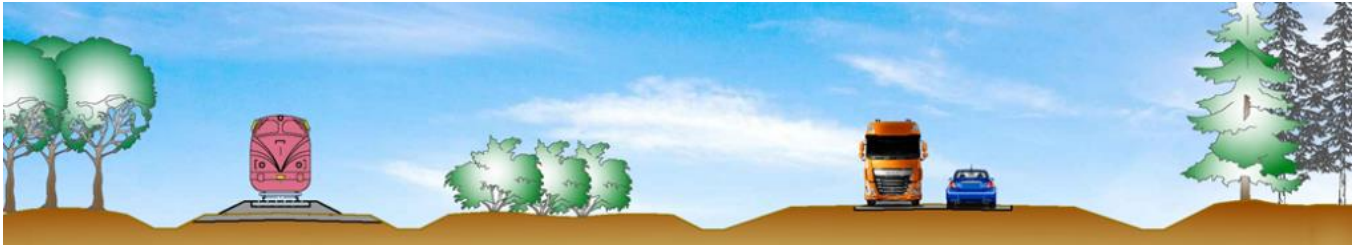
**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᓃᕐ.ᑲᕐ ᑲᑎᑎᕐᕐ.ᑲᕐ

6. CRITÈRES DU TRACÉ DE LA VOIE

6.1 CONTRAINTES DU TRACÉ

6.1.1 Chemin de fer Billy-Diamond

Le tracé projeté privilégiera, un maintien de la voie ferrée entre les limites théoriques formées par l'axe central de la route Billy-Diamond (BD) et une limite située à une distance de 100 m de celui-ci.



Compte tenu de la topographie et de l'emprise restreinte de 200 m dédiée à la voie ferrée, incluant l'autoroute Billy Diamond au centre de ce corridor, la voie ferrée doit sortir de ce corridor de 200 m pour éviter les situations suivantes :

1. Zone protégée
2. Zone d'utilisation des terres par les Cris
3. Sites archéologiques
4. Zone urbaine
5. Zones humides/plans d'eau
6. Sites sensibles pour la flore et la faune
7. Zones à forte courbure sur la BDH qui réduiraient considérablement la vitesse des trains
8. Autres zones sensibles

À titre d'exemple, une zone industrielle de Matagami est située à l'intérieur de la zone de 200 m de la route BD, comme le montre le schéma ci-dessous. Pour éviter la zone industrielle, le chemin de fer BD doit s'écarter de la zone des 200 m sur une distance d'environ 1,5 km.



Figure 6-1 Zone industrielle de Matagami

Un grand nombre de routes forestières en gravier sont reliées à la route Billy-Diamond et seront traversées par le chemin de fer. À ces intersections, des passages à niveau seront installés pour permettre l'utilisation continue de ces routes et l'accès à l'autre côté du chemin de fer. Il sera important de laisser une distance suffisante, environ 30 m, entre la route et le passage à niveau afin de favoriser des pentes d'approche acceptables et de mettre en place des panneaux d'avertissement. À certains endroits, cela peut nécessiter que le tracé du chemin de fer s'écarte davantage de la route.

Une liste de toutes les principales interférences existantes qui doivent être franchies par le BDHR sera fournie dans le rapport final du document d'étude.

6.1.2 Chemin de fer Grevet-Chapais

Le tracé du chemin de fer Grevet-Chapais suivra le tracé de la plate-forme existante. La priorité sera donnée au maintien de la plate-forme existante afin de limiter l'impact sur l'acceptation sociale, les structures existantes et la disponibilité des terrains. Si, en raison de contraintes géométriques, le tracé ne peut atteindre les vitesses de classe 3 décrites à la section 5.1, nous envisagerons d'imposer une limitation de vitesse sur ce tronçon de la voie.

6.2 TRACÉ EN PLAN

6.2.1 Rayon maximal et minimal des courbes de tracé en plan

Pour le BDHR, le rayon de la courbe recommandé pour la ligne principale est de 1 750 m (1 degré).

Les courbes de la ligne principale ne doivent pas avoir un rayon inférieur à 700 m (supérieur à 2 degrés 30 minutes).

Les courbes de la ligne principale avec un rayon inférieur à 700 m (supérieur à 2 degrés 30 minutes) peuvent être appliquées dans des circonstances exceptionnelles où des économies significatives peuvent être réalisées en utilisant des courbes plus serrées.

Le rayon de la courbe recommandé pour les voies de triage est de 300 m (5 degrés 49 minutes).

Le rayon minimal de la courbe sur les voies de triage est de 190 m (9 degrés 11 minutes).

Les courbes d'un rayon allant jusqu'à 150 m (11 degrés 39 minutes) seront autorisées sur les voies de triage sous réserve qu'elles soient vérifiées au regard de la capacité de courbement du matériel roulant.

6.2.2 Dévers

En vertu de la norme CN CMN 1305, le dévers réel maximal autorisé (E_a) sur les voies principales est de 125 mm (5 pouces).

Pour les chemins de fer Billy-Diamond et Grevet-Chapais, le dévers maximal autorisé sera de 100 mm (4 po.) et le dévers minimal autorisé sera de 25 mm (1 po.).

Le chapitre 5, section 3.3.1 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA calcule le dévers d'équilibre avec la formule simplifiée :

$E_e = 0.0007V^2D$, qui est en unités impériales.

En unités métriques, cette formule devient :

$$E_e = \frac{11,8(V^2)}{R}$$

Où :

V Désigne la vitesse de circulation maximale permise en kilomètres par heure.

R Désigne le rayon de la courbe en mètres.

En vertu de la norme CN CMN 3101, le dévers non équilibré maximal autorisé sur les voies principales sera de 75 mm (3 po.).

Le dévers non équilibré (E_u en mm) est calculé en utilisant l'équation suivante :

$$E_u = E_e - E_a$$

Où :

E_e Désigne le dévers d'équilibre en mm.

E_a Désigne le dévers réel en mm.

6.2.3 Courbes de transition

Une courbe de transition, également appelée courbe de raccordement, est une courbe du tracé en plan qui relie une voie en tangente à une voie en courbe circulaire. Contrairement aux voies en tangente et aux courbes circulaires, qui ont un dévers et un rayon de courbure constants, le dévers d'une courbe de transition est variable linéairement et la variation de son rayon de courbure à un taux constant sur toute sa longueur. Des courbes de raccordement seront requises pour toutes les courbes des voies principales, sauf lorsque le rayon de courbure est supérieur à 12 000 m (0 degré 9 minutes). Les courbes de raccordement ne seront pas requises sur les voies de triage.

Selon le chapitre 17, section 3.5.7.8 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, le taux de variation maximal du dévers dans les courbes de raccordement (E_a/L_s) pour les vitesses de circulation inférieures à 97 km/h

(60 mi/h) sera de 1,34 mm par mètre (0,5 pouce par 31 pieds. Pour les vitesses supérieures à 97 km/h (60 mi/h), le taux de variation maximal du dévers sera de 1 mm par mètre (0,375 po. par 31 pieds).

La longueur recommandée des courbes de raccordement sera calculée à l'aide des formules présentées dans la section 3.1.1 du chapitre 5 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, qui sont indiquées à droite entre parenthèses

La longueur recommandée de la courbe de raccordement (L_s en mètres) correspond au maximum des équations suivantes :

$$\text{EQ1 : } L_s = \frac{(E_u)V}{82,28} \quad [L_s = 1,63(E_u)V]$$

ou

$$\text{EQ2 : } L_s = \frac{E_a}{1,34} \quad [L_s = 62E_a]$$

En cas de réalignement des rails existants, remplacer EQ1 par EQ3

$$\text{EQ3 : } L_s = \frac{(E_u)V}{109,93} \quad [L_s = 1,22E_uV]$$

Le chapitre 17 du MRE de l'AREMA, section 3.5.7.8, exige également de remplacer EQ2 par EQ4 si

$$97 \text{ km/h}[60 \text{ mi/h}] < V \leq 201 \text{ km/h}[125 \text{ mi/h}],$$

$$\text{EQ4 : } L_s = \frac{E_a}{1,01} \quad [L_s \geq 82,7E_a]$$

Où :

E_u Désigne le dévers non équilibré en millimètres.

E_a Désigne le dévers réel en millimètres.

V Désigne la vitesse maximale du train en kilomètres par heure.

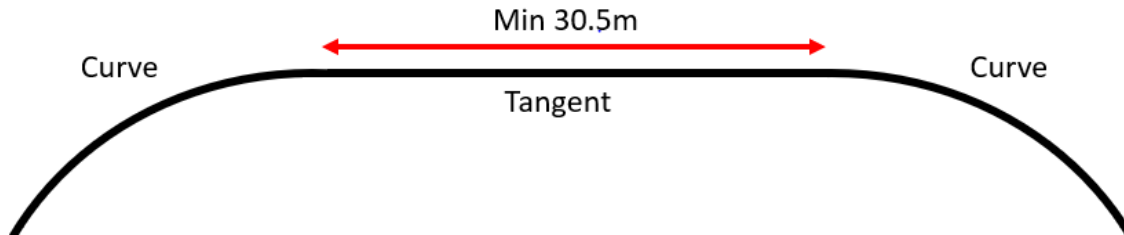
6.2.4 Longueur minimale de la voie en tangente

En ce qui a trait aux voies principales, le guide pratique de l'ingénierie ferroviaire de l'AREMA's recommande qu'une longueur de tangente minimale de 46 m (150 pi) soit utilisée entre les courbes inversées.

En ce qui a trait aux trains de voyageurs, la longueur minimale de la tangente doit correspondre à la distance représentant 2 secondes de temps de parcours, afin de préserver le confort maximal des passagers. À une vitesse de 100 km/h (60 mi/h), 2 secondes de voyage représentent une distance de 56 m (184 pi). La longueur minimale de la tangente serait donc de 56 m (184 pi).

La section 3.5.2 du chapitre 5 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, donne des indications sur la longueur minimale de la tangente entre les courbes inversées pour l'utilisation sur les voies de triage et recommande qu'au moins une longueur de wagon soit considérée entre les courbes de direction opposée. La

longueur de tangente minimale recommandée entre les courbes de la même direction (pas la courbe inversée) doit être de 30,5 m (100 pi).



6.2.5 Courbes composées

Les courbes composées ne seront en aucun cas autorisées sur les voies principales de la BDHR, afin de permettre un tracé plus fluide qui aura pour effet de diminuer l'entretien. Sur le chemin de fer Grevet-Chapais, les courbes composées ne peuvent être utilisées que pour le raccordement à des ponts ferroviaires existants ou à d'autres points fixes.

6.3 TRACÉ EN PROFIL

6.3.1 Pente maximale et minimale

La pente maximale recommandée sur les voies principales est de 1,5 % après compensation.

Pour les voies d'évitement qui ne sont pas utilisées pour l'entreposage de matériel, la pente maximale autorisée sera la même que celle de la voie principale.

Il est préférable que les voies de triage et d'entreposage soient conçues avec une pente de 0 %. Toutefois, une pente allant jusqu'à 0,1 % est acceptable, mais cette pente ne doit pas être dépassée. Les voies en cul-de-sac se terminant par des butoirs peuvent avoir des pentes allant jusqu'à 0,3 %, mais le butoir doit se trouver au point bas de la pente.

Les voies de quai auront une pente maximale de 1,5 % et une pente minimale et souhaitable de 0,5 %.

La compensation des courbes pour les pentes sera calculée en utilisant la formule du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, du chapitre 5, section 3.7.1e. qui est indiquée à droite entre parenthèses.

$$G_c = G - 0,04\left(\frac{1746,40}{R}\right) \quad [G_c = G - 0,04D]$$

Où :

G_c Désigne la pente compensée exprimée en pourcentage.

G Désigne la pente avant compensation exprimée en pourcentage.

R Désigne le rayon de la courbe exprimé en mètres.

6.3.2 Changement brusque de la pente

Les courbes verticales sont facultatives pour les changements de pente dont la différence absolue est inférieure à 0,2 %, conformément à l'article 3.6.b du chapitre 5 de l'AREMA.

6.3.3 Longueur de la courbe en profil en long

La longueur minimale des courbes en profil en long (verticales) est décrite dans l'article 3.6.f. du chapitre 5 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, tel qu'indiqué à droite entre parenthèses.

$$L = \frac{D \times V^2}{12,96 \times A} \quad \left[L = \frac{D \times V^2 \times K}{A} \right]$$

Où :

L Désigne la longueur minimale de la courbe verticale en mètres

D Désigne la valeur absolue de la différence de pente, exprimée en décimales.

V Désigne la vitesse du train en km/h.

A Désigne l'accélération verticale en mètres/sec/sec (*m/sec²*).

Pour les trains de marchandises, $A = 0.031 \text{ m/s}^2$ (0,10 pi/sec²);

Pour les trains de voyageurs, $A = 0.183 \text{ m/s}^2$ (0,60 pi/sec²).

Dans tous les cas, la longueur des courbes verticales ne doit jamais être inférieure à 30,5 m (100 pi).

La longueur recommandée des courbes verticales doit être calculée à l'aide de la formule, tirée du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de 1962 de l'AREMA, qui est indiquée à droite entre parenthèses.

$$L = \frac{30 \times D}{R} \quad \left[L = \frac{100 \times D}{R} \right]$$

Où :

L Désigne la longueur recommandée de la courbe verticale, exprimée en mètres.

D Désigne la valeur absolue de la différence de pente, exprimée en pourcentage.

R Est égal à 0,1 % pour les sommets ou à 0,05 % pour les flaches.

6.3.4 Longueur minimale de la pente

La longueur minimale recommandée de la pente est calculée à l'aide de l'équation suivante, tirée de la section 3.5.8.3 du chapitre 12 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, qui est indiquée à droite entre parenthèses.

$$L = \frac{V_{max}}{1,76} \text{ en métrique (L en m, V en kph)} \quad L = 3V_{max} \text{ en impérial (L en pi, V en mi/h)}$$

Où :

L Désigne la longueur minimale absolue de la tangente entre les courbes verticales, en mètres.

V_{max} Désigne la vitesse maximale d'exploitation en kilomètres par heure.

La longueur minimale pour une voie à pente constante entre les courbes verticales doit être de 45 mètres (147 pieds) dans des circonstances normales. En aucun cas, la longueur de pente ne doit être inférieure à 30,5 mètres (100 pieds).

6.4 EMPLACEMENT DES ÉLÉMENTS DE TRACÉ

6.4.1 Chevauchement des courbes de tracé en plan et des courbes en profil en long

Il n'est pas recommandé de faire chevaucher des éléments de courbes de tracé en plan (horizontales) et des éléments de courbes en profil en long (verticales). Lorsque les contraintes géométriques sont telles que le chevauchement des courbes horizontales et verticales est inévitable, AREMA recommande expressément de ne pas faire chevaucher les courbes verticales avec les courbes de transition, c'est-à-dire que la courbe verticale doit être entièrement contenue dans la partie circulaire de la courbe horizontale et ne doit pas chevaucher les courbes de transition horizontales (courbes de raccordement). Lorsque la situation le permet, il est recommandé, à des fins d'entretien, de laisser 100 m entre le début et la fin des courbes horizontales et verticales.

6.4.2 Emplacement des branchements

Les branchements de même sens (droit-droit ou gauche-gauche) placés dos à dos doivent être espacés d'au moins 30 mètres (100 pieds).

Lorsqu'un branchement est placé après une courbe dans la direction opposée à la courbe (formant une courbe inversée), un minimum de 30 mètres (100 pieds) doit être maintenu entre la fin de la courbe et le début du branchement.

Les branchements dos à dos de sens différents doivent être espacés d'au moins 5 mètres (16 pieds).

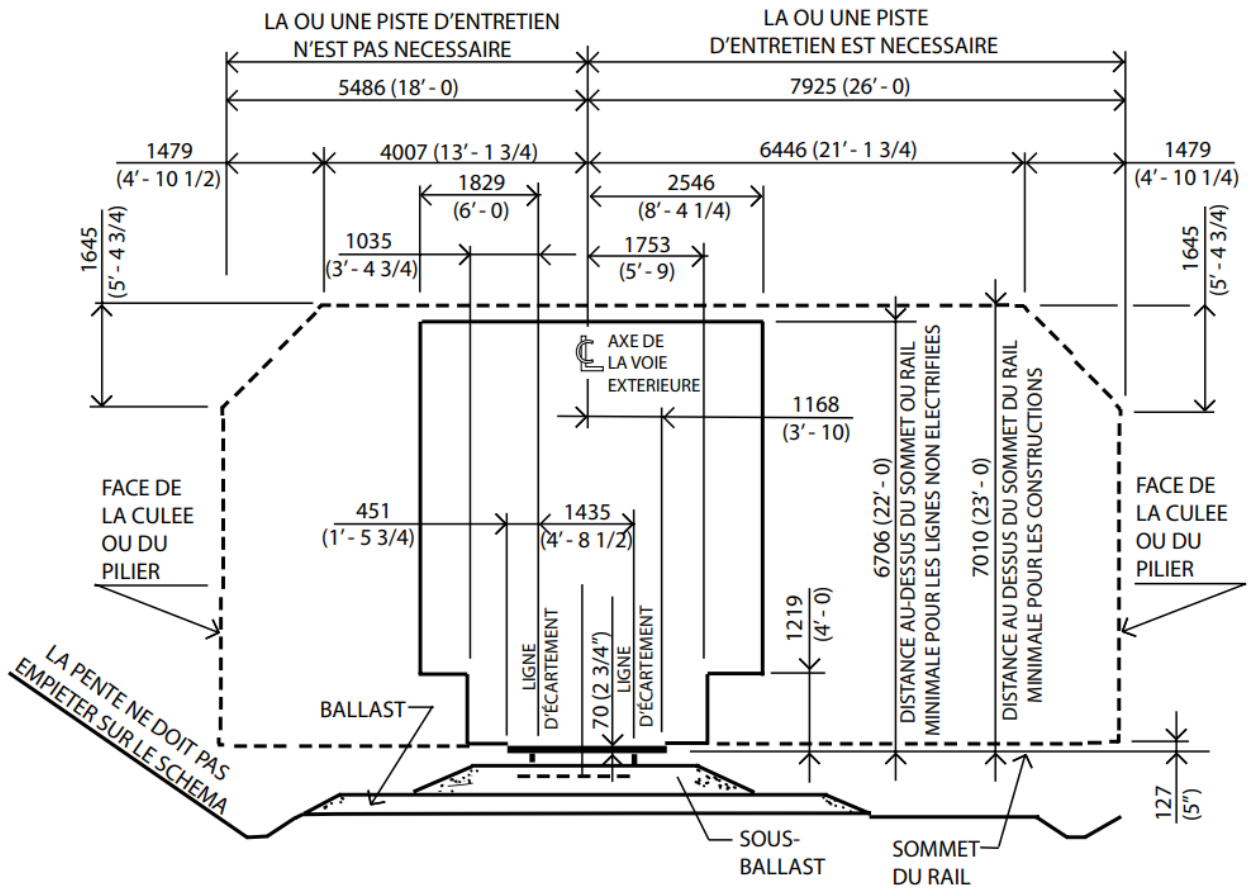
Les branchements doivent être situés sur des pentes constantes ne dépassant pas 1,5 %, et ne doivent pas être situés dans des courbes horizontales et verticales et à moins de 15 m de l'extrémité d'un quai de gare (25 m est recommandé).

6.5 GABARITS

La conception du tracé tiendra compte des gabarits imposés par les Normes relatives aux gabarits ferroviaires de Transports Canada, TC-E-05, Diagrammes 1 à 4 :

1. Tous les ouvrages au-dessus ou à côté des voies ferrées
2. Tous les ponts ferroviaires, paravalanches et ponts supérieurs
3. Tous les tunnels ferroviaires
4. Embranchements industriels

Schéma 1: Tous les ouvrages au-dessus ou à côté des voies ferrées (Échelle 1:75)

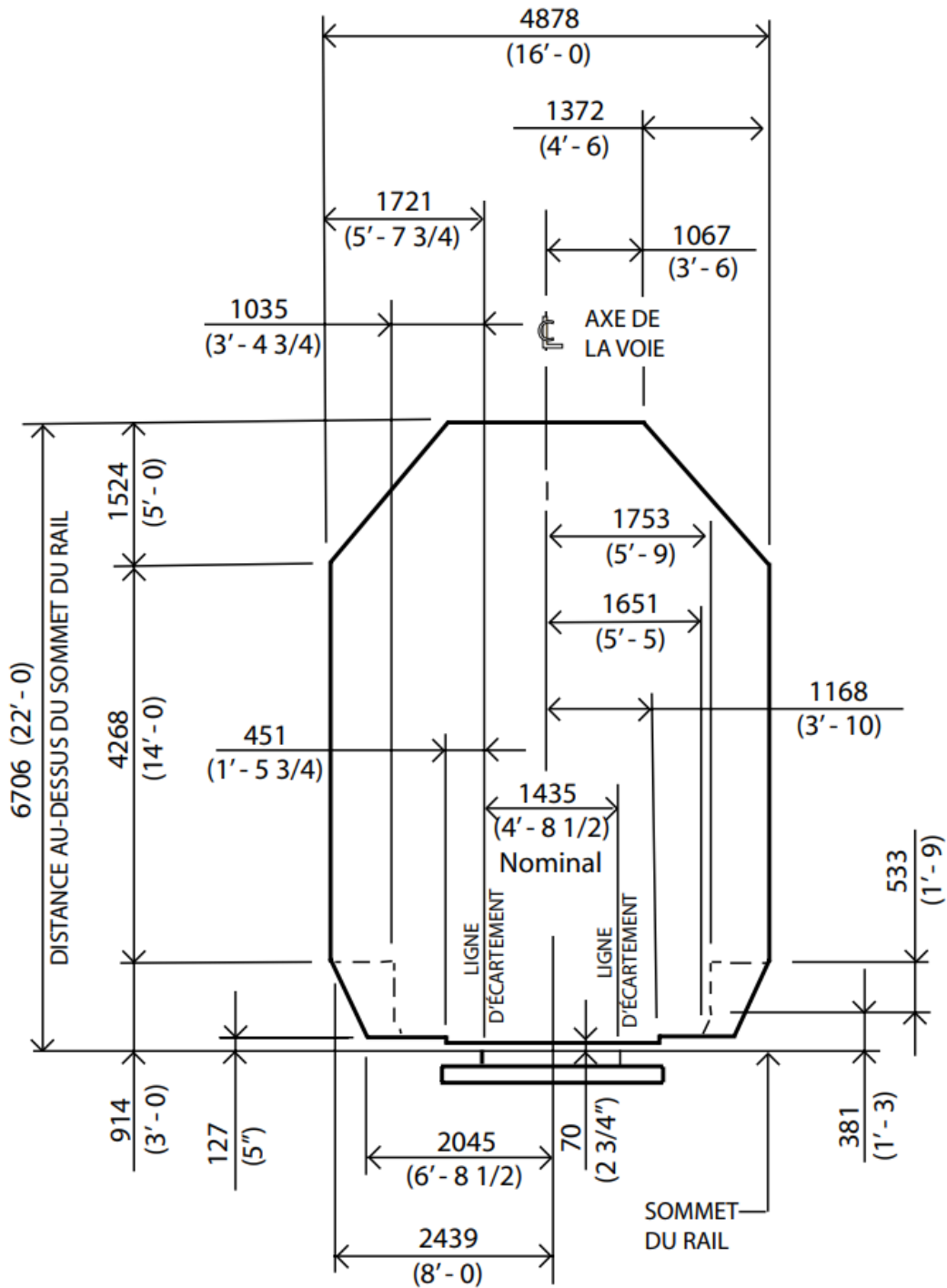


Notes:

Le trait continue indique le gabarit minimum normalise.

Le trait tireté correspond au gabarit exigé, approuvé par l'office national des transports.

Schéma 2: Tous les ponts ferroviaires, paravalanches, et ponts supérieurs en bois (Échelle 1:75)



Note: Le trait tireté indique le gabarit minimum qui peut être utilisé quand l'ingénieur en chef en donne l'autorisation.

Schéma 3: Tous les Tunnels Ferroviaires (Échelle 1:75)

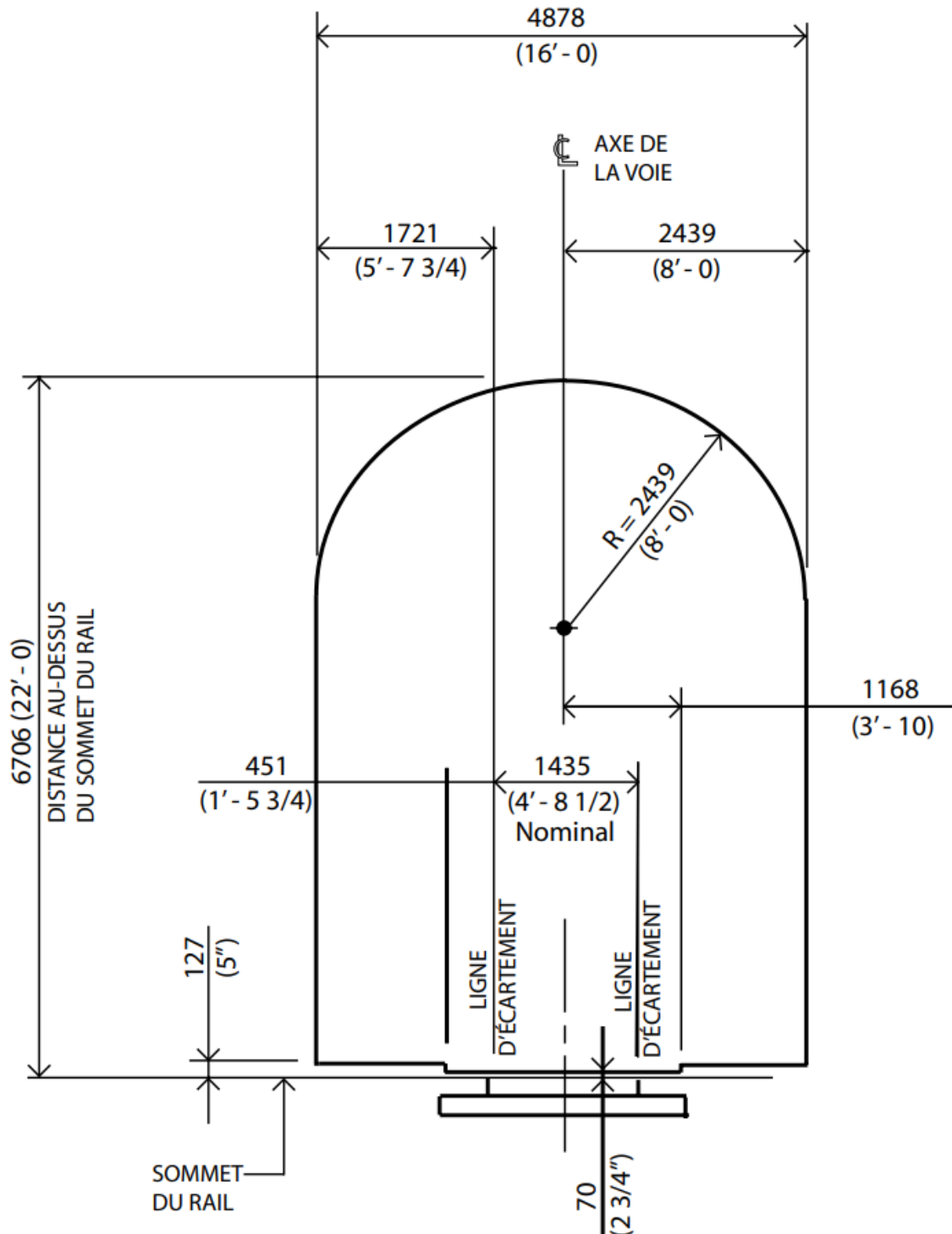
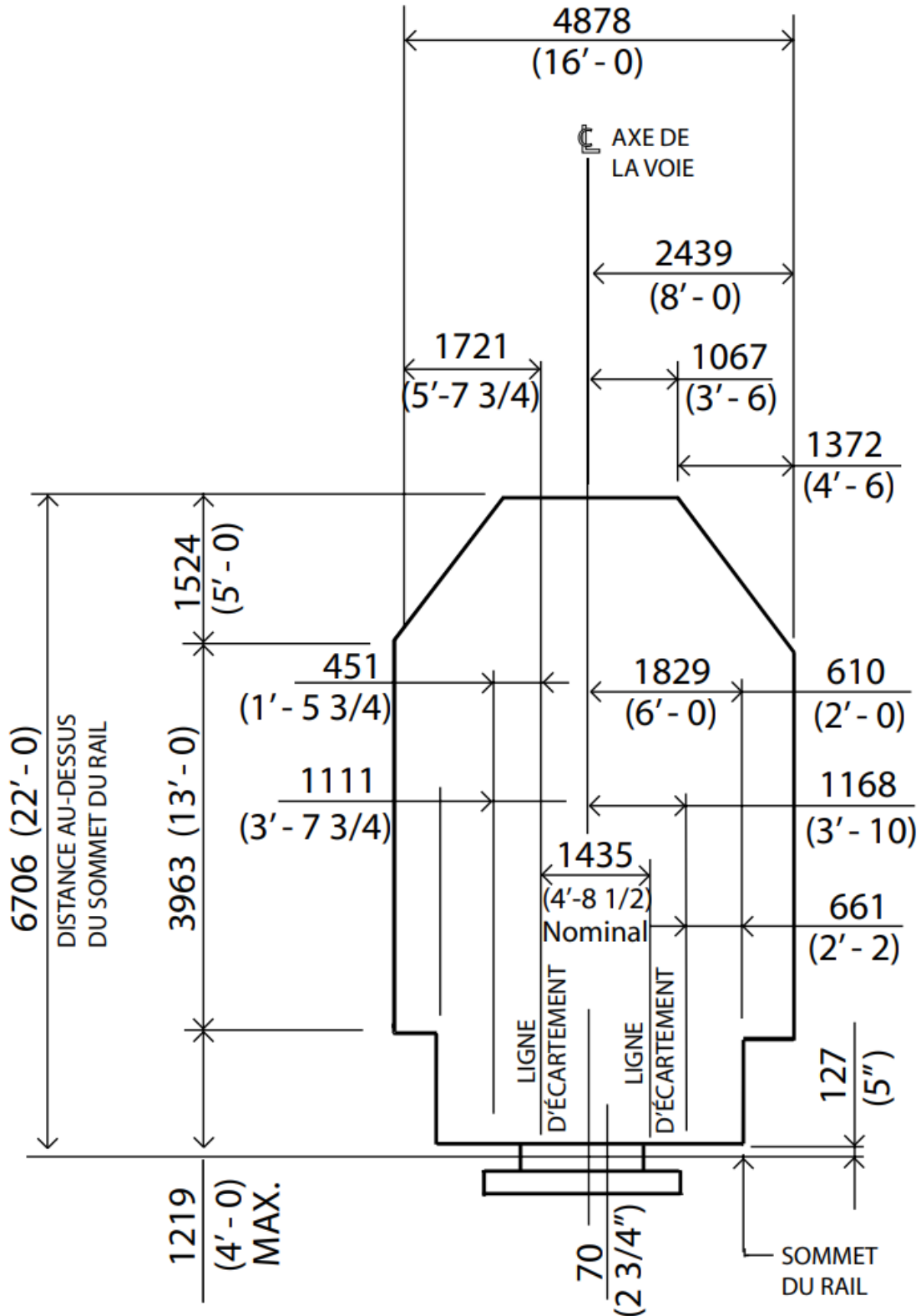


Schéma 4: Embranchement Industriels (Échelle 1:75)



6.6 ENTRAXES DES VOIES

Les entraxes des voies doivent être conçus conformément aux exigences de la section 5 des Normes relatives aux gabarits ferroviaires de Transports Canada.

Transport Canada prescrit les espacements minimums des entraxes des voies comme suit :

- Entre deux voies principales : 3,96 m (13 pi.)
- Entre une voie principale et une voie d'évitement : 4,27 m (14 pi.)
- Entre deux voies de triage : 4,11 m (13,5 pi.)
- Entre deux voies de visite : 7,5 m (24,6 pi.)
- Entre deux voies divergentes dans le faisceau de garage : 3,05 m (10 pi)

6.7 RÉSUMÉ DES CRITÈRES DU TRACÉ DE LA VOIE

Tableau 6-1 : Résumé des critères de tracé en plan

Description	Critères pour le BDHR	Critères pour le GCR
Rayon recommandé de la courbe de tracé en plan	1 750 m (1°)	Conformément au tracé existant
Rayon minimum de la courbe de tracé en plan	700 m (2°30') Un rayon plus petit est autorisé avec une restriction de vitesse	Conformément au tracé existant
À-coup (Jerk) maximal	0,3 m/s ² (recommandé) 0,4 m/s ² (absolu)	
Longueur recommandée de la courbe de transition, L (m).	EQ1 : $L_s = \frac{(E_u)V}{82,28}$ ou EQ2 : $L_s = \frac{E_a}{1,34}$ En cas de réalignement de voies existantes, remplacer EQ1 par EQ3 EQ3 : $L_s = \frac{(E_u)V}{109,93}$ Si 97 km/h < V ≤ 201 km/h, remplacer EQ2 par EQ4 EQ4 : $L_s = \frac{E_a}{1,01}$	
Longueur minimale de la tangente entre les courbes inversées.	72 m (recommandé) 46 m (minimum) 30 m (absolu)	
Longueur minimale de la tangente au-delà des extrémités de la plate-forme (avant une courbe horizontale ou verticale)	25 m (désirable) 15 m (absolu)	
Dévers d'équilibre E_e (mm)	$E_e = \frac{11,8(V^2)}{R}$	
Dévers maximal:	100 mm (4 po.)	125 mm (5 po.)
Déficit de dévers maximal	76 mm (3 po.)	

Tableau 6-2 : Résumé des critères de tracé en profil en long

Description	Critères pour le BDHR	Critères pour le GCR
Pente maximale (voie principale et voies d'évitement)	1,5 % (compensée)	Conformément au profil existant
Pente maximale (voies d'évitement et de triage)	0,3 % (compensée)	0,3 % (compensée)
Longueur recommandée de la courbe verticale, L (m)	$L = \frac{30 \times D}{R}$	
Longueur minimale de la courbe verticale, L (m)	$L = \frac{D \times V^2}{12,96 \times A}$	
Distance minimale entre les courbes verticales	30 m (100 pi)	
Accélération verticale maximale	0,2 m/sec ²	
Compensation de la pente	0,04 % par degré de courbe	



Critères des travaux de terrassement



LA GRANDE
ALLIANCE
ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ

7. CRITÈRES DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

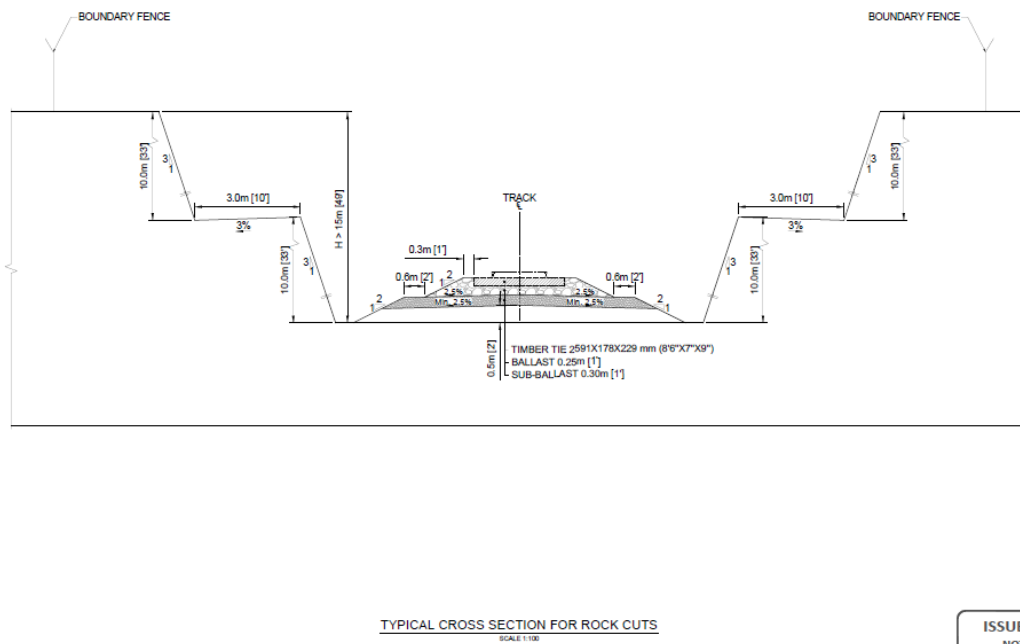
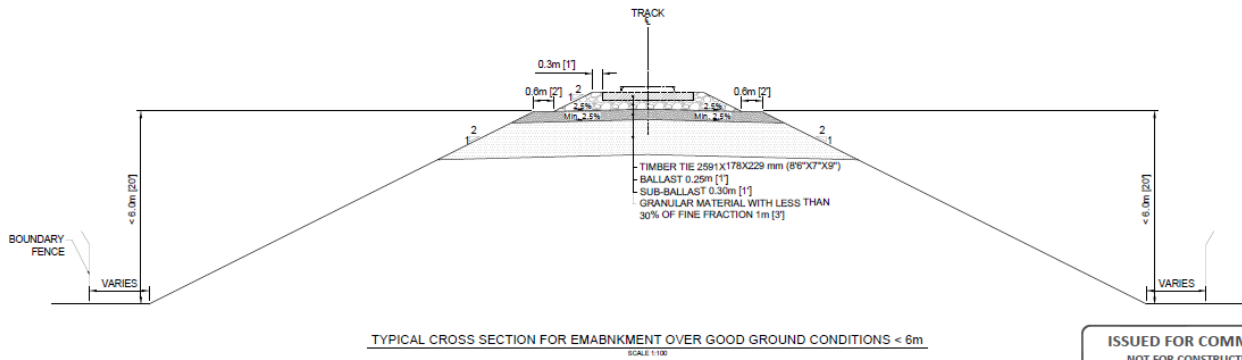
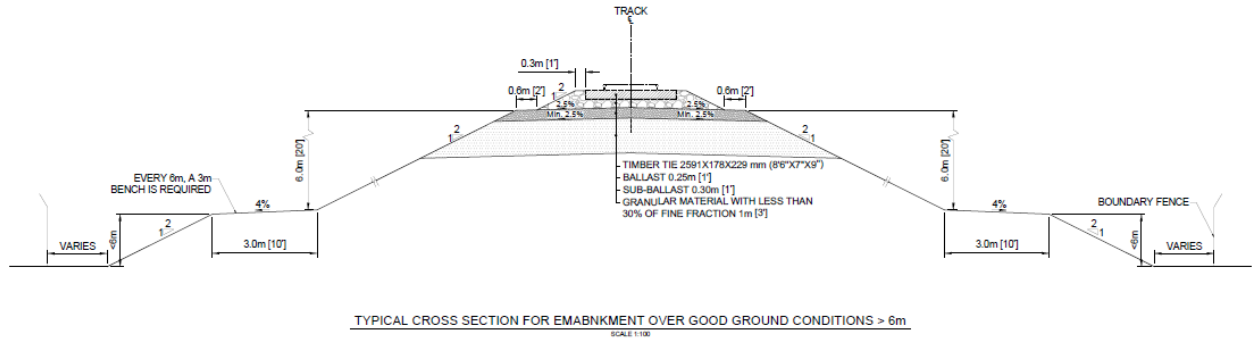


Figure 7-1 : Coupe transversale typique des travaux de terrassement

7.1 DÉBLAI

Conformément à la norme CN TS-2204, aux pratiques industrielles et à l'article 1.2.2 du chapitre 1 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, et selon notre expérience, les critères suivants doivent être utilisés pour l'excavation.

Tableau 7-1 : Exigences relatives au déblai

Éléments	Critères
Déblais typiques de talus en contrebas	1 V : 2 H
Coupe de déblai type (roc dur nécessitant forage)	3 V : 1 H
Facteur de sécurité pour la stabilité des pentes	Statique permanent (long terme) $\geq 1,5$ Statique temporaire (court terme) $\geq 1,3$ Sismique $> 1,1$
Aménagement des banquettes	3 m par 10 m de hauteur mesurée à partir du point le plus bas

*Une étude géotechnique doit être réalisée pour les talus de déblai en différents types de matériaux aux fins de la conception détaillée.

7.2 REMBLAI

Conformément à la norme 1-1.2.3 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, les critères suivants doivent être utilisés pour le remplissage.

Tableau 7-2 : Exigences relatives au remblai

Éléments	Hauteur du remblai	Critères	Facteur de sécurité
Remblais	< 5 m (16 pi)	1V : 2 H	Statique permanent $\geq 1,5$ Statique temporaire $\geq 1,3$ Sismique $> 1,1$
	> 5 m (16 pi)	Une étude géotechnique est requise.	

Remarque : Le remblai de la plate-forme est délimité par le sommet de la couche supérieure.

Les talus des remblais seront déterminés à partir d'une étude géotechnique exhaustive aux fins de la phase de conception détaillée.

7.3 ANALYSE DE LA STABILITÉ

Deux étapes doivent être évaluées, dans le cadre de l'analyse de la stabilité :

- À court terme (détermination des contraintes totales) en utilisant la résistance au cisaillement non drainée (su ou Cu).
- À long terme (détermination des contraintes effectives) à l'aide des paramètres de résistance drainée (c' , ϕ').

La charge ferroviaire doit être prise en compte dans toutes les conditions de chargement.

Les paramètres qui affecteront le facteur de sécurité de l'analyse de la stabilité des pentes sont les suivants :

- La géométrie de la pente
- Le type de sol
- Le poids unitaire des pentes
- Le niveau de la nappe phréatique
- Les paramètres de résistance du sol
- Les charges externes sur la pente (c'est-à-dire la charge du train)
- Le compactage des matériaux de remplissage

La stabilité du remblai sous l'effet du tremblement de terre doit être testée à l'aide d'une analyse pseudo-statique.

7.4 ANALYSE DES TASSEMENTS

Une analyse des tassements doit être effectuée en vue d'évaluer les déformations verticales de tous les remblais susceptibles de se produire pendant et après la construction du remblai dans les zones ou les cas critiques suivants :

- Approches des culées de ponts
- Couches de sol mou et organique sous le remblai
- Remblais à grande hauteur

Les calculs de tassement doivent inclure le tassement immédiat, le tassement de consolidation primaire et le fluage (c'est-à-dire pour les sols mous cohésifs).

7.5 ÉVALUATION DE LA LIQUÉFACTION

La liquéfaction est un phénomène où la contrainte de cisaillement du sol augmente rapidement sous l'effet d'une secousse sismique, entraînant d'importants tassements en surface. L'évaluation de la liquéfaction doit être effectuée en utilisant l'approche « simplifiée » décrite dans le Code canadien sur le calcul des ponts routiers (CCCPR) et par Idriss et Boulanger (2008).

7.6 AMÉLIORATIONS DU SOL

Dans des contextes géotechniques complexes et défavorables, des améliorations du sol peuvent être nécessaires afin d'optimiser les conditions du sol et s'assurer que le sol de fondation a une capacité portante adéquate et qu'il répond aux critères de tassement. Les contextes suivants (entre autres) peuvent nécessiter ces améliorations :

- Les sols cohésifs compressibles (p. ex., l'argile, l'argile limoneuse, le limon argileux)
- Les sols meubles très granulaires
- Les sols organiques (c.-à-d. les sols tourbeux)

Les techniques potentielles d'amélioration du sol sont le compactage dynamique ou la substitution du matériau en place, les colonnes de pierres, la vibro-flottation, les drains verticaux et les inclusions rigides.



Critères de la voie



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᓄᓐ ᓇᓂᓂᓐ ᓇᓂᓂᓐ

8. CRITÈRES DE LA VOIE

8.1 COMPOSANTS DE LA VOIE

8.1.1 Rail

Différents types de rails seront analysés afin de déterminer quel rail convient le mieux au nouveau chemin de fer. La taille et le type de rail les mieux adaptés permettront d'équilibrer les coûts initiaux, la longévité et les coûts d'entretien.

Le choix de rail se fera en fonction des critères suivants :

- Durée de vie
- Résistance aux ruptures de rail
- Coûts d'entretien
- Taux d'usure
- Coût
- Disponibilité

La norme SPC 3200 du CN donne des directives quant au choix du type de rail en fonction du tonnage annuel (MTB) et du degré de courbure.

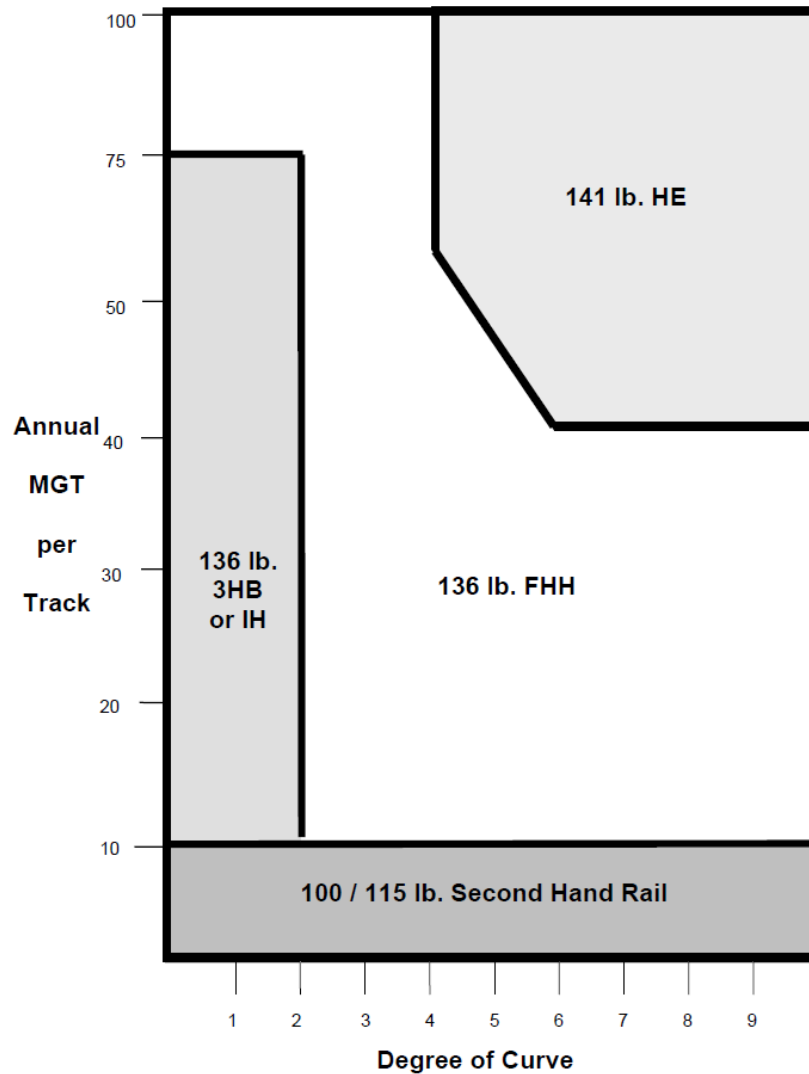


Figure 8-1 : Directives du CN pour la sélection de rails

8.1.2 Traverses

Les types de traverses suivants peuvent être retenus pour les voies principales et les voies d'évitement :

- Bois dur
- Béton

Les types de traverses suivants peuvent être retenus pour les voies de triage :

- Bois dur
- Acier
- Béton

Le type de traverse sera choisi en fonction des impératifs d'exploitation de la voie. La traverse doit résister aux forces verticales et horizontales afin de maintenir l'alignement de la voie. De plus, les traverses seront évaluées en fonction des critères suivants :

- Durée de vie
- Coûts d'entretien
- Coûts
- Disponibilité

L'espacement des traverses doit être choisi en fonction de la résistance de la plate-forme et de la profondeur du ballast et du sous-ballast. L'espacement ne doit pas être supérieur à 24 pouces (0,6 m) et ne doit pas être inférieur à 18,5 pouces (0,47 m).

8.1.3 Attaches

Les attaches doivent être conçues pour maintenir l'écartement des rails tout en transmettant les forces de torsion, latérales, longitudinales et verticales aux traverses. Les attaches de type élastique, par opposition aux attaches rigides, sont mieux adaptées pour résister à ces différentes charges. C'est pourquoi les attaches élastiques seront celles privilégiées pour le nouveau chemin de fer.

Si des crampons de chemin de fer sont utilisés comme système d'attache, ils doivent être combinés avec des dispositifs d'ancrage de rail afin de résister aux mouvements longitudinaux.

8.1.4 Branchements

Les branchements utilisés pour les voies principales et pour les croisements de voies principales seront des N° 20 et doivent utiliser le même type de rail que la voie principale.

Les branchements utilisés pour les voies de triage et d'entreposage seront des N° 8 et de même type de rail.

Les branchements reliant les voies principales aux voies d'accès dans les gares de triage seront au moins des N° 10.

Le dévers non équilibré des branchements ne doit pas dépasser 50 mm.

Les cœurs de croisement utilisés sur les branchements de la voie principale doivent être à ressort ou à bloc porteur central en acier moulé au manganèse et les traverses d'aiguillage utilisées dans les branchements doivent être en bois dur.

8.1.5 Rails protecteurs

Des rails de protection doivent être installés sur tous les ponts et ponceaux arqués dont l'ouverture est supérieure à 4,5 m. Les rails de protection doivent être installés à 15,2 m (50 pi) des extrémités du pont ou du ponceau sur lequel ils sont installés. Des rails de protection doivent également être installés dans les tunnels.

8.1.6 Dérailleurs

Des dérailleurs doivent être installés aux deux extrémités des voies dans les cas où le matériel stationné risque d'être déplacé par le vent ou la gravité et d'obstruer la voie principale ou la voie d'évitement. En général, les dérailleurs doivent être installés aux endroits où du matériel roulant sans surveillance est régulièrement entreposé. L'emplacement et l'utilisation des dérailleurs seront conformes aux directives les plus récentes du Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada (REF) de Transports Canada sur les dérailleurs.

8.1.7 Butoir

Les butoirs doivent être de type mécanique ou de terre.

Les butoirs de terre doivent être dimensionnés conformément au plan de détail type des butoirs du CN.

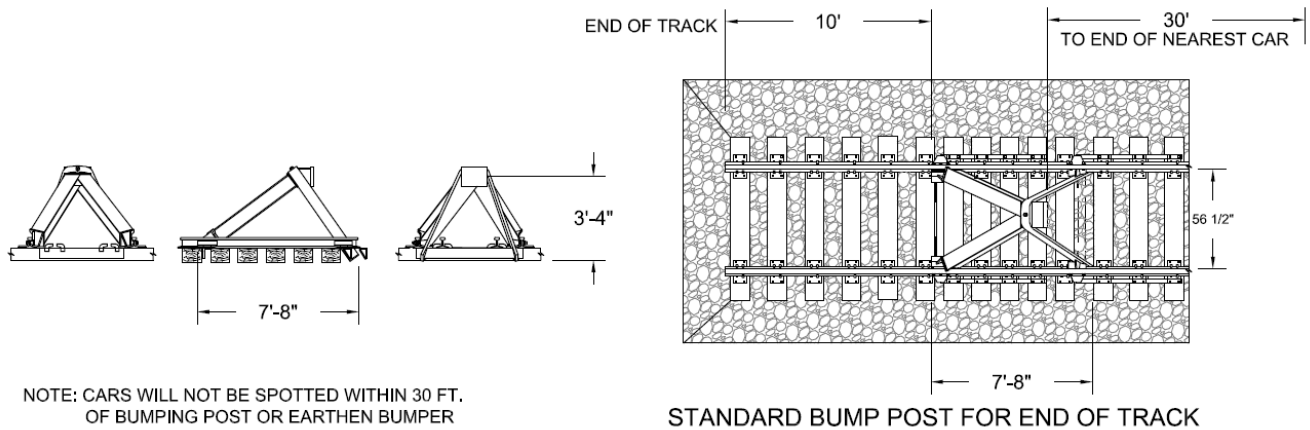


Figure 8-2 : Butoir typique du CN

8.2 BALLAST

La profondeur du ballast ne doit pas être inférieure à 250mm (10 po.) sous la traverse.

La largeur de l'épaulement du ballast ne doit pas être inférieure à 300 mm (12 po.).

La pression exercée sur le ballast par les traverses doit être contrôlée par l'espacement des traverses. Conformément à l'article 1.3.6.1 du chapitre 30 du manuel d'ingénierie ferroviaire MRE de l'AREMA, la pression maximale recommandée sur le ballast est de 450 kPa (65 psi) ou de 585 kPa (85 psi) en fonction de la qualité du ballast. Kerr recommande de limiter la pression à 515 kPa (75 psi). Pour les besoins de cette conception, nous limiterons la pression du ballast à 515 kPa (75 psi).

8.3 SOUS-BALLAST

La profondeur du sous-ballast ne doit pas être inférieure à 300 mm (12 po.).

La largeur de l'épaulement du sous-ballast ne doit pas être inférieure à 600 mm (2 pieds).

8.4 COUCHE SUPÉRIEURE DE PLATE-FORME

Conformément à l'article 10.2.2.6 du chapitre 16 de l'AREMA, la pression maximale exercée sur la plate-forme bien compactée ne doit pas dépasser 172 kPa (25 psi). Une étude géotechnique confirmera la pression maximale admissible sur l'infrastructure.

8.5 QUAIS DE VOYAGEURS

Les quais de voyageurs doivent respecter les dimensions suivantes :

Tableau 8-1 Dimensions du quai de voyageurs

Dimension	Exigences
Longueur minimale des quais	À déterminer
Hauteur minimale des quais bas	203 mm (8") au-dessus du sommet du rail 1 676 mm (5'-6") de l'axe de la voie adjacente au bord du quai
Hauteur minimale des quais surélevés	1 308 mm (4'-3-1/2") au-dessus du sommet du rail 1 702 mm (5'-7") de l'axe de la voie adjacente au bord du quai
Largeur minimale des quais latéraux	3 048 mm (10')
Largeur minimale des quais centraux	À déterminer

8.6 PASSAGES À NIVEAU

Les passages à niveau doivent être conçus conformément à la réglementation de Transports Canada sur les passages à niveau. La conception des passages à niveau doit être coordonnée avec le concepteur de la route afin de s'assurer que toutes les exigences peuvent être respectées.

En raison du grand nombre de routes forestières en gravier qui traverseront le BDHR, certains passages à niveau doivent être combinés afin de réduire le nombre total de passages à niveau et d'accroître la sécurité. Les distances de visibilité seront calculées conformément au document de Transports Canada intitulé « Guide servant à déterminer les lignes de visibilité minimales aux passages à niveau ». Les passages à niveau présentant les lignes de visibilité les plus grandes et les pentes d'approche les plus souhaitables seront conservés et permettront l'accès aux routes coupées par le chemin de fer.

8.7 RÉSUMÉ DES CRITÈRES DE LA VOIE

Tableau 8-2 Résumé des critères de la voie

ÉLÉMENTS DE LA VOIE	CRITÈRES	
	Voie principale (y compris les voies d'évitement)	Voies de triage et voies d'entreposage
Rails	De type 115RE (52 kg, 115 lb) ou plus grand À réévaluer en fonction des besoins d'exploitation.	De type 115RE (52 kg, 115 lb) ou plus grand À réévaluer en fonction des besoins d'exploitation.
Joints	Long rail soudé (LRS)	Soudés
Traverses	Bois dur	Bois dur
Espacement des traverses	535 mm (21 po) À réévaluer en fonction du type de traverse et de la capacité de la plate-forme.	560 mm (22 po) À réévaluer en fonction du type de traverse et de la capacité de la plate-forme.

ÉLÉMENTS DE LA VOIE		CRITÈRES
Voie principale (y compris les voies d'évitement)		Voies de triage et voies d'entreposage
Attaches	Vis à crampons	Vis à crampons
Branchements	Motorisé et manuel – AREMA No. 20	Motorisé et manuel ou manuel – AREMA No. 8
Largeur de l'épaulement du ballast	300 mm (12 po) minimum	150 mm (6 po) minimum
Profondeur du ballast sous la traverse	250 mm (10 po) minimum À réévaluer en fonction du type de traverse et de la capacité de la plate-forme.	230 mm (9 po) minimum À réévaluer en fonction du type de traverse et de la capacité de la plate-forme.
Pente de l'épaulement du ballast	1V : 2H	1V : 2H
Profondeur du sous-ballast	300 mm (12 po) minimum À réévaluer en fonction de l'étude géotechnique.	300 mm (12 po) minimum À réévaluer en fonction de l'étude géotechnique.
Largeur de l'épaulement du sous-ballast	Minimum 0,6 m (2 pi) À réévaluer en fonction des exigences d'exploitation.	Minimum 0,6 m (2 pi) À réévaluer en fonction des exigences d'exploitation.
Pente de l'épaulement du sous-ballast	1V : 2H	1V : 2H
Pente transversale du sous-ballast	2,5 %	2,5 %



Critères des ouvrages d'art



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᓄᓐ ᓂᓐ ᓂᓐ ᓂᓐ ᓂᓐ ᓂᓐ

9. CRITÈRES DES OUVRAGES D'ART

9.1 CHARGES NOMINALES

9.1.1 Charges de calcul

La charge constante est définie comme le poids estimé de l'élément de structure, plus celui de la voie, du ballast, du remblai et des autres parties de la structure qui s'appuient sur cet élément. Le poids unitaire des matériaux constituant la charge constante est estimé comme suit :

- Béton armé 25 kN/m³
- Béton ordinaire 25 kN/m³
- Acier de construction 78 kN/m³
- Couche d'usure 24 kN/m³
- Ballast 20 kN/m³
- Rails, glissières de sécurité intérieures et attaches 2 kN/m
- Bois d'œuvre 10 kN/m³
- Sol 18 kN/m³

Les charges constantes superposées des différents éléments figurant sur les sections types doivent être prises en compte en utilisant la densité de conception indiquée ci-dessus. La couche d'usure, le ballast, les rails, les traverses en acier ou en bois, les attaches, les murets garde-ballast et les mains courantes sont considérés comme des charges constantes superposées.

9.1.2 Charges mobiles

Les charges mobiles de la méthode Cooper E80 seront utilisées pour les structures du chemin de fer BDHR.

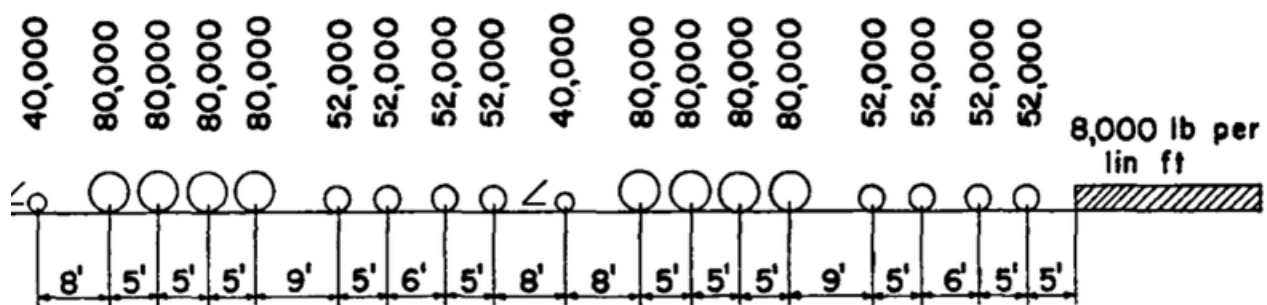


Figure 9-1 : Charges normalisées selon la méthode Cooper E80

Les charges mobiles de la méthode Cooper E60 seront utilisées pour les structures du chemin de fer Grevet-Chapais.

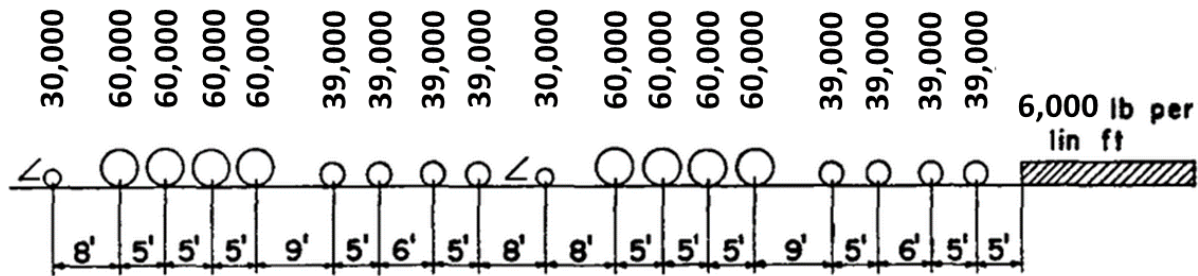


Figure 9-2 : Charges normalisées selon la méthode Cooper E60

9.1.3 Charges d'impact

La charge d'impact, due aux effets verticaux créés par le passage des locomotives et des trains, doit être appliquée verticalement au sommet de chaque rail. La charge d'impact exprimée en pourcentage de la charge mobile appliquée à chaque rail est en fonction de la longueur de la travée de la structure et doit être déterminée par les formules applicables fournies dans le manuel de l'AREMA.

Pour les structures en béton, ces formules sont données au chapitre 8, section 2.2.3 :

Pour $L \leq 4$ mètres	$I = 60$
Pour $4 \text{ mètres} < L \leq 39$ mètres	$I = 125 / (L)^{1/2}$
Pour $L > 39$ mètres	$I = 20$
Où :	$L =$ Longueur de la travée (en mètres)

Pour les structures en acier, les formules données au chapitre 15, section 1.3.5, devront être appliquées au matériel roulant sans coup de mouton (wagons de marchandises et de passagers, et locomotives autres que celles à vapeur) pour obtenir la charge d'impact (en pourcentage de la charge mobile) :

Pour $L < 24,4$ mètres (80 pi)	$I = 40 - 3L^2 / 1\ 600$
Pour $L \geq 24,4$ mètres (80 pi)	$I = 16 + 600 / (L - 30)$

Où : L est la longueur de la travée (en pieds) telle que définie dans le manuel AREMA chapitre 15, section 1.3.5.

Notes :

Pour les structures en béton existantes, la réduction de l'impact peut être autorisée comme suit : pour les vitesses inférieures à 65 km/h, l'impact doit être réduit selon une variation linéaire allant du plein effet à 65 km/h à 0,5 plein effet à 15 km/h.

Pour les structures en acier existantes, pour des vitesses de train inférieures à 96 km/h, pour toutes les travées portant des équipements sans coup de mouton, les valeurs des effets verticaux des équations d'impact doivent être multipliées par le facteur : $1 - 0,8 / 2500 \times (60 - S)^2 \geq 0,2$ où $S =$ vitesse en mi/h.

9.1.4 Charges de vents

En général, les forces de vents doivent être considérées comme une charge mobile agissant dans n'importe quelle direction horizontale. Il convient au minimum de concevoir le pont pour les forces de vents appliquées latéralement et longitudinalement, définies dans les clauses suivantes de l'AREMA :

Pour les ponts en béton, chapitre 2, section 2.2.3 :

- Sur une charge mobile (train) : une charge de vent de 4,4 kN/m doit être appliquée sur le train à 2 450 m au-dessus du rail, dans une direction horizontale perpendiculaire à l'axe de la voie.
- Sur la structure : la charge de vent de base agissant sur la structure est estimée à 2,16 kPa sur la projection verticale de la structure, appliquée au centre de gravité de la projection verticale dans n'importe quelle direction horizontale.

Pour les ponts en acier, chapitre 15, sections 1.3.7 et 1.3.8 :

- Sur une charge mobile (train) : une charge de vent de 4,4 kN/m doit être appliquée sur le train à 2 450 m au-dessus du rail, dans une direction horizontale perpendiculaire à l'axe de la voie.
- Sur une structure chargée : la charge latérale du vent doit être prise à la normale de 1,44 kPa pour les surfaces suivantes :
 - Pour les travées à poutre à âme pleine, 1,5 fois la projection verticale de la travée.
 - Pour les travées à poutre en treillis, la projection verticale de la travée plus toute partie des treillis sous le vent qui n'est pas protégée par le platelage.
 - Pour les piles et les palées des ponts, la projection verticale de toutes les colonnes et de tous les contreventements au vent et sous le vent.
- Sur une structure non chargée :
 - La charge latérale de vent est égale à 2,4 kPa de la surface telle que définie ci-dessus.

9.1.5 Forces longitudinales

Les forces longitudinales dues au freinage et à la traction sont définies à la section 22.3 du chapitre 8 et à la section 1.3.12 du chapitre 15 du manuel de l'AREMA. Les formules donnent les valeurs pour la charge mobile selon la méthode Cooper E80 et correspondent à une charge de 36 t/essieu. Pour les charges de conception autres que celles de la méthode E80, ces forces doivent être mises à l'échelle proportionnellement sans modifier les points d'application de la charge.

9.1.6 Poussée du terrain

Les poussées du terrain à appliquer à la structure doivent être déterminées conformément aux dispositions du chapitre 8, partie 5 du manuel de l'AREMA Manual : Murs de soutènement, culées et piliers.

9.1.7 Charges sismiques

L'objectif du calcul sismique est d'assurer la sécurité des trains en circulation lors d'un tremblement de terre et de permettre la reprise du transport le plus rapidement possible après le séisme.

Le calcul doit être effectué à l'aide de coefficients globaux qui multiplient le poids de la structure. Les valeurs des coefficients des zones sismiques (vitesse maximale du sol - PGA) sont indiquées au tableau 4.3

Chaque emplacement de pont sera examiné et la valeur appropriée de l'accélération du sol sera déterminée. L'accélération du sol utilisée pour chaque pont sera spécifique à chaque site.

Le calcul sismique et les détails structurels seront effectués conformément au chapitre 9 du manuel de l'AREMA.

9.1.8 Effets de la température

Le coefficient de dilatation de l'acier et du béton est fixé à 12×10^{-6} par degré Celsius. Les effets de la température ne doivent être pris en compte que dans le cas où une partie de la structure n'est pas libre de se dilater ou de se contracter sous l'effet d'une variation de température.

9.2 COMBINAISONS DE CHARGES

Conformément à l'article 2.2.4 du chapitre 8 du manuel MRE de l'AREMA, les combinaisons de charges suivantes seront vérifiées. La dernière colonne de ce tableau indique l'augmentation admissible des contraintes en service précisées par un code pour chaque combinaison.

Tableau 9-1 : Combinaisons de charges

Groupe ¹	D+	LL+I	LF	CF	W	WL	OF	ICE	EQ	%
I	1	1		1						100
II	1				1					125
III	1	1	1	1	0,5	1				125
IV	1	1		1			1			125
V	1				1		1			140
VI	1	1	1	1	0,5	1	1			140
VII	1	1		1				1		140
VIII	1								1	150

Remarques :

- D+ = D (charge constante), E (poussée du terrain), B (flottabilité) et SF (force latérale)
- LL+I = charge mobile plus charge d'impact
- LF = force longitudinale (freinage et traction)
- CF = force centrifuge
- W = vent sur la structure
- WL = vent sur la charge mobile
- OF = charges de la passerelle et de la neige
- ICE = charges de glace
- EQ = charges sismiques

¹ Il s'agit de différentes combinaisons de charges selon l'AREMA à étudier pour déterminer la taille et les dimensions d'un pont ferroviaire. Par exemple, le groupe 1 correspond à la charge constante, à la charge mobile et à la force centrifuge.

9.2.1 Fléchissement

Le fléchissement de la structure doit être calculé pour la combinaison de la charge vive et de la charge d'impact qui produit le moment de flexion maximal à mi-portée pour les travées en appui simple. La structure doit être conçue de manière que la flèche verticale calculée ne dépasse pas 1/640 de la longueur de la travée — centre à centre des appuis pour les travées simples.

9.3 TYPES DE PONTS ET DE PLANCHERS

Les tableaux suivants présentent les options de conception pour le type de pont et pour le plancher.

Tableau 9-2 : Options pour la conception de ponts

Élément	Options	Commentaires
Type de pont	Poutre âme pleine à tablier inférieur	
	Poutre à âme pleine à tablier supérieur	Choix préférentiel
	Poutre creuse	
	Tréteaux	Sans objet pour cette conception
	Treillis en arc	Sans objet pour cette conception
	Treillis à tablier inférieur/supérieur	Sans objet pour cette conception
Plancher de pont	Pont découvert	Applicable uniquement pour Grevet-Chapais
	Pont à tablier ballasté	Choix préférentiel

9.4 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

9.4.1 Béton

Les principales caractéristiques de conception du béton sont présentées dans le tableau 9-3 ci-dessous

Tableau 9-3 : Caractéristiques de conception du béton (sur la base d'un essai cylindrique)

Caractéristiques	Valeur recommandée
Résistance minimale à la compression f'_c (f_{cu}) en MPa	
Béton maigre/de masse	15 (20)
Pieux	25 (30)
Semelle, semelle sur pieux et pilotis	30 (40)
Travées en béton armé	30 (40)
Béton précontraint	35 (45)

Caractéristiques	Valeur recommandée
Densité du béton (kN/m ³)	24
Module d'élasticité E_c (MPa)	$4\,700\sqrt{f_c}$
Module de cisaillement G (MPa)	$\frac{E_c}{2(1 + \nu)}$ Le coefficient de Poisson peut être estimé à $\nu = 0,2$

9.4.2 Barres d'armature

Les principales caractéristiques de conception et d'enrobage de béton minimal des barres d'armature sont indiqués dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 9-4 : Caractéristiques de conception des barres d'armature

Caractéristiques	Valeur recommandée
Limite d'élasticité conventionnelle f_c (MPa)	400
Module d'élasticité E_s (MPa)	200 000
Diamètre nominal minimal (mm)	
• Armature primaire	16
• Cisaillement et étriers	10

Tableau 9-5 : Conception de l'enrobage du béton

Caractéristiques	Enrobage minimum recommandé (mm)
Béton coulé et exposé en permanence à la terre	75
Dalle de pont en béton :	
• Armature supérieure	50
• Armature inférieure	40
Autres :	
• Armature principale	50
• Étriers, traverses, et courbes de raccordement	40
Éléments en béton préfabriqué	35
Béton préfabriqué précontraint :	
• Gains de post-tension	40 (mais pas moins de la moitié du diamètre de la gaine)

Module d'élasticité du béton, (E_c) (indépendamment de la qualité du béton) = $3,0 \times 10^4$ MPa.

Coefficient de dilatation ou de contraction thermique = 12×10^{-6} .

9.4.3 Acier de construction

Tout l'acier de construction doit être à haute résistance à la traction, conformément à la norme de l'American Society for Testing and Materials ASTM A588/A588M Classe 50W (acier résistant aux intempéries) ou à un équivalent approuvé, avec les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la traction = 485 MPa
- Limite d'élasticité apparente = 345 MPa
- Module d'élasticité = 200 000 MPa

Toutes les électrodes de soudage doivent être conformes à la norme AWS D1.5 ou à une norme équivalente. Les électrodes de soudage doivent posséder des propriétés similaires à celles de l'acier.

Le coefficient de frottement (coefficient de glissement moyen) entre deux faces d'acier assemblées est considéré comme égal ou supérieur à 0,33.

Les boulons d'ancrage doivent être conformes à la norme de l'ASTM A307 ou à un équivalent approuvé.

9.5 CONCEPTION DE L'INFRASTRUCTURE

Les murs de soutènement construits sur le site du projet doivent être conçus pour résister aux poussées latérales du terrain. La poussée du terrain sur les culées et les murs de soutènement doit être considérée comme un remblai granulaire. L'ampleur et la répartition des poussées du terrain dépendront du type et de la méthode de mise en place des matériaux de remblai, de la nature des sols derrière le remblai, de l'ampleur de la surcharge, y compris des charges de construction, des conditions de drainage derrière les murs et du mouvement latéral ultérieur de la structure. La charge sismique (tremblement de terre) doit également être prise en compte dans la conception. Les poussées latérales du terrain augmentent dans des conditions de chargement sismique.

L'équation de Coulombs doit être utilisée pour déterminer le coefficient de poussée du terrain avec les paramètres suivants du remblai indiqués dans le tableau ci-dessous. Le point d'application de la poussée du terrain due au remblai a été estimé être situé à une hauteur de 0,33 h au-dessus de la section concernée.

Le facteur de sécurité contre le glissement à la base de la structure doit être d'au moins 1,5.

Tableau 9-6 : Coefficients de poussée du terrain

Description des paramètres	Valeur des paramètres		
	Remblai de terre	MG-112	MG-56
Matériau			
Poids unitaire (kN/m ³)	20	19	22
Coefficient de poussée au repos du terrain (k ₀)	0,5	0,47	0,36
Coefficient de poussée active du terrain (k _a)	0,33	0,31	0,22
Angle de frottement interne du remblai (f)	30 °	32 °	40 °

9.6 PONCEAUX

La partie 10 « Reinforced Concrete Culvert Pipe » (Tuyau de ponceau en béton armé) et la partie 4 « Culverts » (Ponceaux) du manuel MRE de l'AREAMA seront utilisées pour la conception structurale des ponceaux sur le BDRH et le chemin de fer Grevet-Chapais.

Tableau 9-7 : Exigences relatives à la conception des ponceaux

Élément	Critères
Type	Acier : ponceau en tôle ondulée (CSP) ou arche en tôle sans fond Béton : Tuyau ou ponceau à dalot (Le tuyau en polyéthylène haute densité n'a pas été utilisé dans la conception, mais s'il présente la même résistance que la buse ondulée, il est possible de l'utiliser)
Construction de ponceaux en béton	Lorsque les conditions environnementales le permettent : Diamètres $\leq 1,5$ m = tuyaux en béton Diamètres $> 1,5$ m = dalots en béton
Construction de ponceaux en acier	Lorsque les conditions environnementales le permettent : Intermittent = ponceau en tôle ondulée Permanent = arche en tôle sans fond
Diamètre minimum du ponceau en tôle ondulée (CSP)	600 mm
Couverture minimale du CSP	1 200 mm
Épaisseur minimale du CSP	2 mm
Base du CSP	Largeur : $D/3$, où D = diamètre du ponceau Épaisseur : 150 mm à 450 mm selon le diamètre de la buse
Dégagement entre deux CSP parallèles	1 m (côte à côte)



Hydrologie



**LA GRANDE
ALLIANCE**
ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ ᐱᓂᓐ

10. HYDROLOGIE

Ce chapitre présente les critères d'hydrologie et l'hydraulique des ponceaux, des fossés et des ponts, qui sont basés sur les normes exigées, entre autres, par le ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec (MTMD), le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec (MELCCFP) et l'AREMA.

10.1 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

Les stations météorologiques les plus proches de la zone d'étude sont la station de Chapais d'Environnement Canada (ID climatologique : 7091299, Latitude : 49°49' N; Longitude : 74°59'O; Altitude : 381 m) et la station Matagami (ID climatologique : 7094639, Latitude : 49°46'; Longitude : 77°49'W; Altitude : 281 m). À la station de Chapais, les précipitations annuelles moyennes sont de 995,5 mm, dont 684,4 mm sous forme de pluie. À la station Matagami, les précipitations annuelles moyennes sont de 906,72 mm, dont 589 mm sous forme de pluie.

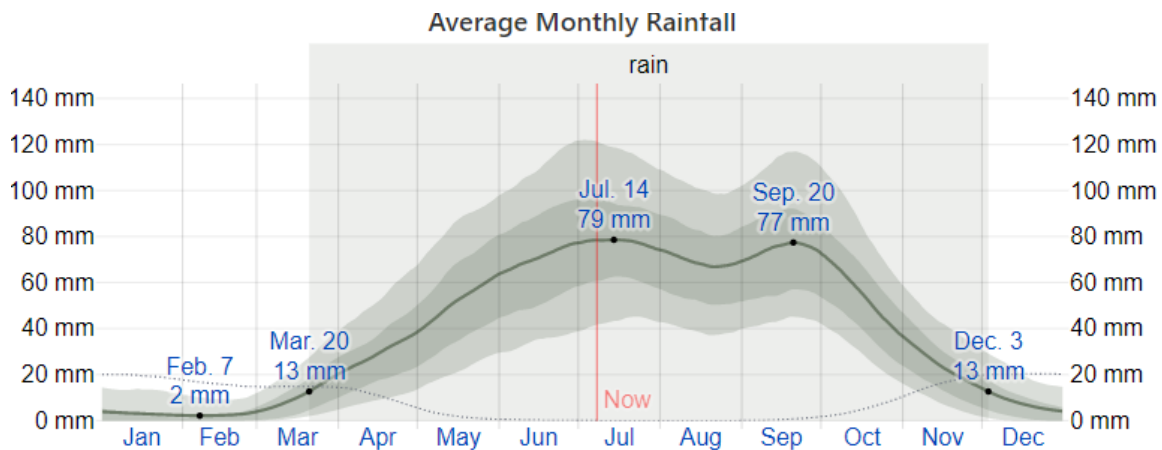


Figure 10-1 : Moyenne mensuelle des précipitations à la station de Chapais

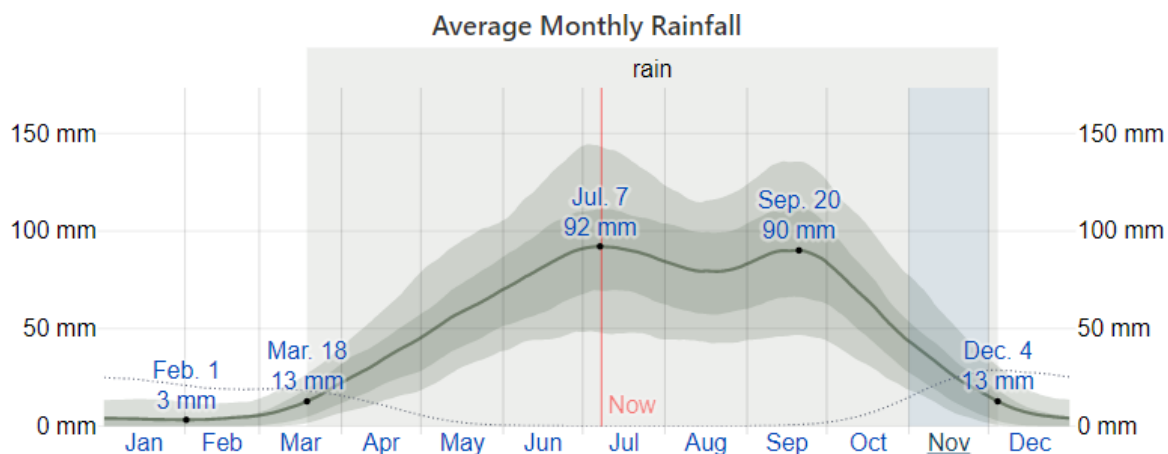


Figure 10-2 : Moyenne mensuelle des précipitations à la station de Matagami

Une courbe intensité-durée-fréquence (courbe IDF) est une fonction mathématique qui relie l'intensité des précipitations à leur durée et à leur fréquence. Les courbes IDF et les intensités de précipitations pour diverses

fréquences d'occurrence pour les zones concernées peuvent être obtenues auprès d'Environnement et Changement climatique Canada. L'intensité des précipitations à partir d'une courbe IDF représentative est applicable lors de l'utilisation de la méthode rationnelle pour le calcul du débit de pointe, tandis que le volume des précipitations est applicable lors de l'utilisation de la méthode du SCS.

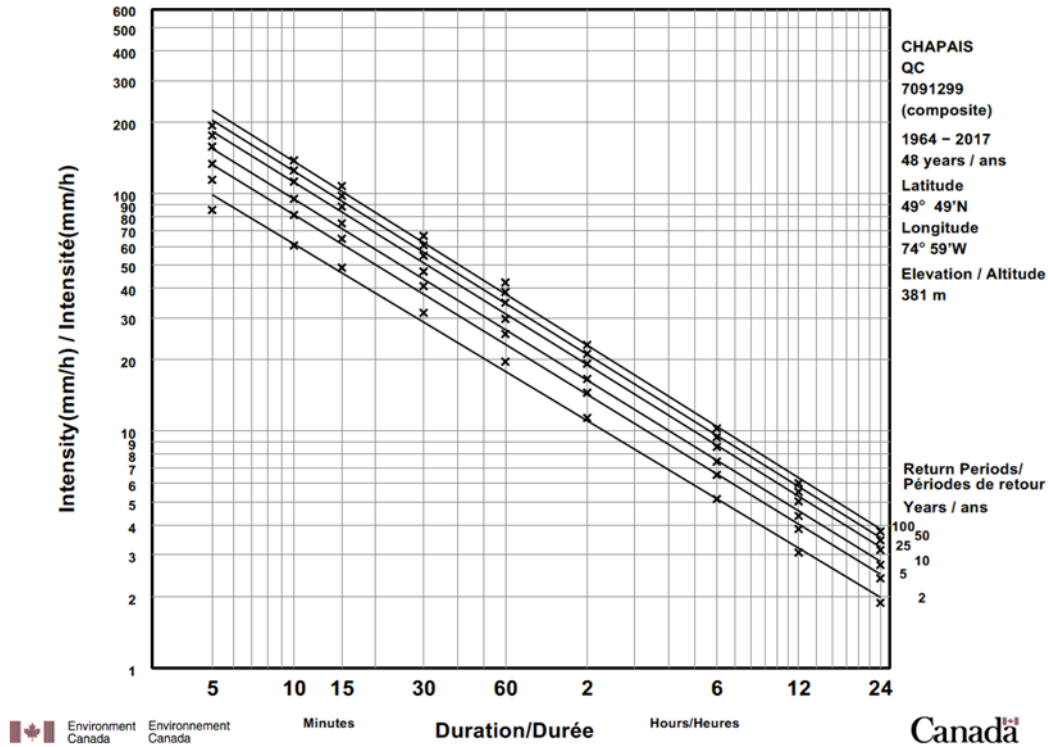


Figure 10-3 : Intensité, durée et fréquence des précipitations (IDF) à la station de Chapais

Duration/Durée	2	5	10	25	50	100	#Years Années
	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	
5 min	85.4	114.4	133.7	158.0	176.0	193.9	48
	+/- 8.5	+/- 14.4	+/- 19.4	+/- 26.2	+/- 31.3	+/- 36.5	48
10 min	60.5	81.3	95.1	112.5	125.4	138.2	48
	+/- 6.1	+/- 10.3	+/- 13.9	+/- 18.8	+/- 22.4	+/- 26.1	48
15 min	48.8	64.6	75.0	88.2	98.0	107.7	48
	+/- 4.6	+/- 7.8	+/- 10.5	+/- 14.2	+/- 17.0	+/- 19.8	48
30 min	31.4	40.8	47.0	54.8	60.6	66.4	48
	+/- 2.7	+/- 4.6	+/- 6.3	+/- 8.4	+/- 10.1	+/- 11.8	48
1 h	19.6	25.6	29.6	34.7	38.5	42.2	48
	+/- 1.8	+/- 3.0	+/- 4.1	+/- 5.5	+/- 6.5	+/- 7.6	48
2 h	11.3	14.5	16.6	19.2	21.1	23.1	48
	+/- 0.9	+/- 1.6	+/- 2.1	+/- 2.8	+/- 3.4	+/- 3.9	48
6 h	5.2	6.5	7.4	8.6	9.4	10.2	48
	+/- 0.4	+/- 0.7	+/- 0.9	+/- 1.2	+/- 1.5	+/- 1.7	48
12 h	3.1	3.9	4.4	5.0	5.5	6.0	48
	+/- 0.2	+/- 0.4	+/- 0.5	+/- 0.7	+/- 0.9	+/- 1.0	48
24 h	1.9	2.4	2.7	3.1	3.5	3.8	48
	+/- 0.1	+/- 0.2	+/- 0.3	+/- 0.5	+/- 0.5	+/- 0.6	48

Figure 10-4 : Taux de précipitations en période de retour (mm/h) à la station de Chapais

Duration/Durée	2	5	10	25	50	100	#Years
	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	Années
5 min	7.1	9.5	11.1	13.2	14.7	16.2	48
10 min	10.1	13.6	15.8	18.7	20.9	23.0	48
15 min	12.2	16.1	18.8	22.1	24.5	26.9	48
30 min	15.7	20.4	23.5	27.4	30.3	33.2	48
1 h	19.6	25.6	29.6	34.7	38.5	42.2	48
2 h	22.7	28.9	33.1	38.4	42.3	46.1	48
6 h	31.0	39.1	44.5	51.3	56.4	61.4	48
12 h	36.8	46.3	52.5	60.5	66.3	72.2	48
24 h	45.2	57.3	65.3	75.4	82.9	90.4	48

Figure 10-5 : Quantité des précipitations en période de retour (mm) à la station de Chapais

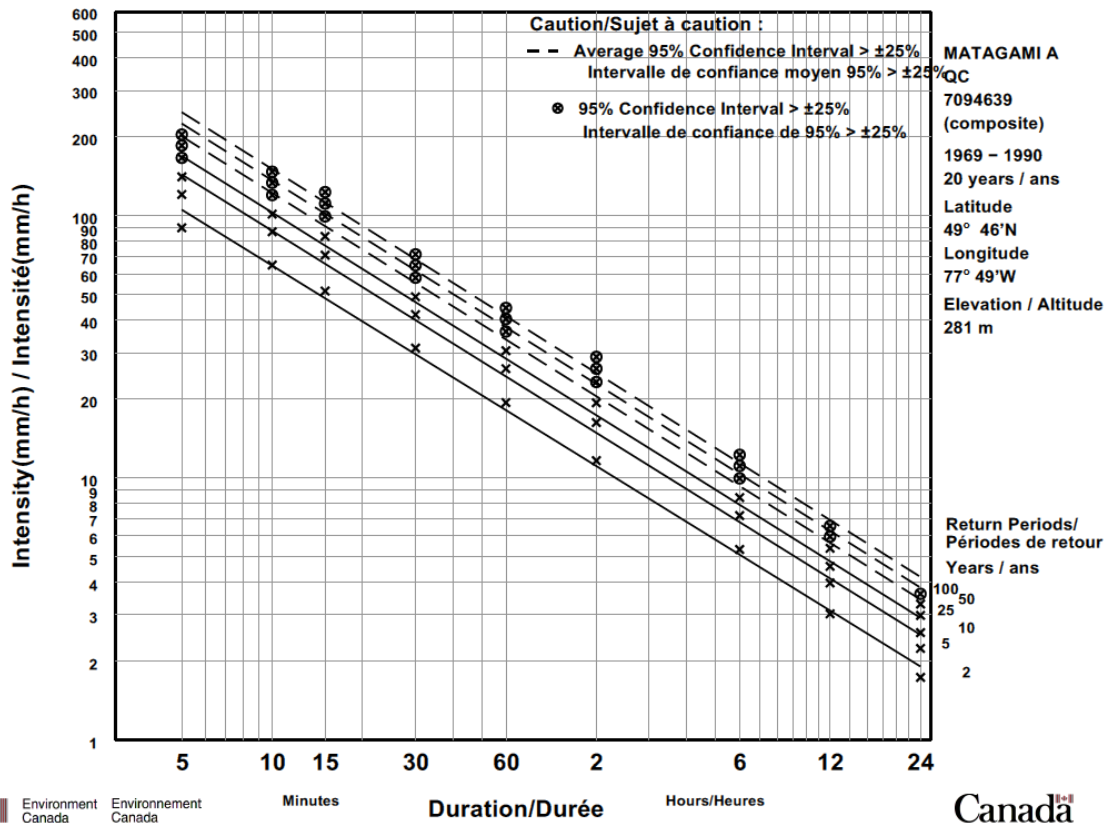


Figure 10-6 : Intensité, durée et fréquence des précipitations (IDF) à la station de Matagami

Duration/Durée	2	5	10	25	50	100	#Years
	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	Années
5 min	89.9	120.4	140.7	166.2	185.2	204.0	20
	+/- 13.9	+/- 23.4	+/- 31.6	+/- 42.6	+/- 51.0	+/- 59.4	20
10 min	64.8	86.8	101.4	119.8	133.5	147.1	20
	+/- 10.0	+/- 16.9	+/- 22.8	+/- 30.8	+/- 36.8	+/- 42.9	20
15 min	51.6	70.7	83.4	99.4	111.2	123.0	20
	+/- 8.7	+/- 14.7	+/- 19.8	+/- 26.7	+/- 32.0	+/- 37.2	20
30 min	31.2	41.9	49.0	58.0	64.6	71.2	20
	+/- 4.9	+/- 8.2	+/- 11.1	+/- 14.9	+/- 17.9	+/- 20.8	20
1 h	19.4	26.1	30.5	36.1	40.3	44.4	20
	+/- 3.1	+/- 5.2	+/- 7.0	+/- 9.4	+/- 11.2	+/- 13.1	20
2 h	11.6	16.2	19.3	23.2	26.1	28.9	20
	+/- 2.1	+/- 3.6	+/- 4.8	+/- 6.5	+/- 7.7	+/- 9.0	20
6 h	5.3	7.2	8.4	9.9	11.1	12.2	20
	+/- 0.8	+/- 1.4	+/- 1.9	+/- 2.6	+/- 3.1	+/- 3.6	20
12 h	3.0	4.0	4.6	5.4	6.0	6.5	20
	+/- 0.4	+/- 0.7	+/- 1.0	+/- 1.3	+/- 1.6	+/- 1.8	20
24 h	1.7	2.2	2.6	3.0	3.3	3.6	21
	+/- 0.2	+/- 0.4	+/- 0.5	+/- 0.7	+/- 0.8	+/- 1.0	21

Figure 10-7 : Taux de précipitations en période de retour (mm/h) à la station Matagami

Duration/Durée	2	5	10	25	50	100	#Years
	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	yr/ans	Années
5 min	7.5	10.0	11.7	13.9	15.4	17.0	20
10 min	10.8	14.5	16.9	20.0	22.3	24.5	20
15 min	12.9	17.7	20.8	24.8	27.8	30.8	20
30 min	15.6	21.0	24.5	29.0	32.3	35.6	20
1 h	19.4	26.1	30.5	36.1	40.3	44.4	20
2 h	23.2	32.5	38.6	46.4	52.1	57.8	20
6 h	31.9	43.0	50.4	59.7	66.5	73.4	20
12 h	36.3	47.6	55.1	64.5	71.6	78.5	20
24 h	41.5	53.6	61.5	71.6	79.1	86.5	21

Figure 10-8 : Quantité des précipitations en période de retour (mm) à la station de Matagami

Les effets du changement climatique sur les quantités de précipitations susmentionnées sont ensuite pris en compte en fonction d'un facteur recommandé par le gouvernement (actuellement 10 %).

10.2 DONNÉES TOPOGRAPHIQUES

Les écoulements de surface sont fortement influencés par la topographie, les conditions du sol et l'utilisation des terres. Les zones géographiques étudiées (Chemin de fer BDH et Chemin de fer Grevet-Chapais) sont situées dans la région subarctique du Canada, où la période d'écoulement maximal se produit au printemps. Cette région est parsemée de milliers de lacs, de cours d'eau et de marécages. Bien que le sol de la région soit relativement saturé,

les écoulements de surface sont plus importants. Cependant, l'écoulement ralentit en raison de la topographie relativement plate et de l'influence des lacs et des marécages.

Les cartes topographiques numériques produites par Ressources naturelles Canada (RNCan) sont conformes au Système national de référence cartographique (SNRC) du Canada. Elles sont disponibles en deux échelles standard : 1:50 000 and 1:250 000. Les cartes à l'échelle 1:250 000 seront utilisées pour la délimitation des bassins-versants, le calcul de la superficie des lacs et des marécages dans chaque bassin versant, le calcul de la pente du bassin versant et la trajectoire de l'écoulement pour chacun des bassins-versants. L'imagerie Google a été utilisée pour identifier l'emplacement et la largeur des principaux cours d'eau. En plus des données topographiques, le type de sol a été utilisé pour cette étude hydrologique en fonction de ses caractéristiques hydrologiques sur la base de la carte des sols de Chapais.

Calcul de la pente du bassin versant (méthode 85/10) :

$$S_w = 100 \left[\frac{\Delta h - h_f}{0.75(L - L_f)} \right]$$

Où :

Δh = Différence d'altitude (m) entre les points 85 % et 10 % obtenue à partir des courbes de niveau

H_f = Somme des hauteurs des rapides et des chutes d'eau entre les points 10 % et 85 % (m)

L = Longueur totale du cours d'eau principal, y compris la trajectoire d'écoulement non définie jusqu'à la tête du bassin (m)

L_f = Somme des longueurs des rapides et des chutes d'eau jusqu'à 10 % de L (m)

Tableau 10-1 : Calculs de drainage et méthode hydrologique

Élément	Critères
Conception par précipitations	<p>Pour les ponceaux:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précipitations de 25 ans à la station Matagami et à la station Chapais et • Précipitations de 100 ans à la station Matagami et à la station Chapais pour vérification <p>Pour les ponts :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Données sur les précipitations de 100 ans à la station de Matagami et à la station de Chapais
Bassin versant $\leq 25 \text{ km}^2$ Traverses régulières	<p>Méthode rationnelle : $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,00275 \times C_p \times I \times A_b$</p> <p>Où :</p> <p>$Q$: Débit de pointe (m³/s), C_p : Coefficient de ruissellement, I : Intensité des précipitations (mm/hr), A_b : Surface du bassin versant (ha)</p>
Bassin versant $> 25 \text{ km}^2$ Traverses régulières	<p>Méthode de courbe relationnelle du Soil Conservation Service (SCS) :</p> $Q_T = \frac{0.2083 \times S \times P_c}{0.5D + 0.6 T_c}$ $P_c = \frac{(X_T - 0.2E)^2}{(X_T + 0.8E)}$ $E = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$ <p>Où :</p>

Élément	Critères
	CN : Numéro de la courbe, E : Réentions potentielles (mm), X_T : Précipitations sur 24 heures correspondant à la période de retour prévue (mm), Q_T : Écoulement de pointe en T années de la période de retour prévue (m^3/s), P_c : Écoulement de surface direct (mm), S : Superficie du bassin versant (km^2), T_c : Durée de captage (h), D : Durée des précipitations excessives (hypothèse $D=0.5T_c$)
Traverses navigables	Conception avec des précipitations d'une période de retour de 2 ans
Autres considérations ³	<p>Temps de concentration:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pour $C > 0,4$: $T_c = 0,057 \times L \times A^{-0,2} \times S^{-0,1}$ Pour $C < 0,4$: $T_c = 3,26 (1,1 - C) \times L^{0,5} \times S^{-0,33}$ ($C < 0,4$) <p>Où :</p> <p>C = Coefficient de ruissellement L = longueur du cours d'eau (m) A = Surface du bassin versant (ha) S = Pente de la trajectoire d'écoulement (%)</p> <p>Remarque:</p> <ul style="list-style-type: none"> Temps minimum de concentration = 10 min. Influence des lacs et marécages : FL Coefficient de correction de l'intensité des précipitations pour le temps de concentration (tc) supérieur à 60 minutes : $F_i = 17,07 \times tc^{-0,693}$ Facteurs de changement climatique : voir les tableaux ci-dessous

Tableau 10-2 : Changement climatique à Chapais dans les années 2080

T (years)	2		5		10		20		25		50		100	
5 min	8.19	15.2%	10.94	14.7%	13.3	19.4%	15.97	25.9%	16.84	28.0%	19.83	35.2%	23.21	43.6%
10 min	11.66	15.7%	15.79	16.5%	19.16	20.9%	23.07	27.8%	24.31	29.7%	28.2	34.9%	32.52	41.1%
15 min	14.3	17.3%	19.1	18.3%	22.79	21.5%	27.1	27.5%	28.35	28.6%	31.98	30.5%	36.19	34.4%
30 min	19.21	22.2%	24.81	21.7%	28.69	22.1%	32.62	23.3%	33.75	23.1%	37.12	22.5%	40.68	22.6%
1 h	23.78	21.6%	31.02	21.1%	36.22	22.2%	41.39	23.6%	43.09	24.1%	47.82	24.3%	52.41	24.2%
2 h	28	23.5%	35.39	22.2%	40.27	21.6%	45.05	21.5%	46.34	20.8%	50.37	19.2%	54.59	18.4%
6 h	38.1	23.1%	47.52	21.5%	53.89	21.1%	60.38	21.5%	62.14	21.1%	67.63	19.9%	73.64	19.9%
12 h	45.02	22.3%	56	21.0%	63.79	21.4%	71.76	22.5%	74	22.4%	80.85	21.9%	88.26	22.3%
24 h	55.57	23.0%	69.57	21.5%	79.06	21.1%	88.71	21.5%	91.34	21.1%	99.48	19.9%	108.42	19.9%

Tableau 10-3 : Changement climatique à Matagami dans les années 2080

T (years)	2		5		10		20		25		50		100	
5 min	8.49	15.2%	11.75	17.0%	14.27	19.9%	16.42	19.0%	17.04	18.6%	19.46	19.4%	21.98	20.2%
10 min	11.97	15.2%	16.23	17.1%	19.87	19.9%	23.34	19.0%	24.41	18.6%	28.73	19.4%	33.66	20.2%
15 min	14.19	15.3%	19.63	17.1%	24.34	19.9%	28.91	19.0%	30.31	18.5%	36.03	19.4%	42.59	20.2%
30 min	17.78	15.2%	24.54	17.1%	29.65	19.9%	33.94	19.0%	35.13	18.5%	39.86	19.4%	44.7	20.1%
1 h	21.85	15.2%	30.21	17.1%	36.76	19.9%	42.44	19.0%	44.08	18.6%	50.55	19.4%	57.37	20.1%
2 h	25.5	15.2%	36.09	17.1%	45.35	19.9%	54.52	19.0%	57.38	18.6%	68.93	19.4%	82.31	20.2%
6 h	35.59	15.2%	48.6	17.1%	59.44	19.9%	69.44	19.0%	72.47	18.6%	84.54	19.4%	97.91	20.2%
12 h	40.46	15.2%	53.99	17.1%	65.42	19.9%	75.99	19.0%	79.2	18.5%	92.16	19.4%	106.66	20.2%
24 h	46.55	15.2%	61.3	17.1%	73.59	19.9%	84.66	19.0%	87.98	18.5%	101.4	19.4%	116.21	20.2%

Tableau 10-4 : Coefficient d'écoulement pour différents types de surface d'écoulement

Type de surface d'écoulement	Coefficient d'écoulement
Gare de triage	0,20 – 0,35
Zone industrielle légère	0,50 – 0,80
Zone industrielle lourde	0,60 – 0,90
Asphalte	0,50 – 0,70
Surfaces en gravier	0,60 – 0,65
Ballast (événement pluvieux de 25 ans)	0,66
Ballast (événement pluvieux de 100 ans)	0,84
Pelouses et surfaces engazonnées	0,35

La crue nominale est utilisée pour déterminer la capacité hydraulique requise des structures. Les ponceaux et les ponts ferroviaires proposés ayant une durée de vie de 50 ans, la crue nominale est basée sur la période de retour de 100 ans, car il y a environ 40 % de chances que ce niveau soit dépassé au cours de la durée de vie de la structure.

$$R = \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^Z \right] \times 100$$

Où :

RR = Probabilité de dépassement annuel, en %

TT = Période de crue de retour, année

ZZ = Durée de vie, année

10.3 FOSSÉS

Il existe différents types de fossés, tels que le fossé de crête (intercepteur), le fossé de pied de talus et le fossé de bord de voie. Tous les fossés proposés seront des canaux ouverts à écoulement trapézoïdal. Le système hydraulique des fossés se présente sous la forme d'un écoulement à ciel ouvert. La capacité hydraulique d'un fossé dépend de ses dimensions, de sa pente et de son coefficient de rugosité. Après une analyse hydrologique visant à déterminer le débit prévu pour concevoir le fossé, l'analyse hydraulique a pour but de déterminer les exigences hydrauliques du fossé afin qu'il puisse acheminer le débit prévu de manière adéquate.

La capacité d'un fossé peut être déterminée à l'aide de l'équation de Manning :

$$Q = A \times R^{2/3} \times S^{0.5} \times n^{-1}$$

Où :

Q = Capacité (m³/s)

A = Surface de la section transversale du fossé (m²)

R = Rayon hydraulique

S = Pente du fossé

N = Coefficient de rugosité

Tableau 10-5 : Exigences relatives à la conception des fossés en bordure de voie, tirées de l'AREMA MRE 1-1.2.4.2. e

Description	Critère
Profondeur minimale, mesurée à partir du bord de la ligne de fondation	600 mm (24 po)
Largeur minimale de la base, pour les fossés en terre	900 mm (36 po)
Pente minimale, pour les fossés en terre afin de minimiser la sédimentation	0,25 %
Débit nominal	Crue de 25 ans

Tableau 10-6 : Coefficient de rugosité pour divers types de doublure de fossé

Type de revêtement	Coefficient de rugosité
Béton	0,011 – 0,015
Terre	0,016 – 0,020
Gravier	0,023 – 0,036
Revêtement végétal	0,030 – 0,500

Tableau 10-7 : Vitesse maximale admissible pour divers types de doublure de fossé

Type de doublure	Vitesse
Recouvert de gazon	1,8 m/s ou 6 pi/s
Pierres (100 – 150 mm)	2,5 – 3,0 m/s ou 8 – 10 pi/s
Rochers (250 mm)	5,0 m/s ou 16,5 pi/s
Roches dures	6,0 m/s ou 20 pi/s
Asphalte	3,0 m/s ou 10 pi/s
Béton	6,0 m/s ou 20 pi/s

10.4 PONCEAUX

L'hydraulique des ponceaux prend la forme d'un écoulement sous pression et d'un écoulement en canal ouvert. Une analyse hydraulique permet de déterminer les exigences hydrauliques du ponceau pour qu'il puisse transporter de manière adéquate le débit prévu. Les exigences déterminent la taille, la forme, la pente, les conditions d'entrée et de sortie du ponceau. L'analyse hydraulique des ponceaux sera effectuée à l'aide du programme HY-8 Culvert Hydraulic Analysis Program, un logiciel développé par la Federal Highway Administration (FHWA) des États-Unis et utilisé par le ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec (MTMD) et le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec (MELCCFP) pour la gestion de l'écoulement des eaux.

Les ponceaux proposés traversant le chemin de fer BDH ainsi que les ponceaux existants traversant le chemin de fer Grevet-Chapais devront être conçus ou redessinés pour s'assurer que leur capacité hydraulique soit en mesure d'absorber l'augmentation des précipitations résultant du changement climatique.

Tableau 10-8 : Exigences minimales relatives à la conception des ponceaux

Élément	Critères
Type de ponceau	<p>Acier :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tuyaux en tôle d'acier ondulée (CSP) : diamètre variant entre 0,6 m et 2,0 m. Ponceau à tôle forte structurale en acier Bolt-a-Plate sans fond : portée comprise entre 2 et 10 mètres. Ponceau à tôle forte structurale en acier Super-Cor sans fond : portée comprise entre 10 et 25 mètres.
Débit nominal	<ul style="list-style-type: none"> Crue de 25 ans sans charge statique à l'entrée (un rapport maximal entre la charge de l'eau d'amont et le diamètre du ponceau (HW/D) de 1,0). Crue de 100 ans avec une charge d'eau maximale de 0,6 m (2 pi) sous la base du rail à l'entrée ou un rapport HW/D ne dépassant pas 1,5, la valeur la plus faible étant retenue.
Diamètre minimal du ponceau ⁶	<ul style="list-style-type: none"> 600 mm (24 po) pour les voies principales. 450 mm (18 po) pour les autres voies.
Hauteur minimale de la couverture ⁷	Minimum 300 mm (12 po) entre le haut du ponceau CSP et le bas des traverses (1 200 mm selon les normes du CN).
Espacement minimal autorisé entre les ponceaux parallèles ⁸	<ul style="list-style-type: none"> 0,3 m (12 po) (pour les ponceaux de 600 mm (24 po) de diamètre et moins). 0,5 D (pour les ponceaux de 600 mm (24 po) à 1 800 mm (72 po) de diamètre). 0,9 m (36 po) (pour les ponceaux de 1 800 mm (72 po) de diamètre et plus). où D = Diamètre du ponceau.
Considérations de conception pour le passage des poissons ⁹	<p>À utiliser : ponceau à plaque structurale sans fond.</p> <p>Si un ponceau à plaques structurales CSP sans fond est utilisé, alors,</p> <ol style="list-style-type: none"> Le fond du CSP est enterré sous le lit de la rivière à une hauteur de 10 % de son diamètre. La profondeur minimale de l'eau au fond d'un CSP est de 200 mm. La chute maximale à la sortie du CSP est de 300 mm. La vitesse d'écoulement autorisée dans le ponceau : <ul style="list-style-type: none"> Pour un ponceau de longueur ≤ 25 m : 1,2 m/s Pour un ponceau de longueur > 25 m : 0,9 m/s Si la largeur de l'écoulement est réduite de 20 à 50 % par le ponceau <ul style="list-style-type: none"> Pour un ponceau de longueur ≤ 25 m : 1,0 % de pente maximale du ponceau Pour un ponceau de longueur > 25 m : 0,5 % de pente maximale du ponceau
Épaisseur minimale du ponceau CSP	2 mm
Fondation du ponceau CSP	<ul style="list-style-type: none"> Largeur : D/3, où D = Diamètre du CSP Épaisseur : 150 mm à 450 mm en fonction du diamètre du CSP

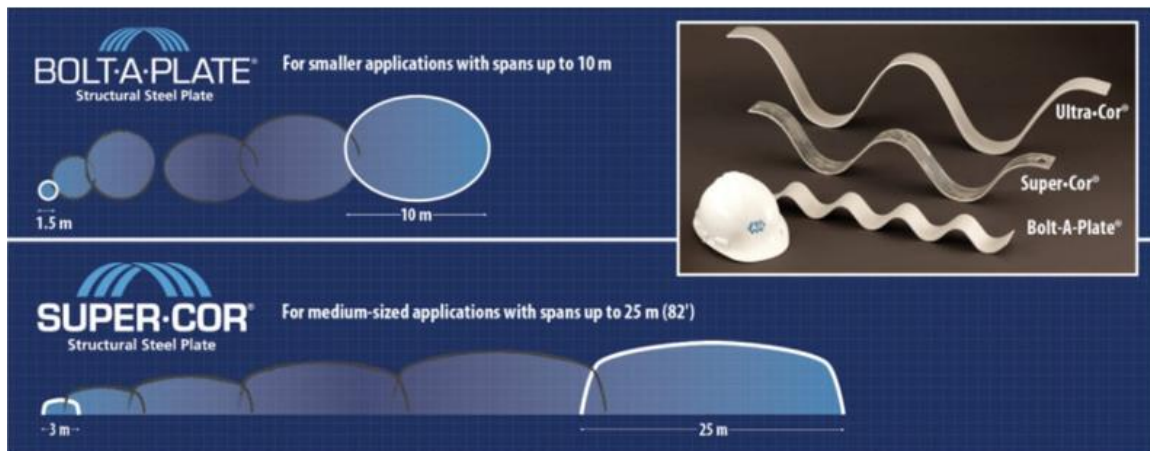


Figure 10-9 : Types de ponceaux structurels en tôle d'acier

Tableau 10-9 : Tailles des enrochements de protection contre l'érosion

Type d'enrochement	Épaisseur	Taille de l'enrochement	Vitesse maximale admissible
1	300 mm 12 po	200 – 0 mm 8 – 0 po	2,0 m/s 6,5 pi/s
2	300 mm 12 po	200 – 100 mm 8 – 4 po	2,3 m/s 7,5 pi/s
3	500 mm 20 po	300 – 200 mm 12 – 8 po	2,8 m/s 9,2 pi/s
4	700 mm 28 po	400 – 300 mm 16 – 12 po	3,2 m/s 10,5 pi/s
5	800 mm 32 po	500 – 300 mm 20 – 12 po	3,4 m/s 11,2 pi/s

10.5 EFFETS DES DIGUES DE CASTOR SUR L'ÉCOULEMENT DES ZONES HUMIDES SUBARCTIQUES

Les barrages de castor peuvent modifier les écoulements dans les zones humides subarctiques de façon temporaire, spatiale et à des degrés variables, et ce, en fonction de leur géométrie, de leur type et de leur classe. En général, les barrages récemment construits et bien entretenues ont les effets les plus importants, car elles provoquent l'écoulement de l'eau retenue des berges du ruisseau vers les zones humides environnantes, tandis que les barrages en mauvais état retiennent peu d'eau et ne dérivent aucune eau vers les zones humides. Pendant les périodes d'étiage, les barrages de type « à débordement » et « à écoulement dans un col » détournent beaucoup d'eau vers la zone humide, contrairement aux barrages de type « à sous-verse » et à celles « à écoulement traversant ». En périodes de haut débit, les digues à débordement et à écoulement dans un col continuent de détourner l'eau vers la zone humide, tout comme le type à sous-verse. De plus, les bassins avec des barrages de castors ont un flux d'évaporation accru, un débit sortant réduit, un flux d'eau souterraine réduit et un stockage augmenté par rapport aux bassins sans barrages de castors.

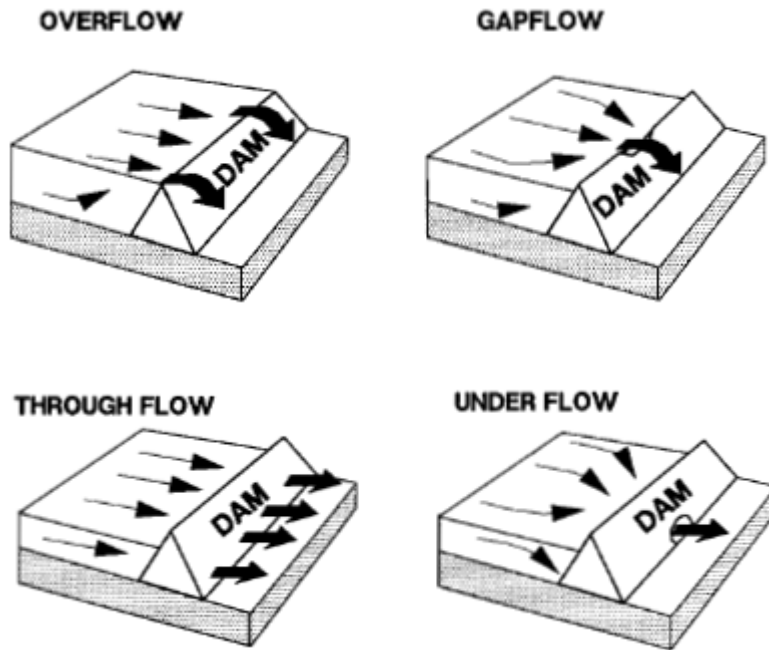


Figure 10-10 : Types de digues de castor



Signalisation et communication

11. SIGNALISATION ET COMMUNICATION

11.1 TERMINOLOGIE

Dans le but de clarifier la terminologie utilisée dans cette section, ce paragraphe passe en revue des technologies de pointe des systèmes de contrôle des trains au Canada. Les systèmes de signalisation décrits ci-dessous sont définis en détail dans le rapport TP 13105E de Transports Canada.

Définitions :

Canton : Longueur de voie aux limites définies, dont l'utilisation par un train ou une locomotive est régie par des signaux de canton, des signaux de cabine, ou les deux.

Signal de canton : Signal fixe placé à l'entrée d'un canton pour régir l'entrée ou l'utilisation d'un train ou d'une locomotive dans ce canton.

Supervision : Supervision du mouvement des trains ou des locomotives par les répartiteurs du centre de commande des opérations (OCC), qui donnent des instructions au besoin.

Balise : Transpondeur passif qui transmet aux trains qui passent sa position exacte par radio.

Aiguillage à double commande : Aiguillage équipé pour les opérations motorisées, également équipé pour les opérations manuelles. Sauf dans les cas prévus par la règle, un aiguillage à double commande ne doit pas être manœuvré à la « main » sans l'autorisation du répartiteur du centre de commande des opérations (CCO) ou du préposé aux signaux.

Les méthodes de contrôle des trains suivantes sont les suivantes :

Territoire non signalisé : Une ligne régie par le Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada.

- Les répartiteurs délivrent les autorisations de circuler et gèrent les autorisations et les permis conformément au règlement d'exploitation ferroviaire. Dans les systèmes avancés sans signalisation (CMBS/CAMBS/ROV), les répartiteurs sont assistés par un logiciel au CCO afin de surveiller les mouvements des trains. Ce logiciel offre une protection contre les conflits entre les trains et élimine les erreurs humaines du répartiteur.
- Cette méthode permet aux répartiteurs de s'appuyer sur les informations de localisation fournies par le conducteur du train à des points kilométriques spécifiques pour localiser les trains. De même, le répartiteur s'appuie sur les informations fournies par le contremaître d'entretien de la voie pour protéger le personnel et les véhicules d'entretien de la voie.

Territoire signalisé — Système de cantonnement automatique ou de block automatique (BA) : Une série de cantons consécutifs qui sont régis par des signaux de canton, des signaux de cabine, ou les deux, dans lesquels les règles du cantonnement automatique sont appliquées.

- Les signaux de canton sont activés automatiquement lorsque le canton est occupé par un train ou une locomotive, ou lorsque d'autres conditions affectent l'utilisation du canton. Lorsque les signaux du cantonnement automatique sont retirés du service, les trains et les locomotives sont régis par les ordres de marche, le bulletin de marche (BM) ou des instructions spéciales.
- La ligne ferroviaire est dotée de circuits de voie qui détectent l'état d'occupation de la voie dans certains cantons. La longueur des cantons varie de 2 à 10 km selon la technologie des circuits de voie. Seules certaines sections de la ligne sont divisées en cantons, généralement au niveau des gares et des voies d'évitement.
- Lorsqu'un train ou un véhicule d'entretien de la voie est détecté dans un canton, le circuit de voie envoie l'information à un système d'enclenchement qui contrôle les signaux permettant au dispatcheur de commander

les aiguillages et de définir les itinéraires, autorisant la circulation des trains et empêchant les trains de se rencontrer dans le canton.

Territoire signalisé — Système de commande centralisée de la circulation (CCC) : Un système ou la règle de la CCC s'applique.

- Lorsque la CCC est prévue dans l'indicateur ou dans les instructions spéciales, les trains et les locomotives sont régis par des signaux de canton, des signaux de cabine, ou les deux, et en référence aux trains et locomotives circulant sur la même voie, qu'ils soient en sens inverse ou qu'ils les suivent.
- La ligne ferroviaire est équipée de circuits de voie installés tout au long de la ligne pour détecter l'occupation des cantons. La longueur du canton varie de 2 à 5 km, en fonction de divers paramètres tels que la charge du train, la vitesse autorisée et la distance d'arrêt maximale. Les répartiteurs situés au centre de commande des trains établissent les itinéraires, contrôlent la circulation des trains et les positions des aiguillages sur l'ensemble de la ligne. Les signaux en bordure de la voie ou en cabine fournissent au train des indications et des informations sur l'état des voies en amont.
- Les trains n'ont accès à un canton que lorsque le train qui les précède a quitté ce canton ou le canton suivant, selon les règles d'exploitation. Les circuits de voie transmettent leurs informations à un système d'enclenchement qui contrôle les signaux et permet au répartiteur de commander les aiguillages et d'établir les itinéraires. Les mouvements et les vitesses des trains sont dictés par les indications des signaux installés le long des voies ou affichés dans la cabine du conducteur. Ces signaux revêtent plusieurs aspects et sont souvent très élaborés. Les chefs de train doivent respecter les indications des signaux scrupuleusement et à tout moment. Les lignes avec un système de CCC peuvent également être équipées d'un système de protection automatique des trains (ATP) pour faire respecter les limitations de vitesse et procéder à un freinage d'urgence (si nécessaire), ce qui renforce la sécurité opérationnelle.

Territoire signalisé — Système de cantonnement mobile : Ce système repose sur la communication de données entre les trains et le centre de commande des opérations pour autoriser la circulation des trains.

- La ligne ferroviaire n'est pas divisée en cantons. Les répartiteurs situés au CCO établissent les itinéraires des trains, contrôlent les mouvements des trains et les positions d'aiguillage sur l'ensemble de la ligne. Le train calcule sa position à l'aide d'odomètres en cabine et de balises installées le long des voies et l'envoie en temps réel au CCO.
- Le logiciel installé au CCO détermine les distances de sécurité des trains en fonction de leur longueur, de leur vitesse et de leur direction, de la géométrie de la voie, des distances de freinage sûres et des caractéristiques d'arrêt, et ce, en fonction de la position réelle de tous les trains. Un système d'enclenchement contrôle et commande les aiguillages en fonction des itinéraires des trains établis par le répartiteur. Ce principe d'exploitation est appelé cantonnement mobile, par opposition au cantonnement fixe utilisé avec les méthodes de cantonnement automatique et de commande centralisée.
- Les mouvements et les vitesses des trains sont dictés par les informations affichées dans la cabine de conduite en fonction des communications de données avec le CCO. Les chefs de train respectent à tout moment les indications affichées dans la cabine et les trains peuvent être équipés d'un système de protection automatique des trains pour faire respecter les limites de vitesse et procéder à un freinage d'urgence (si nécessaire), ce qui renforce la sécurité opérationnelle. Ce système est capable de répondre à un trafic élevé et de réduire les temps d'attente, augmentant ainsi l'efficacité de l'exploitation des trains.

Aucune de ces technologies ne repose uniquement sur la localisation par GPS pour déterminer la position des trains, car cette technologie n'est ni suffisamment sûre ni suffisamment précise pour l'exploitation des trains. En revanche, de nombreux systèmes utilisent le GPS pour venir compléter les circuits de voie et les systèmes odométriques, fournissant ainsi aux répartiteurs des informations supplémentaires non vitales sur le positionnement des trains.

Le tableau ci-dessous énumère les options et les caractéristiques des composants de télécommunications à développer dans le cadre de l'étude de faisabilité.

Tableau 11-1 : Composants du système de signalisation

Composant	Options	Caractéristiques
Système de contrôle des trains	Système sans signalisation (commandes de train manuelles ou assistées par ordinateur ou système de commande de train par radio)	Système qui rend les opérations plus lentes et plus difficiles. La sécurité de la circulation des trains dépend de la capacité du système à éviter les erreurs humaines et les décisions erronées au niveau des répartiteurs.
	Système de cantonnement automatique ou de block automatique (BA)	Système qui s'adapte au nombre de trains par jour.
	Système de commande centralisée de la circulation avec signaux en bordure de la voie	Système qui nécessite d'équiper la ligne ferroviaire d'une infrastructure lourde composée de signaux et de circuits de voie. Adapté pour un trafic à haut volume.
	Système de commande centralisée de la circulation avec signalisation en cabine	Système qui nécessite d'équiper toute la ligne avec des circuits de voie et tout le matériel roulant et les véhicules d'entretien de la voie avec des ordinateurs de bord. Adapté pour un trafic à haut volume.
	Système de signalisation à cantonnement mobile	Système qui nécessite d'équiper tous les trains et véhicules d'entretien de la voie. Empêche les autres usagers non équipés d'utiliser la ligne principale. Adapté pour un trafic à haut volume.
Commande des aiguillages	Commande manuelle des aiguillages.	Commande qui nécessite une intervention humaine à chaque aiguillage, ce qui réduit la fluidité de l'exploitation.
	Aiguillages à double commande contrôlés et verrouillés à partir du CCO.	Système qui s'adapte aux besoins de l'exploitation ferroviaire. Assure la fluidité du mouvement et de l'exploitation. Nécessite l'installation d'aiguillages motorisés avec souffleries d'air froid, de signaux en bordure de voie et de circuits de voie locaux pour empêcher le déplacement des aiguillages.
Unité de queue de train	Utilisée par l'opérateur pour assurer l'intégrité du train.	Norme de l'industrie.
Système de contrôle du trafic	Surveillance des mouvements du matériel roulant par système GPS.	Système d'affichage en temps réel des positions du matériel roulant et des véhicules d'entretien de la voie dans le CCO qui n'est pas fiable, mais qui fournit des informations non vitales aux répartiteurs, mais supplémentaires quant à l'occupation des circuits de voie ou les systèmes d'odomètre.
	Circuits de voie	Affichage en temps réel de l'occupation des cantons dans le CCO.
Équipement de sécurité	Détecteurs de boîtes chaudes	Emplacements à déterminer selon les pratiques de l'industrie*.
	Détecteurs d'écartement de rails	Circuits de voie qui permettent de détecter les écartements de rail, mais qui ne détectent pas tous les types

Composant	Options	Caractéristiques
		d'écartements de rail, notamment les écartements de champignon du rail.
	Détecteurs de défauts de roues (WILD)	Emplacements à déterminer en conformité avec l'association des chemins de fer américains AAR*.
	Détecteurs de pièces traînantes	À installer avec des détecteurs de boîtes chaudes/roues. *
	Appareil de pesage en marche (WIM)	Pour identifier les chargements irréguliers de wagons. *
	Détecteur de chutes de pierres/d'avalanches (alarme anti-intrusion)	Emplacements à déterminer selon les pratiques de l'industrie, par exemple les entrées de tunnel*. Les détecteurs seront placés dans les tranchées profondes où les résultats géotechniques indiquent un risque plus élevé d'éboulement ou d'instabilité des talus.
	Système de détection acoustique de roulements	Pour identifier la détérioration potentielle des roulements de roue avant l'utilisation du détecteur de boîtes chaudes.
Identification des équipements	Lecteurs d'étiquette IEA (identification automatique des équipements)	Pour faciliter l'identification de wagons spécifiques.
Passages à niveau	Panneaux de signalisation des passages à niveau	Panneau d'indication
	Passage à niveau actif sans barrière	Produit vectoriel $\geq 1\ 000$
	Passage à niveau actif avec barrière	Produit vectoriel $> 50\ 000$

(*) Un lecteur IEA connecté au détecteur permettra d'identifier le wagon dont le composant est défectueux. Le détecteur sera connecté à un dispositif mobile VHF qui transmettra l'information de tout composant défectueux au mécanicien de locomotive et au répartiteur. Un message de données sera également envoyé.

(**) Les détecteurs de pesage en marche seront connectés à un lecteur IEA et le système de pesage en marche sera conçu pour permettre l'identification des wagons surchargés et/ou le chargement mal équilibré des wagons d'un côté ou d'un bout. Les détecteurs WIM enverront l'information par message de données au superviseur du chargement.

Certains des détecteurs d'équipements de sécurité énumérés ci-dessus pourraient être regroupés ensemble dans un détecteur « Supersite ». Un Supersite est un système complet de surveillance par capteurs multiples pour la détection et la mesure des roulements et des défauts de la surface de roulement des roues. Le système Supersite comprend un détecteur acoustique de roulements, un détecteur de l'état des roues, la géométrie du véhicule et du bogie, la localisation, le poids du véhicule et le profil de la roue : toutes ces données sont intégrées par le biais d'un logiciel afin de fournir un système d'intelligence totale en bordure de la voie.

11.2 TÉLÉCOMMUNICATIONS

Le système de télécommunication doit permettre d'établir en permanence un lien de communication entre le répartiteur, les équipes de train et le personnel d'entretien.

Ce système doit répondre à deux objectifs :

- Couvrir tous les besoins de l'exploitation ferroviaire,

- Assurer la sécurité du personnel en tout lieux, y compris dans les tunnels.

L'opérateur doit soumettre une demande de fréquences radio au Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes (CRTC). Cette demande comprendra le nombre de canaux radio nécessaires, qui dépend du nombre d'équipes de train et d'entretien de la voie.

Dans le cas où le câble à fibre optique est retenu comme réseau de transmission du chemin de fer, une partie du câble pourrait servir de système de télécommunication de secours à FLNA. Ce système fournirait un moyen de transmission d'urgence en cas de dysfonctionnement du système de télécommunication primaire dédié à FLNA.

Le tableau ci-dessous présente les options et les caractéristiques des composants de télécommunications à développer dans le cadre de l'étude de faisabilité.

Tableau 11-2 : Options et caractéristiques des composants

Composant	Options	Caractéristiques
Dorsale de transmission de base	Câble à fibre optique installé le long de l'emprise	Fiabilité, résilience et excellentes performances techniques. Système adaptable aux exigences opérationnelles ferroviaires.
		Câble enterré ou câble aérien sur les poteaux électriques.
		Câble posé pendant la construction de la voie.
	Câble unique : nombre de fibres min. 24 fibres.	
	Micro-onde	Nécessite la construction de tours pour relier les sites. Moins fiable et sensible aux conditions météorologiques.
Dorsale de transmission de secours	Câble à fibre optique installé le long de l'emprise	Assure une redondance totale.
	Micro-onde	Assure une redondance totale.
	Téléphones satellites	Système limité, car des transpondeurs satellitaires seraient nécessaires pour les endroits où il n'y a pas de signaux, p. ex. les tunnels.
Technologie de transmission	Réseau optique synchrone	> 100 Mb/s par direction
	Ethernet	> 100 Mb/s par direction
Technologie radio	Réseau de téléphonie mobile dédié : GSM-R, TETRA ou PTC	Système complexe plus adapté aux métros et aux chemins de fer à haute densité.
	Réseau cellulaire	Non disponible sur les emprises.
	Communication par satellite	Système à faible bande passante. Une visibilité directe entre les terminaux et le satellite est nécessaire. Service dans les tunnels à analyser.
	Réseau numérique VHF	<ul style="list-style-type: none"> • Système adaptable aux exigences opérationnelles ferroviaires avec mise à disposition de plusieurs canaux et fréquences radio. Le réseau VHF sera robuste grâce à une redondance appropriée des équipements. • La VHF analogique n'est pas prise en compte vu l'obsolescence prévue à court terme de cette technologie.
Infrastructure radio terrestre	Environnement aérien	Tours, antennes et guides d'ondes placés à proximité de l'emprise.
	Dans les tunnels	Câbles rayonnants (fuyants). Redondance nécessaire.
Infrastructure par satellite	Environnement aérien	Néant
	Dans les tunnels	À explorer.
Disponibilité de la radio	Aérien, dans un rayon minimum de 200 m de l'emprise.	Étude de couverture radio à réaliser.

Composant	Options	Caractéristiques
	À l'intérieur des tunnels, à moins de 10 m de l'entrée des tunnels.	Étude de couverture radio à réaliser.

11.3 GUÉRITE ET ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Les équipements de signalisation et de télécommunication doivent être installés dans des bungalows qui seront maintenus à une température stable, compatible avec le fonctionnement des équipements électroniques. Ces bungalows doivent disposer d'une alimentation électrique de secours.

Tableau 11-3 : Exigences relatives aux guérites de signalisation

Composant	Options	Caractéristiques
Entreposage des équipements	Chauffage, climatisation, ventilation	Obligatoire
	Dimensions	Maximum 2,4 m X 2,4 m (8' X 8')
	Emplacement	Loin des pylônes radio afin d'éviter les dommages causés par les chutes de glace.
	Sécurité	Protection contre le vandalisme et le vol.
Sources d'énergie électrique	Alimentation principale sans source externe	Génératrice diesel
	Alimentation principale avec source externe	Transformateur électrique
	Tensions fournies	À analyser selon les normes et pratiques de l'industrie.
	Alimentation de secours sans source externe	Génératrice diesel de secours identique à la principale, équipée d'un mécanisme de commutation automatique.
	Alimentation de secours avec source externe	Génératrice diesel de secours équipée d'un mécanisme de commutation automatique.
	Réservoirs de carburant	<ul style="list-style-type: none"> • Protégés contre les intrusions. • Dimensions permettant d'assurer un approvisionnement de 6 mois en toute saison. • Wagon dédié à l'approvisionnement des réservoirs en carburant. • En l'absence d'alimentation électrique externe, les deux génératrices sont équipées de réservoirs identiques.



Géométrie des routes

12. VOIES D'ACCÈS

12.1 INTRODUCTION

Les voies d'accès sont définies comme des routes situées à l'intérieur de la propriété du chemin de fer et utilisées exclusivement par le personnel autorisé. Les éléments d'une voie d'accès comprennent la chaussée, les accotements, les remblais, les fossés et les déblais. Ces éléments se trouvent dans l'emprise de la voie d'accès et sont illustrés dans la figure suivante.

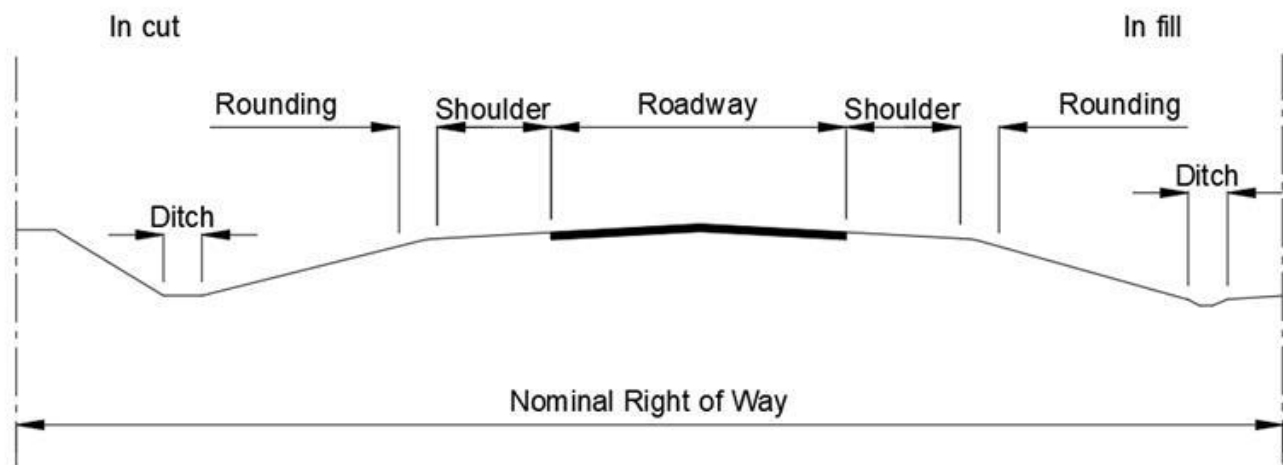


Figure 12-1 : Profil transversal d'une voie d'accès

12.2 STRUCTURE DES ROUTES

Lors de la construction d'une chaussée, la première étape est le terrassement, à savoir l'excavation et le remblayage. Le remblai est la partie des travaux de terrassement exécutée avec les matériaux provenant des déblais, des excavations, des fossés ou des emprunts latéraux de terre et placés sous la ligne d'infrastructure selon le profil de la route.

Pendant les travaux, les matériaux excavés peuvent être réutilisés comme remblai en tenant compte des caractéristiques suivantes :

- Nivellement de la route
- Teneur en eau naturelle
- Limite de liquidité et de plasticité
- Teneur en matière organique

En ce qui a trait aux talus de déblai ou de remblai, le volume II des tableaux du Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec (MTMD) seront utilisés pour s'assurer que les pentes des talus ne sont pas trop accentuées.

- Talus de déblai : tableau 1.4-1 du chapitre 1, p. 2, du Tome II
- Talus de remblai : tableau 1.5-1 du chapitre 1, p. 2 du Tome II

Une étude géotechnique devra être réalisée pour déterminer les paramètres des sols en place, connaître l'épaisseur de la terre végétale et la profondeur du roc.

En ce qui a trait à la structure de la chaussée, les critères de conception seront établis en fonction des normes du **chapitre 2 du tome II du MTMD et leur logiciel de conception des chaussées intitulé Chaussée 2**.

La structure de la route sera composée de :

- MG-112 : épaisseur minimale de 600 mm
- MG-20 : épaisseur minimale de 300 mm

Ces épaisseurs devront être validées lors de l'étude géotechnique, car si les sols en place ont une faible capacité portante, une augmentation de l'épaisseur des couches granulaires sera calculée. De plus, en raison du pourcentage élevé de camions lourds qui circuleront sur ces voies d'accès (pendant la construction), un calcul sera alors produit selon le **tableau 2.5-4 du chapitre 2 du tome II du MTMD**.

Pour les secteurs où les routes seront construites en déblai, la structure de la chaussée sera alors établie selon la **section 2.5.2 du chapitre 2 du tome II du MTMD**.

Pour le profil en travers des voies d'accès, la conception sera établie selon les critères de conception du Volume I du MTMD. Lors de la conception des voies d'accès, les points suivants seront analysés :

- Le tracé du profil
- La distance de visibilité
- L'inversion de courbe
- Les intersections plates
- Les routes à faible courant de circulation.

En ce qui a trait à la conception des ponceaux de moins de 3 m de diamètre qui seront installés sous les chemins d'accès, les critères de conception seront établis selon les normes du **tome III, Chapitre 4 du MTMD et suivront les Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec, avec ou sans poissons**.

Le choix des ponceaux reposera sur les considérations suivantes :

- Hydrauliques, pour assurer un drainage adéquat et le libre passage des poissons
- Géotechniques et structurelles
- Environnementales
- Géométriques (selon le profil de la route)
- Économiques (pour minimiser les coûts de construction et d'entretien)

La conception des ponceaux doit également reposer sur une durée de vie de plus de 50 ans.

En ce qui a trait aux systèmes de retenue (glissières de sécurité à la chaussée), les critères de conception seront établis selon le tome VIII du MTMD. La sélection des dispositifs de retenue est basée sur les paramètres suivants :

- La performance de sécurité ciblée et la capacité de retenue
- Les particularités de chaque site
- Les caractéristiques des dispositifs de retenue
- Les installations
- Les coûts d'investissement et d'entretien à long terme

13. PRÉSENTATION DES BÂTIMENTS

13.1 OBJECTIF ET CHAMPS D'APPLICATION

Le plan de développement de la phase 1 comprend la construction de :

- Gares ferroviaires de voyageurs à quatre endroits : Matagami, Waskaganish, Waswanipi, Chapais.
- Bâtiment d'entretien de la voie et bâtiments de manutention en vrac à Waskaganish
- Bâtiment d'entretien de la voie à Matagami
- Bâtiment d'entretien de la voie et de train et bâtiments de manutention en vrac à Chapais

Cette section décrit les critères relatifs à l'architecture, aux installations mécaniques, électriques et de plomberie, et aux structures de ces bâtiments et doit être lue comme un complément aux autres sections de ce document.

13.2 ABRÉVIATIONS

Tableau 13-1 : Abréviations

Acronyme	Abréviation de
MOW	Maintenance of Way (Entretien de la voie)
BOH	Back of House (Espace opérationnel)
MEP	Mécanique, électricité et plomberie
HVAC	Chauffage/Ventilation/Climatisation

13.3 CODES ET NORMES

13.3.1 Hiérarchie des normes

La hiérarchie suivante doit s'appliquer :

- Codes de construction provinciaux et canadiens.
- Normes de conception pertinentes.
- Autres documents d'orientation référencés ou domaines d'expertise identifiés pour ce projet.

13.3.2 Codes et normes à caractère général

Les codes et normes applicables sont les suivants :

- CCQ, CNB Canada 2 015 mod. Qc, CNÉB Canada 2015 mod. Qc, CNP 2015 mod. Qc, CSA C22.10-18, CSA B651-18, CSQ, NFCC 2 010 mod. Qc, NFPA 130-2020, RQMT, RSST, Loi sur les transports

13.3.3 Architectural

Composition

Ces stations (Matagami, Waskaganish, Waswanipi, Chapais) pourraient être organisées selon les schémas suivants :

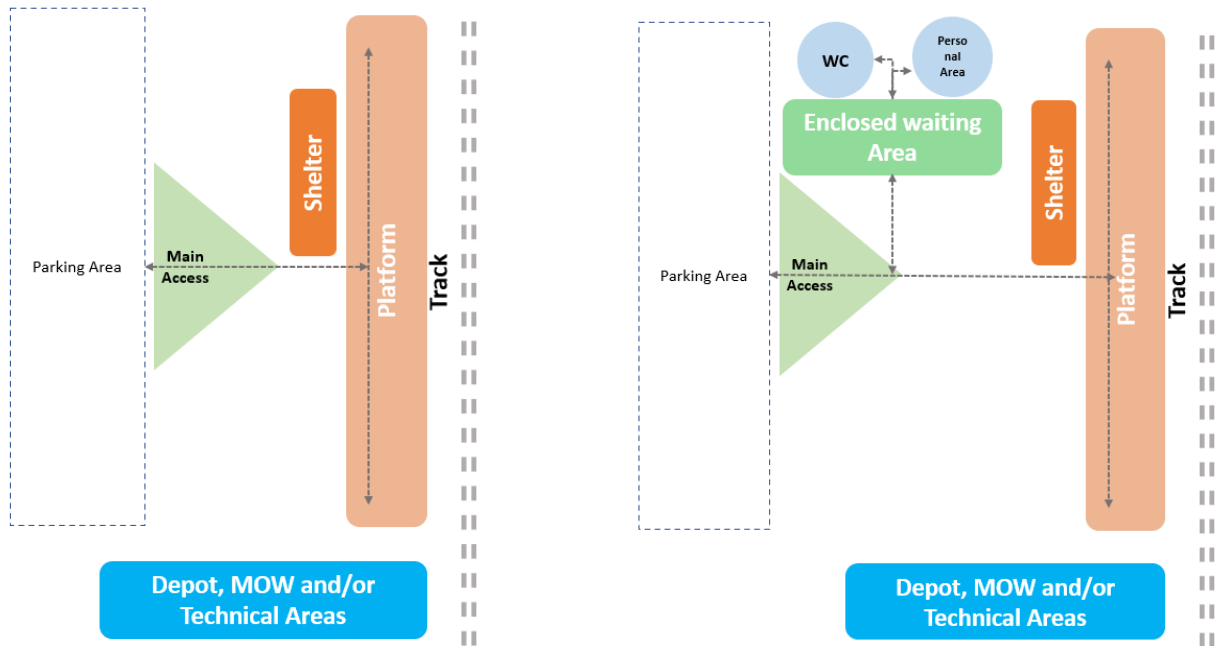


Figure 13-1 : Option : Quai de train + abri et aire de stationnement / Option : Quai de train + abri, aire de stationnement et aire d'attente fermée sur le côté.

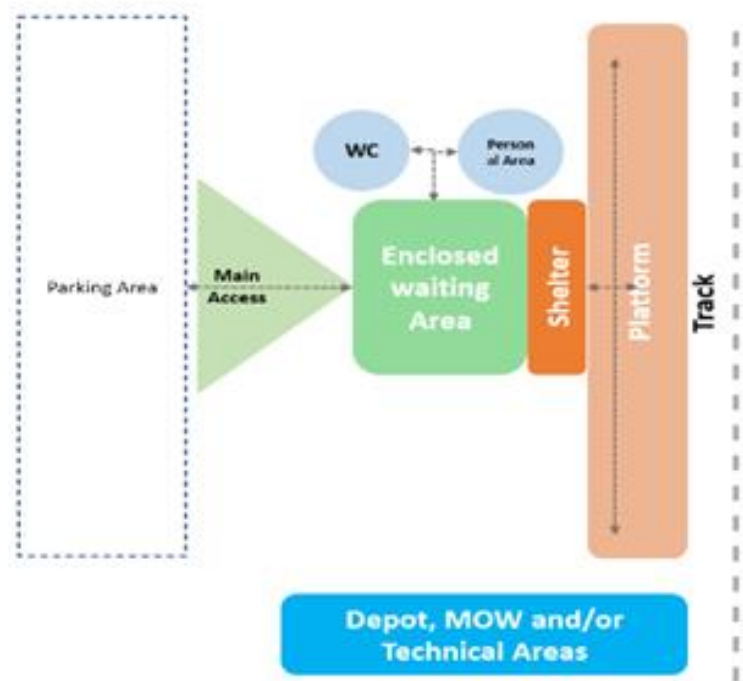


Figure 13-2 : Option : Quai de train + abri relié à une aire d'attente fermée + aire de stationnement et autres bâtiments

Selon les exigences opérationnelles et d'entretien de chaque installation.

Dimensionnement et circulation

Stations :

- **Planification et dimensionnement** : Les stations doivent être planifiées et dimensionnées pour répondre aux prévisions à long terme concernant les flux de voyageurs et l'évolution démographique des utilisateurs.

13.4 MEP

13.4.1 Mécanique

13.4.1.1 Système CVC

- Les conditions environnementales internes doivent être définies pour les saisons d'été et d'hiver.

En résumé, les conditions internes à prendre en compte dans la conception sont les suivantes, sous réserve de spécifications différentes au cours de l'élaboration de la conception :

Tableau 13-2 : Résumé des conditions internes pour le système CVC

Espace	Chauffage (saison d'hiver)	Refroidissement (saison d'été)	Ventilation
Espace intérieur de la station (selon les besoins)	15 °C	S. O.	Delta de 3 °C par rapport à la température extérieure en été (la temp. ext. max. est de 30 °C)
Locaux électriques	15 °C max	S. O.	Temp. + 5 °C (max.+ 35 °C)
Ateliers d'entretien des voies et autres ateliers	15 °C max	S. O.	Temp. + 5 °C (max. + 35 °C)
Bureaux	23 °C (20-50 % HR)	25 °C (20-50 % HR)	S. O.
Tous les espaces	Tous les espaces doivent être protégés contre le gel et conformes aux exigences opérationnelles et d'entretien.		

13.4.1.2 Mécanique générale

De plus, les systèmes mécaniques de traitement pour les installations ferroviaires et les bâtiments comprennent les éléments suivants : alimentation des locomotives, air comprimé et systèmes de stockage, de distribution et d'attribution de fluides.

Des systèmes mécaniques de traitement doivent être fournis pour répondre à l'utilisation prévue pour chaque zone fonctionnelle de travail.

13.4.2 Systèmes de plomberie

13.4.2.1 Assainissement

L'assainissement dans les bâtiments doit être calculé en tenant compte des exigences suivantes :

- Les eaux sanitaires en fonction du type et du nombre d'équipements sanitaires (lavabos, toilettes, etc.) prévus à chaque installation.
- Les drainages et évents sanitaires hors-sol de 80 mm et plus : en fonte de classe 4000.
- Les drainages et évents sanitaires hors-sol de 65 mm ou moins : tuyaux de drain, de renvoi et d'évent en cuivre.
- Des raccords et des tuyaux de drainage avec un diamètre d'au moins 40 mm.
- Les évents doivent être isolés sur les 3 derniers mètres à l'intérieur de la partie chauffée.
- Les tuyaux de drainage et les évents pour les parcours horizontaux doivent avoir une pente dans le sens du flux.
- Les systèmes de drainage doivent être conçus de manière à éviter les pentes inversées et/ou les points bas.

13.4.2.2 Évacuation des eaux pluviales

Le réseau pluvial doit être planifié en fonction de la configuration du bâtiment.

La tuyauterie d'évacuation des eaux pluviales doit répondre aux exigences suivantes :

- Eaux pluviales dont l'intensité est conforme aux normes d'Environnement et Changement climatique Canada.
- Hors-sol de 80 mm et plus : tuyaux en fonte de classe 4000.
- Hors-sol de 50 mm ou moins : tuyaux de drain, de renvoi et d'évent en cuivre.
- Parties enfouies : tuyaux en PVC autorisés, mais il convient de se référer aux exigences locales pour leur utilisation.

- Toute la tuyauterie d'évacuation des eaux pluviales doit être isolée. Toute la tuyauterie exposée à l'intérieur du bâtiment doit être recouverte d'un revêtement constitué d'une enveloppe moulée en PVC préfinie et lavable.
- Chaque bassin de toiture sera équipé d'au moins un drain pluvial et d'un drain d'urgence.
- Le plan d'installation de tuyauterie sera conçu de manière à être dissimulé.
- La charge hydraulique en litres d'un toit ou d'une surface pavée correspond à la hauteur maximale de précipitations sur 15 minutes déterminée conformément à la sous-section 1.1.3. de la division B du CNB.

13.4.2.3 Approvisionnement en eau à usage domestique

Le tuyau d'alimentation en eau du bâtiment doit être équipé d'un dispositif anti-refoulement, de vannes d'isolation, d'un compteur d'eau, d'un manchon et de tous les accessoires nécessaires à une installation complète et fonctionnelle.

La tuyauterie du système d'eau à usage domestique installée à l'intérieur des bâtiments doit répondre aux exigences suivantes :

Tuyauterie hors sol :

- Cuivre de type L avec joints soudés 95/5
- Acier inoxydable schedule 40 avec joints soudés

Tuyauterie enfouie :

- Cuivre de type K avec joints soudés à l'argent (tuyaux jusqu'à 80 mm)
- Fonte ductile avec joints mécaniques (tuyauterie de 100 mm et plus)

Toute la tuyauterie d'eau froide et d'eau chaude à usage domestique doit être isolée. Toute la tuyauterie exposée à l'intérieur du bâtiment doit être recouverte d'un revêtement constitué d'une enveloppe moulée en PVC préfinie et lavable.

13.4.3 Systèmes d'extinction d'incendie

La construction d'un bâtiment doit répondre aux exigences du Code de construction du Québec. La conception et l'installation des extincteurs portatifs doivent respecter les exigences de la norme NFPA 10.

13.4.3.1 Tuyaux d'alimentation en eau

Les tuyaux d'alimentation en eau des gicleurs seront combinés à ceux de l'eau à usage domestique.

La taille des tuyaux enfouis et la validation de la nécessité de l'installation d'une pompe à incendie devront être validées par des calculs hydrauliques selon le système le plus exigeant.

Une pompe à incendie est à prévoir en fonction de la nature des usages, de la surface et de la hauteur du bâtiment. Toutefois, des essais de débit des bornes d'incendie devront être effectués sur les tuyauteries principales du réseau d'eau et comparés aux exigences des différentes installations d'extincteurs automatiques à eau pour valider la nécessité d'une pompe à incendie.

13.4.3.2 Gicleurs automatiques

Dans les bâtiments futurs, l'installation et la conception des systèmes d'extincteurs automatiques à eau devront répondre aux exigences du CCQ et de la norme NFPA 13.

Le bâtiment doit être équipé de tuyaux d'incendie. La conception du réseau d'eau d'incendie doit être conforme aux exigences du CCQ et de la norme NFPA 14. En général, les têtes d'extincteur de 2 1/2" sont installées dans les cages d'escaliers de sortie. Si une pompe d'incendie est nécessaire pour répondre aux besoins de différents

systèmes d'extinction automatique, la conception du réseau de tuyaux d'incendie doit être basée sur un besoin de 30 L/s à une pression de 690 kPa au niveau de la tête d'extincteur la plus éloignée.

13.5 SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

Toutes les données d'entrée pour la conception électrique doivent être conformes aux exigences générales identifiées dans ce rapport, y compris les conditions climatiques de l'environnement et les caractéristiques de l'alimentation électrique.

13.5.1.1 Alimentation électrique

Tableau 13-3 : Exigences relatives à la source d'alimentation électrique

Composant	Options	Caractéristiques
Sources d'alimentation électrique	Principe d'alimentation sans source externe	Génératrice diesel
	Principe d'alimentation avec source externe	Transformateur électrique
	Tensions fournies	À analyser selon les normes et pratiques de l'industrie.
	Alimentation de secours sans source externe	Génératrice diesel de secours identique à la principale, équipée d'un mécanisme de commutation automatique.
	Alimentation de secours avec source externe	Génératrice diesel de secours équipée d'un mécanisme de commutation automatique.
	Réservoirs de carburant	<ul style="list-style-type: none"> Protégés contre les intrusions. Dimensions permettant d'assurer un approvisionnement de 6 mois en toute saison. Wagon dédié à l'approvisionnement des réservoirs en carburant. En l'absence d'alimentation électrique externe, les deux génératrices sont équipées de réservoirs identiques.

13.5.1.2 Éclairage

L'éclairage des différentes zones des bâtiments doit être conçu pour répondre au niveau d'éclairage, conformément au programme, au CCQ, aux recommandations de l'IES et de la NFPA pour l'éclairage de secours.

En cas de contradiction entre les valeurs du programme et celles des normes et recommandations, la valeur la plus élevée prévaudra, sauf accord contraire lors de l'élaboration de la conception.

Tous les éclairages de bâtiment seront de type DEL. L'éclairage peut être divisé en trois parties : éclairage normal, éclairage extérieur et éclairage de secours.

13.5.1.2.1 Éclairage normal

Le tableau suivant montre le niveau d'éclairement requis dans les différentes zones.

Tableau 13-4 : Niveau d'éclairage par zone – Éclairage normal

Zones	Horizontal (lux)	Vertical (lux)
Escaliers	150	150
Cage d'ascenseur	30	-
Salle technique	200	-
Salle d'entreposage	100	-
Bureaux	500	
Toilettes	150	-
Zones d'attente à l'intérieur	200	120
Quai extérieur	50	-
Stationnement	50	-
Atelier d'entretien	300	
Fosses d'inspection		300
Voies d'entretien	200	
Quai de chargement	200	

13.5.1.2.2 Éclairage extérieur

L'éclairage extérieur sera alimenté par les panneaux situés dans les locaux techniques. Le niveau d'éclairage horizontal minimum est de 50 lux.

13.5.1.2.3 Éclairage de secours

Le système d'éclairage de secours doit assurer le maintien d'un niveau d'éclairage au moins égal à ceux du tableau ci-dessous.

Tableau 13-5 : Niveau d'éclairage par zone – Éclairage de secours

Zones	Horizontal (lux)
Escaliers	10
Cage d'ascenseur	-
Salle technique	50
Salle d'entreposage	25
Bureaux	50
Toilettes	50

Zones	Horizontal (lux)
Zones d'attente à l'intérieur	25
Quai extérieur	10
Stationnement	10
Atelier d'entretien	50
Fosses d'inspection	50
Voies d'entretien	50
Quai de chargement	50

Panneaux de sortie

Les panneaux de signalisation sont placés aux endroits appropriés, conformément au Code de construction du Québec. Ces panneaux sont constitués de pictogrammes conformes à la norme CSA-C22.2 no 141-10. Tous les panneaux sont reliés au réseau d'alimentation électrique sans interruption.

14. STRUCTURES

Ce chapitre sert de référence/guide pour la conception des structures des bâtiments associés au projet « La Grande Alliance ».

14.1 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Les structures des bâtiments doivent être conçues de manière à résister aux conditions météorologiques propres aux sites liés au projet de La Grande Alliance.

Conformément aux tableaux de l'annexe C du Code national du bâtiment – Canada 2015 (CNB) 2015 : C-2 et C-3.

14.2 DURÉE DE VIE DE LA STRUCTURE

Afin d'assurer un niveau de qualité suffisant pour l'exploitation, les bâtiments seront conçus et construits pour la durée de vie suivante :

Élément	Description	Durée de vie calculée (ans)
Structure des bâtiments	Murs, fondations, dalles, toits, poteaux...	50

14.3 EXIGENCES TECHNIQUES

Toutes les exigences techniques structurelles générales du bâtiment doivent être conformes au code et aux normes, ainsi qu'aux exigences structurelles générales mentionnées dans les sections ci-dessus.

