

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar_ El Oued



Faculté Technologie

Département De Génie civil et hydraulique

Polycopié de cours

(Niveau : 3ème Année Licence Travaux Public)

Infrastructures ferroviaires

Préparé par :

Dr. SOULIMANE Ilyas

Maitre de conférences « B »

Année universitaire : 2022-2023

Plan de cours

1- Informations globales sur le cours

La présente section vous permet de donner toutes les informations concernant le cours :

- Ce module est enseigné à l'université Echahid Hama Lakhdar El oued.
- **Unité d'enseignement : UED 3.1 - semestre : 5**
- Intitulé de la matière : Infrastructures ferroviaires
- Le volume horaire du module est de l'ordre de 22h30. Soit 01:30 de cours hebdomadaire
- Crédits : 1
- Coefficient : 1
- Lieux : Faculté de Technologie, Département de L'hydraulique et Génie civil, Salle 02.
NB : Les salles sont susceptibles de changer
- Enseignant :
Dr SOULIMANE Ilyas.
Email : s-ilyes@hotmail.fr Je réponds au moins de 3h les jours de la semaine.
- Disponibilités : Au sein de la faculté, le SAMEDI, DIMANCHE et le LUNDI de 08:00 à 15:30.

2- Présentation du cours

Les actifs liés aux infrastructures fournissent des services essentiels qui permettent aux villes du monde entier de fonctionner. Le gouvernement ne cesse d'investir pour développer cette dernière quant à leurs avantages.

Le chemin de fer est parmi ces infrastructures qui peuvent aussi reliés de villes isolées ainsi que le transport de marchandises sur des distances très importantes ainsi que la contribution dans la préservation de l'environnement et le développement durable puisque ce mode de transport permet de prendre de grandes charges.

C'est la raison pour laquelle on étudie les techniques de réalisation des Infrastructures ferroviaires.

3- Contenu

- **Généralités sur le transport ferroviaire**

Intérêt du transport ferroviaire :

- Train,
- Metro,
- Tramway

- **Caractéristiques géométriques des voies ferrées**

Les rails et leur structure métalliques,
Evaluation des charges et des surcharges.

- **Comportement et dimensionnement des voies ferrées**

Etude et poses de voies
Calcul de la section des rails
Pré-dimensionnement des traverses.
Travaux d'entretien.

- **Ouvrages d'assainissement d'une ligne ferroviaire**

Types et fonctions du drainage
Interaction plateforme drainage longitudinal
Drainage profond des eaux souterraines.

4- prérequis

En vue d'atteindre les objectifs de cours, il est impératif de maîtriser les modules suivants :

- Résistance de matériaux 1.
- Mécanique des sols.
- Béton armé, Matériaux de construction 1.
- Structures métalliques.

Les étudiants doivent tester ces prérequis via le cours mis à leur disposition à travers le test.
Un autre test sera éventuellement communiquer lors des premières séances.

5- Place du cours dans le programme

Ce module est l'un des deux modules de l'unité d'enseignement de découverte. Cette unité d'enseignement à pour code le suivant : UED 3.1

6- Visées d'apprentissages

Ce cours a pour objet d'initier l'étudiant à se familiariser avec les règles de conception et de réalisation des voies ferrées et des ouvrages connexes conformément aux normes en vigueur.
A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de suivre des chantiers de réalisation d'une voie ferrée de s'entendre avec les concepteurs du projet et de pouvoir dimensionner les éléments composants d'une infrastructure ferroviaire.

7- Modalités d'évaluation des apprentissages

L'évaluation relative à ce module est de la manière suivante :

Ce module ne contient pas de note relative au contrôle continu. Il consiste en une épreuve finale à faire passer en fin du semestre. Cette épreuve a le poids total de 100 % de la note du module.

Le genre de question a s'attendre est comme suit :

- Des questions basiques sont posés tel que les définitions ou informations nécessaires discuté et communiqué dans le cours.
- Il comporte toutes les questions vu en cours.
- Aussi trouver des solutions a des problèmes similaires discuté en salle à savoir des applications numérique.

-Et pour finir, un certain nombre de QCM est prévu de l'ordre 20 % de la note globale de l'examen.

8- Activités d'enseignement-apprentissage

Cette partie tient en compte de deux aspects important à savoir :

- Echanger un maximum d'information en relation avec les voies ferrées, et ce en salle de cours.
- La deuxième partie concerne le travail personnel évalué à 3 heures par étudiant.

9- Alignement pédagogique

La méthode d'enseignement relative à ce cours est faite de sorte à ce qu'on aboutit aux trois piliers nécessaires pour faire sortir un produit (étudiants) de qualité d'un point de vue connaissances.

10- Modalités de fonctionnement

L'étudiant doit être conscient qu'une certaine tenue est fortement recommandée à savoir :

- Être conscient que toutes les informations évoquées dans le cours sont importantes.
- La participation dans le cours telle que des interventions pour donner un exemple, prendre la parole pour définir une notion proposer par l'enseignant et tout cela doit être pris au sérieux avec une bonne tenue en salle (savoir être et respect mutuel entre étudiant-étudiant et étudiant-enseignant.)
- Le délégué de la promotion s'en charge d'ouvrir une boîte E-mail professionnel et communiquer le nom d'utilisateur et le mot de passe à l'ensemble des étudiants ainsi que l'enseignant responsable du module afin de déposer les versions numériques des cours et exposés pour que tout le monde aura accès.
- Sans oublié le travail que l'étudiant est sensé faire comme le travail à la maison (Individuel ou collectif) ou travail en groupe tel que les exposés)

11- Ressources d'aide

L'étudiant peut consulter les références bibliographiques pour davantage informations :

NB :

- L'ensemble des références utilisées pour l'élaboration du polycopié sont présentées dans la partie Références.

Infrastructures ferroviaires



Dr SOULIMANE Ilyas

20-10-2022

Table des matières



Introduction	9
Carte conceptuelle	10
I- Généralités sur le transport ferroviaire	
1- Introduction.....	11
2- Quelques définitions.....	11
3- Caractéristiques techniques générales.....	12
3.1- Roulement acier-acier.....	14
3.1.1- L'adhérence roue-rail.....	14
3.1.1.2- Effort de freinage	14
3.1.1.1- Les efforts de traction et de freinage	14
3.2- Transport guidé.....	15
3.3- circulation en convois	16
4- Projets en Algérie.....	17
5- Différents systèmes ferroviaires.....	18
5.1-Système ferroviaire	18
5.2- Système métro.....	18
5.3- Système tramway	19
6- Capacité du système ferroviaire.....	20
II- Caractéristiques géométrique des voies ferrées	
1- Généralités.....	22
2- Le rail.....	23
2.1- Efforts appliqués.....	24
2.1.1- Efforts verticaux	25
2.1.2- Efforts transversaux.....	26
2.1.3- Efforts longitudinaux	26
2.1.4- Résistance de l'air	27

2.2- Profil des rails	27
2.2.1- Le rail à patin.....	27
2.2.1.1- Le bourrelet	28
2.2.1.2- L'âme et le patin	28
2.2.2- Le rail a double bourrelet	28
2.2.3- Le rail à ornière	29
3- Traverses.....	29
3.1- Rôle des traverses	30
3.2- Type de traverses	31
3.2.1- Traverses en bois	31
3.2.2- Traverses métallique	32
3.2.2.1- Dimensions des traverses métalliques	33
3.2.2- Traverses en béton armé	33
4- Le ballast	37
4.1- Rôle du ballast	38
4.2- Qualité requise	38
4.3- Dimensions des éléments	39
5- Mise en place des éclisses	39
III- Comportement et dimensionnement des voies ferrées	
1- Introduction.....	40
2- Dimensionnement des éléments du chemin de fer	40
2.1- Etude et pose des voies	40
2.1.1- Dressage définitif de la voie.....	42
2.1.2- Éclissage	42
2.1.3- Régalage du ballast	42
2.2- Calcul de la section du rail	43
2.3- Pré-dimensionnement des traverses	44
2.4- Travaux d'entretien	45
3- Les appareils de voie	45
3.1-L'aiguillage.....	46
3.2- Le croisement.....	47
3.3-Les traversées.....	48
4- Concepts communs de sécurité ferroviaire.....	49
4.1- collision nez à nez.....	49

4.2- Collision par rattrapage.....	50
4.3- La prise en écharpe.....	50
4.4- la collision avec un obstacle.....	50
4.5- le déraillement.....	51
IV- Ouvrages d'assainissement d'une ligne ferroviaire	
1- Introduction.....	52
2- Types et fonctions du drainage	53
3- Interaction plateforme drainage longitudinal	54
4- La pérennité de la plateforme.....	54
5- Drainage profond des eaux souterraines	54
5.1- Les déblais humides	55
5.2- Les dispositifs utilisés pour le drainage profond	55
5.3- Les principaux dispositifs employés dans le drainage profond des déblais humides.....	56
5.3.1- Les fossés en terre	56
5.3.2- Les fossés en béton préfabriqués à barbacanes	56
5.3.3- Dispositifs enterrés	57
5.3.4- Les caniveaux à fente	58
6- Eléments préfabriqués utilisés	58
6.1-Tuyaux d'assainissement	58
6.2- Regards	59
6.3- Cadres rectangulaires	60
6.4- Têtes d'aqueduc de sécurité et têtes de ponts	60
6.5- Caniveaux Hydrauliques	60
6.6- Dessableurs.....	61
6.7- Séparateurs de boues et de liquides légers	61
6.8- Ouvrages de stockage et de rétention	62
6.9- Bassins d'orage et de dépollution	62
7- Conclusion	63

Introduction



Le mode de transport, le moyen de transport ou le système de transport, est une forme particulière de transport qui se distingue principalement par le véhicule utilisé, et par conséquent par l'infrastructure qu'il met en œuvre. Lorsque plusieurs modes de transport sont associés pour concourir à la réalisation d'une opération de transport, c'est le terme multi modalité qui est utilisé.

Les voies de communications existantes permettant le transport de voyageurs ou de marchandises d'un point à un autre sont de l'ordre de trois à savoir le transport maritime, terrestre et aérien ; on peut associer un autre mode de transport par câble qui n'est autre qu'un mode de transport guidé et aérien/terrestre (funiculaire, téléphérique...).

Les pays possédant le mode de transport ferroviaire ont connu une stabilité économique, sociale et politique quant à ses avantages de transporter les lourdes marchandises et la grande capacité à déplacer les voyageurs.

Le module enseigner permet de connaître les règles de conception et de réalisation des voies ferrées et des ouvrages connexes conformément aux normes en vigueur. Il permet également de différencier entre les systèmes ferroviaires (trains, métros, tramway) et faire le bon choix pour un projet lors des études de faisabilité. A l'issue de ce module on peut aussi connaître les principales règles de dimensionnement des voies ferrées ainsi que la réalisation des ouvrages d'assainissement d'une ligne ferroviaire donnée.

Généralités sur le transport ferroviaire



Introduction	11
Quelques définitions	11
Caractéristiques techniques générales	12
Projets en Algérie	17
Différents systèmes ferroviaires	18
Capacité du système ferroviaire	20

1- Introduction :

On désigne d'une façon générale sous le nom de chemins de fer des voies munies de rails, sur lesquelles circulent des trains remorqués par des locomotives. On peut aussi définir le chemin de fer comme un service public créé pour la satisfaction des besoins du public et des structures industrielles.

C'est un système de transport collectif guidé de personnes et de marchandises. Il constitue une alternative à la voiture, aux camions et à la congestion des portes des grandes agglomérations. Il permet des déplacements efficaces et reste en pratique le mode de transport terrestre dominant dans plusieurs pays. Le chemin de fer englobe le métro, le tramway et la voie ferrée.

2- Quelques définitions :

Le chemin de fer est un système de transport guidé servant au transport de personnes et de marchandises.

Il se compose d'une infrastructure spécialisée, de matériels roulant et de procédure d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain.

L'infrastructure des chemins de fer est appelé voie ferrée elle se compose, la plupart du temps de deux fils de rails posées sur des traverses, d'appareils de voies, de passage à niveau , de la signalisation et dans le cas échéant des installations de traction électrique.

Le matériel roulant circule en convois, appelé train ou rames. Les convois sont composés de wagon et de locomotives. Il peut également s'agir de train autotracté dit « draisine », utilisé pour l'entretien ou pour des visites.



Figure 1 : un modèle du train autotracté nommé DRAISINE.

L'humain est au centre des systèmes ferroviaires que ce soit pour la conduite des trains, l'orientation des convois vers leurs destinations, la sécurisation des voyageurs et de marchandises transporté. Le travail de l'humain est encadré par des procédures.

3- Caractéristiques techniques générales :

Le transport ferroviaire est une alternative de transport « verte » quand l'infrastructure et les trains sont fortement utilisés. En général, il économise plus d'énergie, il a donc un impact environnemental substantiellement moindre sur l'eau et l'air, et sa construction revient moins cher que celle d'autres modes de transport. Il offre souvent aussi des avantages significatifs de protection de l'environnement, d'utilisation des sols, et d'investissement en capital ; il économise généralement plus d'énergie que le transport routier, et est beaucoup moins nocif pour l'environnement parce que leurs émissions par unité de trafic (passager/kilomètre ou tonne/kilomètre) sont inférieures à celles de presque tous les autres modes. Beaucoup des chemins de fer du monde sont électrifiés, ce qui réduit les émissions associées au transport ferroviaire, selon la source d'énergie utilisée pour produire l'électricité.

De plus, les chemins de fer ont généralement des exigences d'emprise de terrain beaucoup plus petites que celles des autoroutes de transport. Même si les lignes ferroviaires de fret nécessitent en général des pentes plus faibles et des virages plus doux que le transport routier, ce qui complique les circuits de voies ferrées en terrain montagneux, les chemins de fer ont

habituellement une empreinte environnementale et d'utilisation des sols beaucoup plus petite que le transport routier, et demandent souvent substantiellement moins d'investissement par kilomètre que les transports routiers ou fluviaux, avec une capacité équivalente. L'empreinte ferroviaire est par ailleurs moins nocive pour l'environnement d'une autre manière ; les voies ferrées sont poreuses, et ont un impact beaucoup moins grand que le transport routier sur l'écoulement des eaux et les voies d'eau avoisinantes.

Les chemins de fer gérés de manière inefficace et les voies ferrées avec peu d'usage peuvent ne pas être aussi efficaces, d'un point de vue environnemental ou économique. Dans le cas du fret, les chemins de fer avec des charges à l'essieu très légères peuvent économiser moins d'énergie que le transport routier, parce que les wagons de fret pèsent typiquement beaucoup plus que les véhicules pour autoroutes. Les trains à grande vitesse ayant de faibles facteurs de charge peuvent même être moins efficaces que des voitures ou des avions. Les avantages en termes d'environnement et d'efficacité dépendent d'un système de chemins de fer efficacement conçu et géré. Naturellement, ceci est vrai aussi pour d'autres modes de transport.

3.1- Roulement acier-acier :

La caractéristique fondamentale du chemin de fer est le roulement acier-acier « roue-rails », à faible coefficient d'adhérence qui limite très sensiblement la résistance à l'avancement et en contrepartie augmente les distances de freinages. La faible adhérence impose aussi des contraintes de tracés pour éviter les fortes déclivités, les ouvrages d'art important et les viaducs. Les distances de freinages sont importantes.

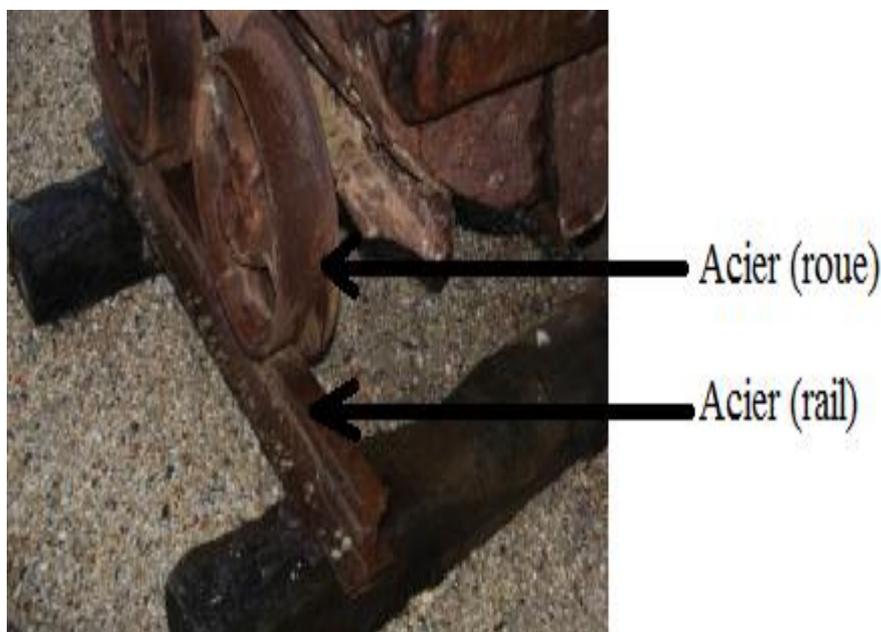


Figure 2 : Caractéristique du roulement du train.

3.1.1-L'adhérence roue – rail

3.1.1.1 Les efforts de traction et de freinage :

L'effort de traction du moteur thermique ou électrique, d'un engin ferroviaire automoteur - locomotive, est appliqué par chaque roue motrice sur le rail, par la transmission mécanique composée de :

- Arbre de transmission,
- Un réducteur de la vitesse de rotation du moteur,
- Essieu, axe reliant les roues motrices. Le différentiel est assuré par la conicité des roues. Dans le cas du métro sur pneus dont les roues sont cylindriques un différentiel mécanique est interposé. Les essieux sont associés en général par deux ou par trois pour certaines locomotives.

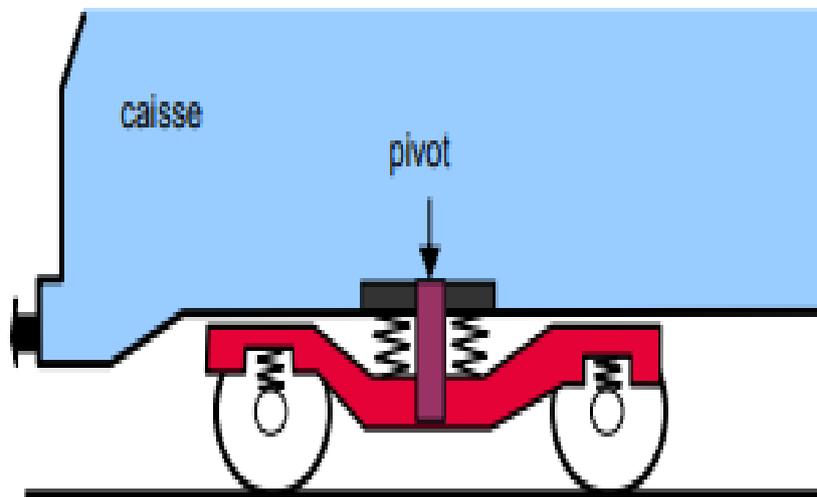


Figure 3 : Configuration de liaison des roues par pivot.

3.1.1.2 Effort de freinage :

L'effort de freinage d'un véhicule ferroviaire peut être appliqué sur le rail :

- directement par des patins électromagnétiques, avec ou sans frottement direct avec le rail. Le freinage est dit « indépendant de l'adhérence »,
- indirectement par le freinage des essieux freinés et l'intermédiaire du contact entre la roue et le rail.

Sur un « bogie porteur », de même que sur un bogie motorisé, le freinage est obtenu par l'application pneumatique de sabots sur les roues, et/ou par un ou plusieurs freins à disque à commande pneumatique ou hydraulique disposés sur les essieux. C'est le frein mécanique.

Sur un « bogie moteur », l'effort de freinage mécanique peut être complété par celui des moteurs de traction fonctionnant en générateurs d'énergie. Il est dit alors :

- « par récupération » d'énergie sur la ligne d'alimentation,
- et/ou par dissipation dans une résistance : c'est le freinage dit « rhéostatique ».

Les deux types de freinage électrique peuvent être utilisés simultanément.

La résistance à l'avancement d'un véhicule est composée :

- du frottement de l'air sur les véhicules,
- des frottements secs ou visqueux des organes mécaniques,
- des déclivités (rampes),
- des rayons de courbure de la voie.

Ces dernières constituent une forme de freinage parasite.

L'application d'un effort de freinage permet de transformer l'énergie cinétique du véhicule, et celle des masses tournantes constituées par les roues, les essieux, les disques de frein, les transmissions, les réducteurs et les rotors des moteurs électriques, en une autre énergie :

- thermique pour le freinage mécanique, et rhéostatique, ainsi que pour la résistance à l'avancement,
- potentielle, lors de l'ascension d'une rampe ; il s'agit alors d'une énergie, qui bien que parasite, est réutilisable pour la traction sur une pente,
- électrique réutilisable par les autres véhicules en traction sur la même ligne lors du freinage par récupération.

3.2- Transport guidé :

Le transport est guidé par les rails et n'offre aux véhicules qu'un seul degré de liberté en avant ou en arrière. Les changements de voies peuvent se faire qu'à l'aide d'une manœuvre appelé aiguillage.

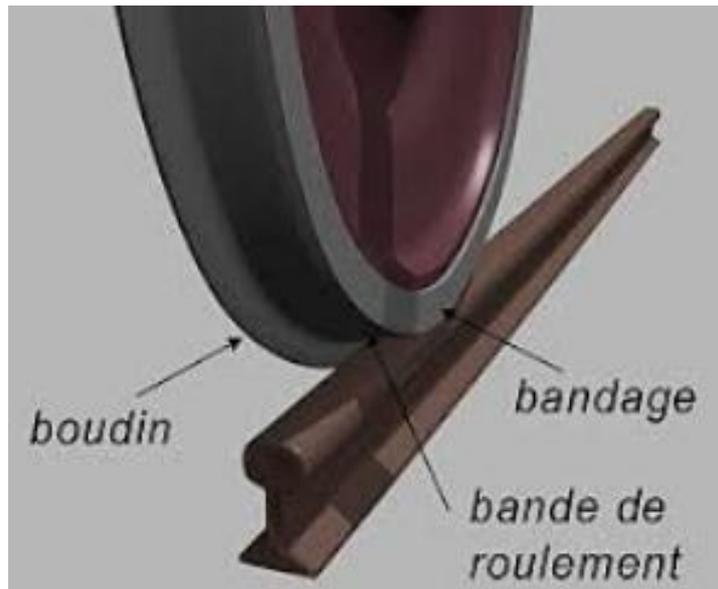


Figure 4 : Déplacement d'une roue sur le rail.

3.3- circulation en convois :

Les véhicules (wagon) et voitures ne circulent pas isolément comme sur la route mais en convoi « les wagons tractés par une locomotive ». Cela autorise une grande capacité de transport.

Le classement se fait selon que l'engin moteur transporte ou non des passagers. S'il est dédié à la traction il s'agit d'une locomotive en faible puissance. S'il est conçu pour le transport des passagers se sont les automotrices - et automoteur, suivant le mode de traction.



Figure 5: Exemple de locomotive

Le “ wagon de marchandises ” d'autrefois a pratiquement disparu du trafic européen. La spécialisation du transport de fret conduit à concevoir un véhicule adapté à chaque usage :

- Transport de produits en vrac : céréales, combustibles solides, liquides ou gazeux.

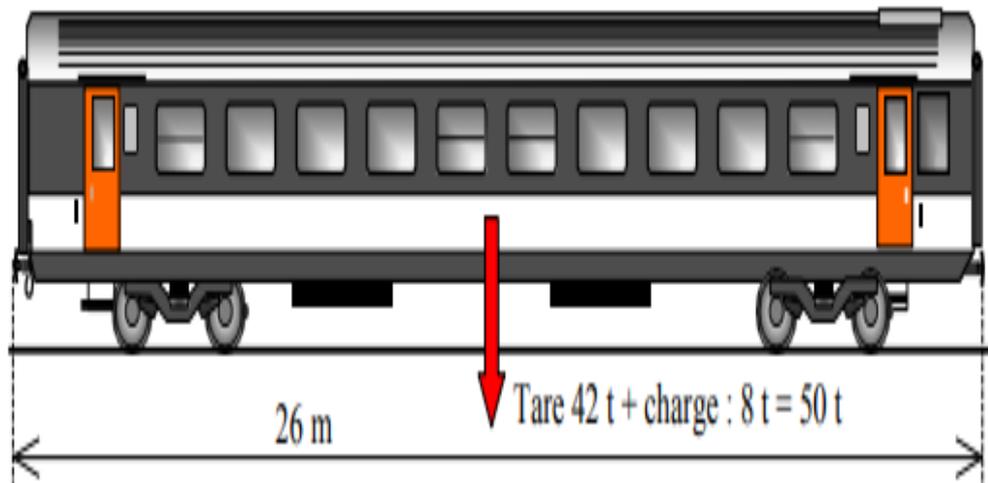


Figure 6: Exemple de wagon avec dimensions.

Le débit d'une voie ferrée est supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies. Le coût moyen du kilomètre d'une voie ferrée à deux voies est moins cher que celui d'une autoroute à deux fois deux voies dans les mêmes conditions. Ce mode de transport présente un faible degré de pollution. A égalité de kilomètres transportés, le chemin de fer consomme deux à trois fois moins de carburant à la tonne transportée qu'un camion lourd.

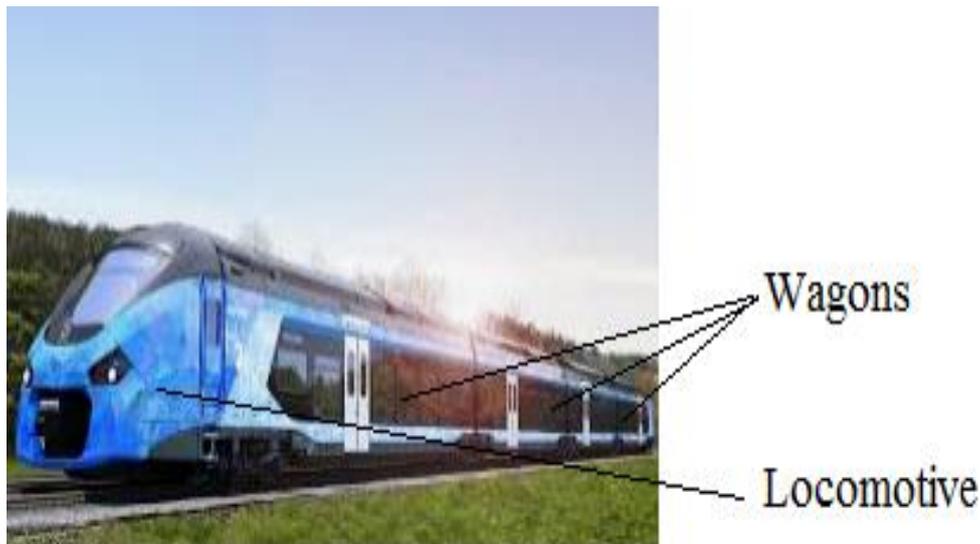


Figure 7 : mouvement du matériel roulant en convoi.

4- Projets en Algérie :

Situation actuel en Algérie : Le réseau ferroviaire actuel et futur comporte trois ensembles de lignes

- La rocade Nord à voie normale (frontière Est/ Annaba/ Constantine/ Alger/ Oran/ Tlemcen / frontière Ouest) qui constitue l'artère principale des échanges entre les régions actuellement les plus développées du pays, des lignes de rattachement,

également à voie normale, reliant la Rocade aux principaux ports et à diverses villes (Guelma, Skikda, Béjaia, Tizi-Ouzou, Mostaganem, Arzew, Ain-Temouchent, Ghazaouet, Jijel...),

- La ligne minière Est à voie normale Annaba/Djebel-Onk dont l'activité est essentiellement liée au transport vers la zone de Annaba des minerais de fer d'Ouenza – Bou-Khadra et des phosphates du Djebel – Onk .
- Des lignes de pénétration en direction des hauts-plateaux et du sud.

5- Différents systèmes ferroviaires :

Selon les articles mentionnés dans les codes du transport on distingue les trois types de transport ferroviaires suivants :

5.1-Système ferroviaire :

Un système ferroviaire est un système de transport guidé dont les principales caractéristiques techniques sont les suivantes :

- le guidage est assuré par deux files de rails parallèles qui supportent les véhicules ;
- les véhicules ont des roues en acier qui assurent le guidage.



Figure 8 : Le système ferroviaire.

5.2- Système métro

Un système métro est un système de transport guidé urbain ou suburbain dont les principales caractéristiques techniques sont les suivantes :

- la ligne est essentiellement en tunnel ou en viaduc et sa longueur est au plus de quelques dizaines de kilomètres ;
- les véhicules sont dédiés à une ou plusieurs ligne(s) et leur vitesse d'exploitation ne dépasse pas 80 km/h ;

- l'exploitation du système peut être réalisée avec ou sans conducteur.

Compte tenu des technologies existantes, les principales mesures de couverture des risques caractérisant ces systèmes sont :

- une infrastructure conçue pour être exploitée sans présence de tiers sur la voie ;
- un espacement des véhicules assuré par un système automatique, nécessitant ou non un conducteur, permettant un débit élevé (supérieur à 20 trains/h) en heure de pointe ;
- des véhicules généralement de catégorie C-II au sens de la norme NF EN 15227:2011 et dont les caractéristiques de tous les types de véhicules sont connues de façon exhaustive et spécifiquement adaptées à la ligne ;
- des dispositions organisationnelles et des dispositifs techniques particuliers pour permettre l'évacuation en sécurité des passagers.



Figure 9 : Le système métro

5.3- Système tramway :

Un système tramway est un système de transport guidé urbain ou suburbain dont les principales caractéristiques techniques sont les suivantes :

- la ligne, dont la longueur est au plus de quelques dizaines de kilomètres, partage en grande partie l'espace avec la voirie routière et est conçue pour s'intégrer dans son environnement ;
- les véhicules sont dédiés à une ou plusieurs lignes et leur vitesse d'exploitation ne dépasse pas 70 km/h ;
- l'exploitation du système est réalisée avec conducteurs.

Compte tenu des technologies existantes, les principales mesures de couverture des risques caractérisant ces systèmes sont :

- une infrastructure conçue pour permettre de gérer les interactions avec les tiers (bonne insertion urbaine) ;

- un principe général de conduite qui est celui de la conduite à vue et des modalités de gestion des carrefours qui doivent permettre un bon débit du flux tramway et du flux routier ;
- des véhicules généralement de catégorie C-IV au sens de la norme NF EN 15227:2011 ; les caractéristiques de tous les types de véhicules sont connues de façon exhaustive et spécifiquement adaptées à la ligne ;
- les véhicules présentent des performances de freinage conformes à la norme NF EN 13452 - 1:2003, un poste de conduite qui offre une bonne visibilité et un bout avant du véhicule conçu pour limiter les dommages causés aux tiers en cas de choc.



Figure 10 : Le système tramway

6- Capacité du système ferroviaire :

Un système ferroviaire interopérable est un système de transport conçu pour de longues distances dont les principales caractéristiques techniques sont les suivantes :

- les lignes forment un réseau sur lequel les distances parcourues vont de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de kilomètres et peuvent comporter des passages à niveau avec la voirie;
- différents types de véhicules pour les marchandises et pour les passagers circulent à une vitesse maximale de 350 km/h ;
- pour les services de transport de passagers, le système est interopérable pour éviter toute rupture de charge sur de longues distances ;
- la gestion des circulations est assurée par un gestionnaire d'infrastructure (GI) pour chaque section de ligne afin de permettre l'utilisation du réseau par plusieurs entreprises ferroviaires.

Compte tenu des technologies existantes, les principales mesures de couverture des risques caractérisant ces systèmes sont :

- une infrastructure conçue pour être exploitée sans présence de tiers sur la voie ferrée (qui peut comprendre ou non des passages à niveau) ;

- un espacement des trains assuré par un système automatique ou non ;
- des véhicules interopérables généralement de catégorie C-I au sens de la norme Algérienne, Européenne ou autre ;
- des dispositions organisationnelles et des dispositifs techniques particuliers pour permettre l'évacuation en sécurité des passagers lorsque des trains sont arrêtés en pleine voie ;
- pour les services de transport de passagers, les interfaces entre les GI et les Entreprise Ferroviaire ainsi qu'entre deux GI sont prises en compte dans la gestion de la sécurité dans le respect des règles.



Figure 11 : Capacité du système ferroviaire.

Le tableau suivant montre à titre de comparaison le poids pour les différents véhicules

Locomotives	Wagon Lourd	Remorque de TGV	Voiture de métro	Motrice de tramway
11250 (Europe) 16000 (USA)	9375	8000	3750	5000

Tableau 1 : Masses par roue typique selon le type de véhicule (kg)

Caractéristiques géométriques des voies ferrées :



Généralités	22
Le rail	23
Traverses	29
Le ballast	37
Mise en place des éclisses	39

1- Généralités :

Les éléments constitutifs de la voie ferrée sont : Le ballast, Les traverses, Les rails et leurs accessoires.

Les rails sont fixés aux traverses qui reposent sur le ballast. Celui-ci s'étale horizontalement extérieurement aux rails sur une longueur d'environ 1 m.

Le profil transversal (profil en travers) d'une ligne à double voie à circulation rapide en alignement droit est établi en plaine est représenté sur la figure 1.

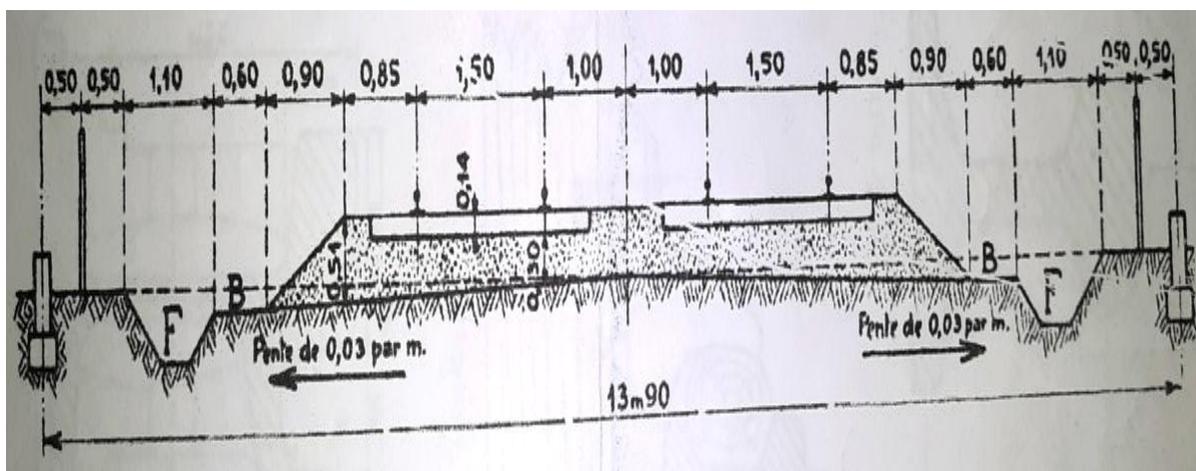


Figure 1 : Profil transversal d'une ligne à double voie.

La figure 2 donne le profil en travers d'une ligne à simple voie.

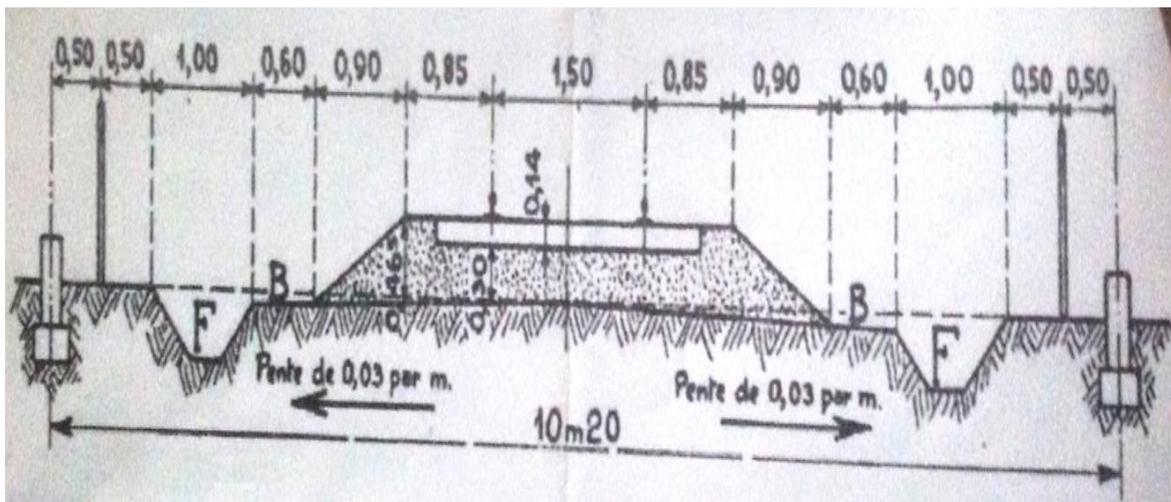


Figure 2 : Profil transversal d'une ligne à simple voie.

Lors de la construction d'un chemin de fer on se borne à l'origine à établir une ligne à simple voie, mais même si l'on entrevoit que dans l'avenir le trafic sera très important, on exproprie dès le début une bande de terrain assez large pour recevoir ultérieurement la 2^{ème} voie. Les ouvrages d'art (tunnels, viaducs ... etc.) sont construits dès l'origine pour 2 voies. La jauge de la voie c'est-à-dire la distance comprise entre les bords intérieurs des bourrelets des rails est de 1.435 m. Ce qui donne un entre axe de 1.5 m.

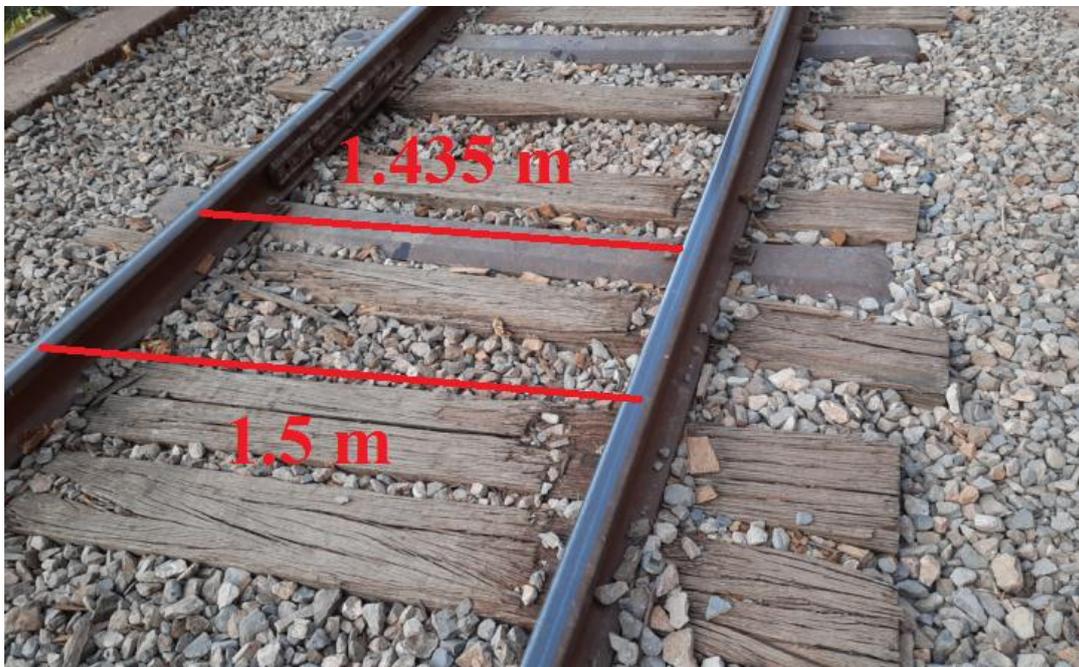


Figure 3 : Jauge comprise entre deux rails.

L'espace entre les voies doit permettre à 2 trains de se croiser sans se frôler même dans le cas où une portière viendra à s'ouvrir. Dans les gars on donne à l'entrevoie une largeur de 3 mètres en moins.

2- Le rail :

Par définition le rail est une poutre de répartition des charges de roues dans le sens vertical, transversal et longitudinal et sert le guidage et le maintien de l'essieu, le contact roue-rail acier/acier ayant la caractéristique de limiter la résistance à l'avancement par une surface réduite de contact et de faire le transfert des charges à la traverse par le biais du système d'attache.

Les rails sont caractérisés par

- Leur profil
- La nuance d'acier qui les compose.

Il existe différents profil et nuances de rail, adaptés aux utilisations auxquelles ils sont destinés. La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée limitée, par contre, le double champignon et le rail Vignole ont été largement utilisés. Ils convient d'y ajouter un profil à gorge qui permet de poser les voies en chaussée en particulier dans les ports.

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivant : à la partie supérieur le champignon qui supporte les contacts des roues, l'âme, partie médiane ; le patin, partie inférieur ; les portées d'éclissage, parties inclinées du champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses. Le champignon du profil à gorge, comporte en outre, l'équivalent d'un contre rail qui permet la circulation en chaussée des boudins de roues.



Figure 4 : Exemple d'un rail

2.1- Efforts appliqués :

Le rail supporte et guide la roue du matériel roulant, c'est donc l'élément essentiel de la sécurité de la voie. Les rails reçoivent directement les efforts qui s'exercent sur la voie ; ces efforts sont verticaux, transversaux et longitudinaux. Le schéma suivant montre les efforts appliqués sur un rail.

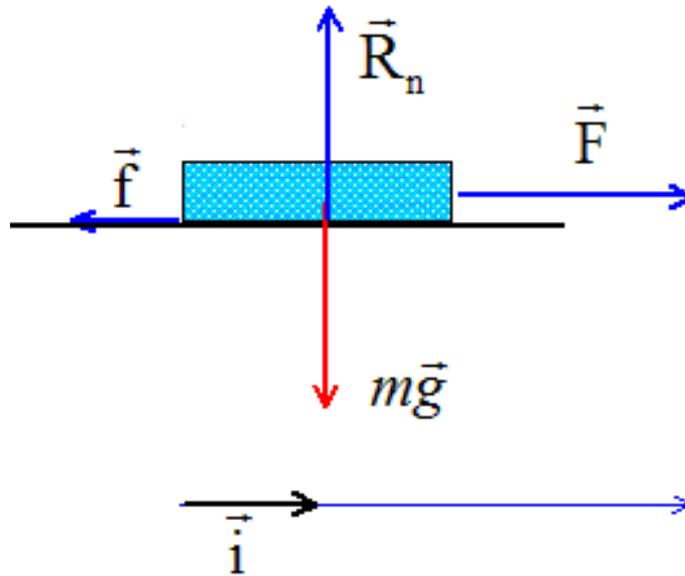


Figure 5 : Les efforts appliqués sur les rails

2.1.1 Efforts verticaux :

Ce sont les efforts statiques dû à la charge des roues des véhicules. Ces efforts statique peuvent s'accroître considérablement par l'effet dynamique du aux vitesses très importantes.

$$C_v = 1 + (v^2/30000)$$

Avec v en Km/h

Exemples : une vitesse égale à 110km/h $\Rightarrow C_v = 1.41$

120km/h $\Rightarrow C_v = 1.48$

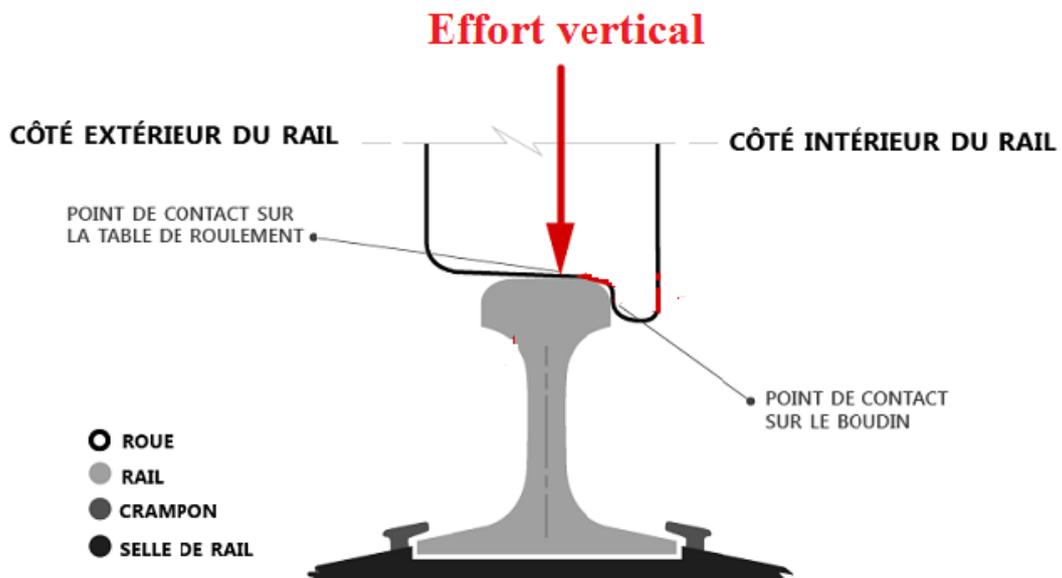


Figure 6 : Les efforts verticaux sur les rails.

2.1.2 Efforts transversaux :

Ces efforts sont provoqués par la circulation en courbe dont le mouvement d'orientation progressive en courbe. La roue avant de la locomotive attaque le rail extérieur de la courbe. Ce sont donc les chocs qui sont les plus dangereux car ils s'exercent au sommet du rail et tendent à le renverser, ils forcent sur les attaches, ils peuvent aussi provoquer le ripage de la voie.

La figure suivante montre les efforts transversaux qui s'appliquent sur le côté du rail comme mentionné précédemment.

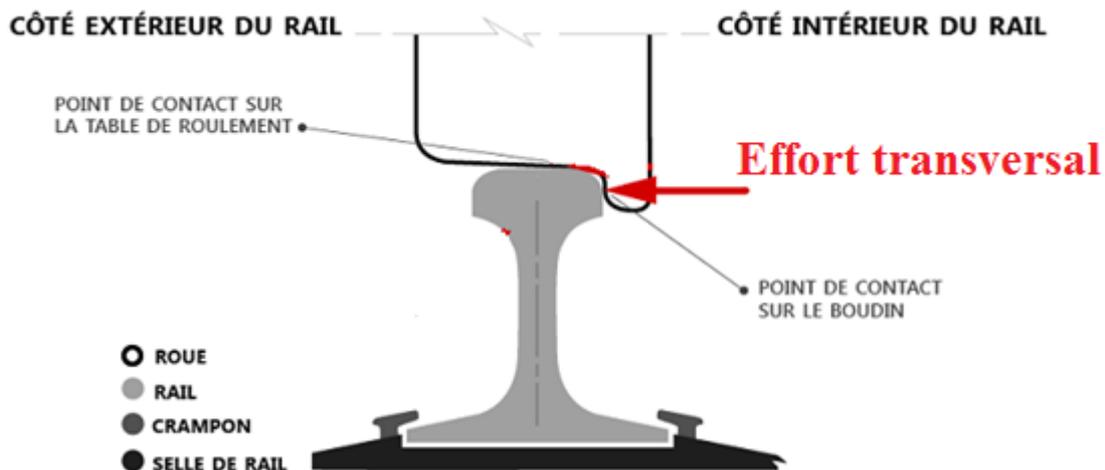


Figure 7 : Les efforts transversaux sur les rails.

2.1.3 Efforts longitudinaux :

Le mouvement de progression de la locomotive obtenu par l'adhérence des roues motrices sur le rail provoque une réaction qui tend à faire cheminer le rail au sens inverse du mouvement. Aux joints les chocs de toutes les roues du train sur le bout des rails tendent au contraire à déplacer le rail vers l'avant. Enfin les efforts de la dilatation s'exercent également dans le sens longitudinal.

On devra donc prendre égard à toutes ces sollicitations pour étudier :

- Le profil du rail.
- La nature du métal.
- Le nombre de traverses et leurs surfaces.
- Les modes d'attaches des traverses.

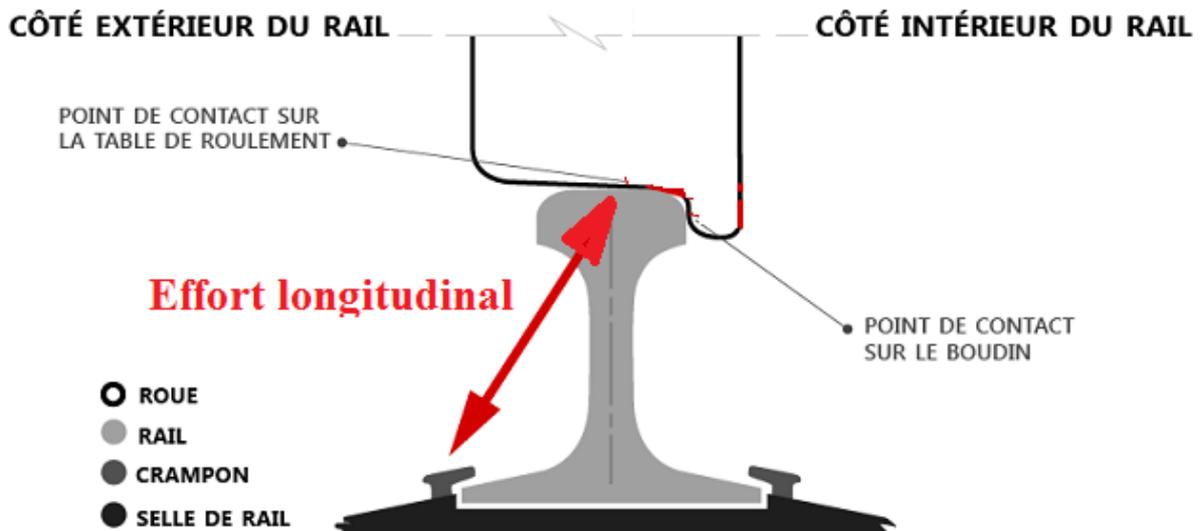


Figure 8 : Les efforts longitudinaux sur les rails.

2.1.4 Résistance de l'air :

On admet généralement que cette résistance est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{V^2 S}{170}$$

Avec V désignant la vitesse en Km/h du train par rapport à l'air (qui peut être en mouvement s'il y a du vent) et S la surface en m² de la plus grande section transversale du train perpendiculairement à l'axe de la voie, ce qui est appelé dans la navigation le maître couple. Cette formule, applicable seulement dans le cas vent debout qui a été confirmé dans les expériences de « Berlin-Zossen » jusqu'à une vitesse de 200 km/h. sachant que le train possédant une surface S de l'ordre de 9m².

2.2 Profil des rails :

Il existe 3 formes principales du rail :

- Le rail à patin dit rail Vignole.
- Le rail à double bourrelet ou bull headed.
- Le rail à ornière utilisé généralement dans les voies de tramways.

2.2.1 Le rail à patin :

Le rail à patin est le plus utilisé à l'échelle mondiale pour les voies ferrées, il se compose de 3 parties :

- Le bourrelet
- L'âme
- Le patin.

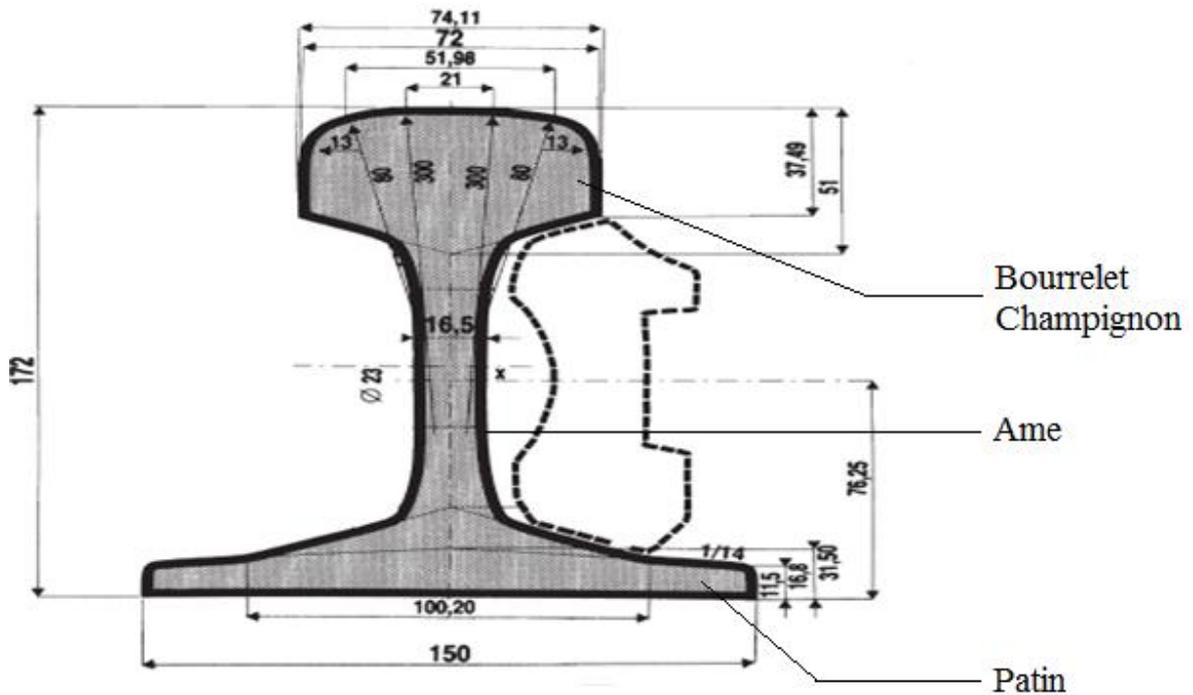


Figure 9 : Coupe transversale d'un rail à patin

Masse linéaire théorique	60.21	Kg/ml
Moment d'inertie Ix	3038.3	cm ⁴
Module d'inertie Ix/v	335.6	cm ³
Section	76.7	Cm ²
Résistance à la traction	880	N/mm ²

Tableau 1 : Caractéristique d'un rail à patin

2.2.1.1 Le bourrelet :

Le profil du bourrelet du rail et celui du bandage de la roue sont étudiés en vue de réaliser les meilleurs conditions de roulement et d'assurer le guidage le plus satisfaisant du mentonnet de la roue.

En courbe, lorsque l'usure d'un côté du rail a atteint la limite admise, on peut retourner le rail bout à bout.

2.2.1.2 L'âme et le patin :

Le rapport entre la hauteur de l'âme et la largeur de patin joue un rôle très important pour sa stabilité. Se référer à la figure 9.

2.2.2 Le rail a double bourrelet :

A l'origine ce profil est constitué de 2 bourrelets reliés par une âme tout à fait symétrique. Cette conception s'inspiré du souci de pouvoir retourner le rail sens dessus sens dessous et de doubler ainsi sa durée de vie.

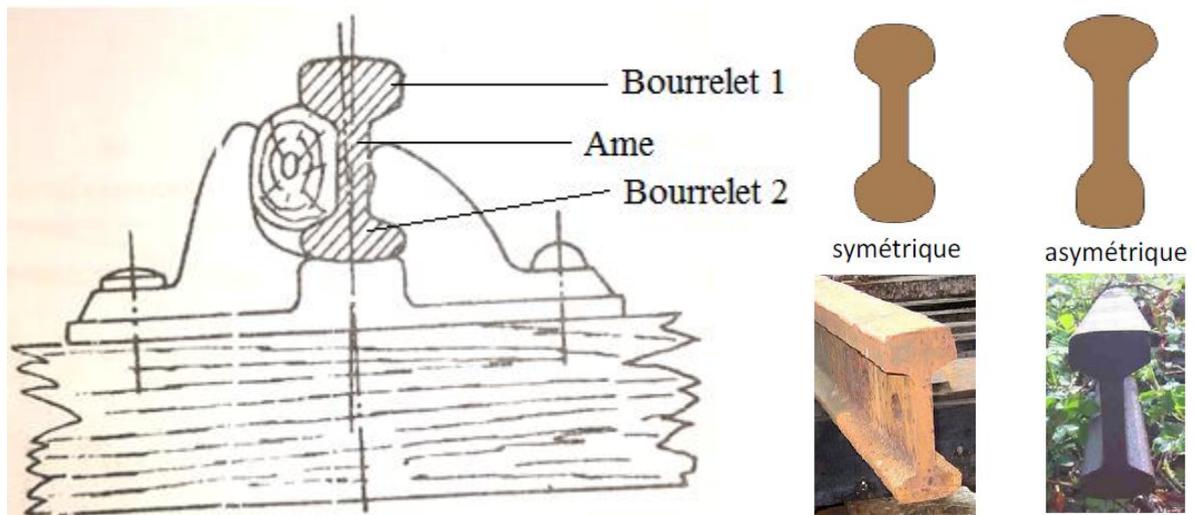


Figure 10 : Coupe transversale d'un rail à double bourrelet.

2.2.3 Le rail à ornière :

Ce type de rails est utilisé généralement pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

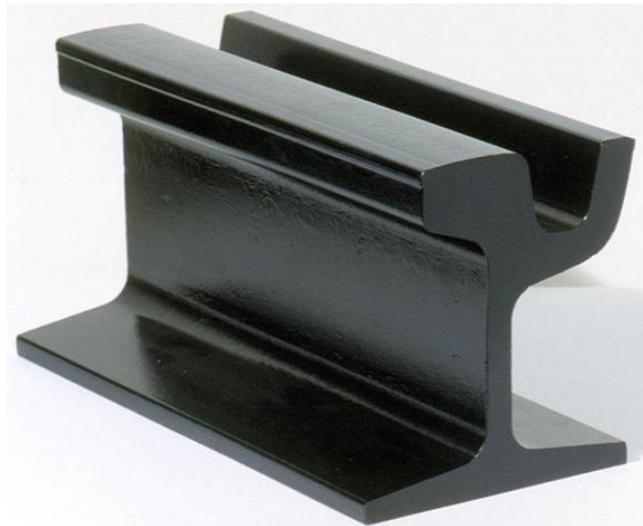


Figure 11 : Coupe transversale d'un rail à ornière.

3 Traverses :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en métal ou en béton.

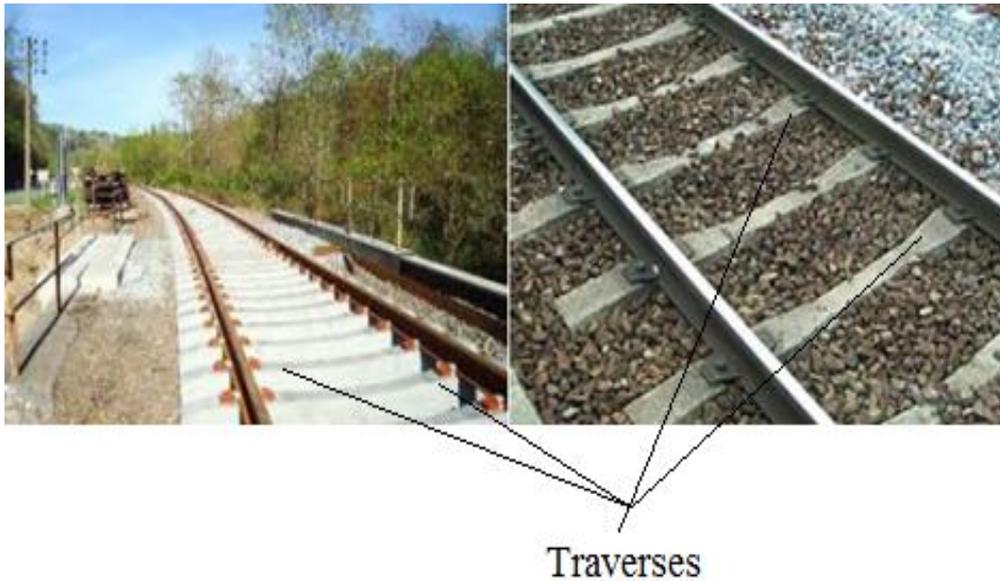


Figure 12 : exemples de différents types de traverses.

3.1 Rôle des traverses :

Le rôle des traverses est de maintenir les rails à l'écartement normal et de répartir la charge que les rails reçoivent des essieux sur le ballaste. Pour cela il faut que :

- Leurs dimensions en longueur et en largeur fournissent une surface d'appui suffisante pour que la pression unitaire reste dans certaines limites.
- Leurs épaisseurs leur donne la rigidité nécessaire tout en laissant une certaine élasticité.
- Quelle résiste aux agents atmosphériques.
- Que par leurs formes les traverses résistent efficacement aux déplacements longitudinaux et transversaux.
- Quelle permettent l'emploi d'un système d'attache durable.

Remarque :

Une traverse trop longue à tendance à ce cintré vers le bas, une traverse trop courte tend à ce cintré vers le haut.

On rencontre à l'heure actuelle 3 types traverses :

- Traverses en bois
- Traverses métallique
- Traverses en béton armé.

3.2 Type de traverses :

3.2.1 Traverses en bois :



Figure 13 : Modèle d'une traverse en bois.

* Dimensions :

Les traverses en bois mesurent en générale 2.6 m de long, 0.28 m de largeur et 0.14 m d'épaisseur.

La surface S est de l'ordre de $S=28*260=7280 \text{ cm}^2$ afin de calculer une contrainte donner.

* Attaches :

Les rails a patin sont fixés au traverses en bois par des crampons ou par des tire fond avec ou sans interpositions d'une celle métallique.

Le tire fond est une grosse visse que l'on met en place au moyen d'une clef a moufle, à cet effet la tête fini par une forme carrée.



Figure 14 : Dimensions d'un crampon.



Figure 15 : Exemple de tire fond

3.2.2 Traverses métallique :



Figure 16 : Modèle d'une traverse métallique.

Elles ont une forme d'une auge renversée, cette forme est obtenue par laminage qui fournit aux rails une bonne surface d'appuis et s'accroche bien dans le ballaste. Les traverses métalliques mesurent 2.5 m de long, 0.26 m de largeur et 0.09 m d'épaisseur ; avec une largeur de la table de l'ordre de 0.13m. Cette forme lui permet un bon encrage dans le ballaste et s'oppose aux déplacements transversaux et longitudinaux. Afin de pouvoir attacher le rail à la traverse on prévoit des trous rectangulaires avec des coins arrondis. Le mode d'attachement se fait pas boulon.

*Les attaches :

Le point faible de la traverse métallique est la présence des trous nécessaires pour les attaches de fixation du rail à la traverse. Ces trous rectangulaires, malgré leurs coins arrondis, constituaient l'amorce de fissures qui se formaient dans les angles et qui, se développant, entraînaient après un certain temps la déformation. Le patin du rail est maintenu pas deux crapauds serrés par des boulons à tête plate.



Figure 17 : Vue du dessus de la tête d'un crampon à section arrondie.

3.2.2.1 Dimensions des traverses métalliques :

	S.N.C.B*	Allemagne
Longueur de la traverse	2.550 m	2.500 m
Hauteur	10 cm (Angleur) 9.5 cm (Ougrée)	10 cm
Largeur de la base	26.6 cm (Angleur) 26 cm (Ougrée)	26 cm
Largeur de la table	13.5 cm (Angleur) 13 cm (Ougrée)	13.5 cm
Epaisseur de la table	8 mm (Angleur) 11 mm (Ougrée)	9 mm
Epaisseur des ailes	8 mm	9 mm

Tableau2 : Récapitulatif des dimensions pour les traverses métalliques.

* : Société national des chemins de fer belges.

3.2.2 Traverses en béton armé :

Les très nombreux types peuvent se rattacher à trois conceptions bien distinctes :

Premier système : Traverses monobloc : la traverse est une poutre qui rappelle par sa forme la traverse prismatique en bois, ce sont les traverses Calot, Orion, etc...

Second système : Traverses mixtes : la traverse est constituée de deux appuis à large empattement, dont l'écartement est maintenu par une entretoise.

Troisième système : Traverse en béton précontraint.

- Traverses prismatiques monoblocs en béton armé :

Traverses Calot :

La traverse est pourvue au moulage de trous à filets creux. Dans ces trous, on visse des tree-nails en bois de charme créosote, pourvus de filets extérieurs.

Lorsqu'on visse le tirefond dans le tree-nails, lisse intérieurement, les filets extérieurs du tree-nail s'appliquent contre les filets creux du béton et l'on obtient ainsi la résistance à l'arrachement désirée. Sa longueur est actuellement de l'ordre de 2.4m.

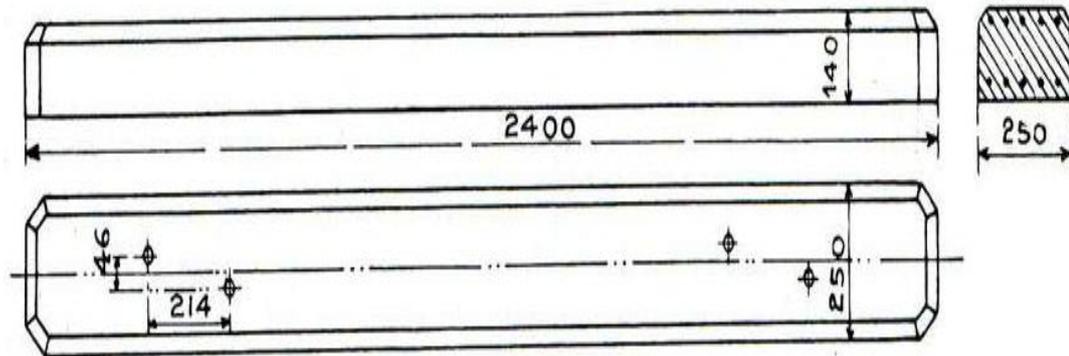


Figure 18 : Dimensions de la traverse système Calot.



Figure 19 : Modèle de traverses en béton armé.

- Traverses mixtes en béton armé ordinaire :

Traverse Vagneux :

La traverse vagneux est du type semi -rigide et ce, pour parer au reproche que l'on adresse aux traverses prismatique à savoir : le bourrage accidentel de leur partie centrale peut déterminer des efforts de flexion capables de fissurer le béton.

La partie centrale est constituée d'une poutrelle métallique, de profil double T, qui s'encastre dans deux larges têtes en béton armé.

L'attache est constituée par un tirefond vissé dans un logement venu de moulage.



Figure 20 : Modèle de traverses mixte en béton ordinaire.

Les dimensions de l'ensemble des composants de la traverse sont mentionnées dans la figure suivante :

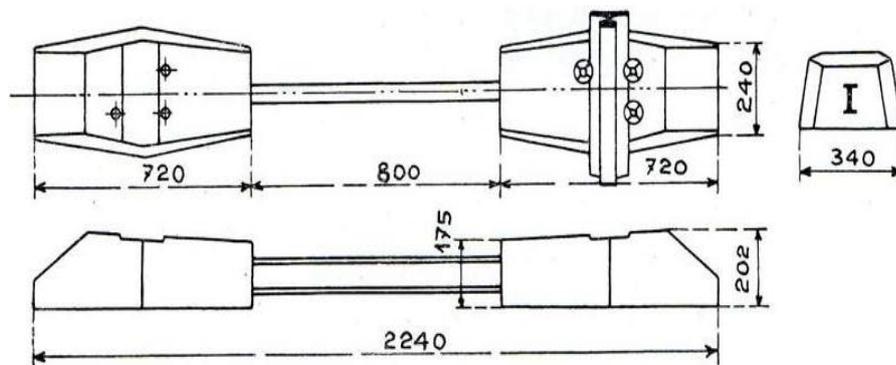


Figure 21 : Dimensions de la traverse système Vagneux.

- Traverses en béton précontraint :

La précontrainte ou compression initiale résulte de la mise en tension préalable des tirants (ou des fils) d'armatures ancrés aux extrémités, entourés ou non de gaines. La tension des tirants se transmet au béton sous forme d'une compression égale à cette tension de sorte que la résistance à la fissuration est, en principe, égale à la tension de précontrainte.

Au moment du bétonnage, il est nécessaire de vibrer le béton afin d'assurer son homogénéité parfaite.

Appliquée aux traverses de chemin de fer, la précontrainte a pour but principale de combattre la fissuration du béton. Beaucoup de réseaux s'intéressent à la question, mais on en est toujours au stade expérimental.

En ce qui concerne les attaches des traverses en béton, l'utilisation des tirefonds est largement employé pour fixer le rail sur les traverses en béton.



Figure 22 : Exemple de traverse en béton précontrainte.

La fixation des traverses en béton précontrainte avec les rails se fait quasiment de la même manière que les autres types, les systèmes de fixation sont comme suit :



Figure 23 : Clips en acier pour fixation de traverses en béton.



Figure 24 : Système de fixation des rails aux traverses en bois.



Figure 25 : Système de fixation des rails aux traverses métallique.

4 Le ballast :

Le ballast est un lit de graviers ou de pierres sur lequel repose une voie de chemin de fer. C'est donc un tas de cailloux peu stable. Pourtant, on n'a rien trouvé de mieux pour stabiliser les voies du chemin de fer et offrir un confort optimal aux passagers. Les cailloux sont facilement disponibles et ils ne polluent pas. Ainsi, depuis toujours, les rails reposent sur du ballast, une épaisseur compacte de cailloux durs et concassés, aux formes anguleuses. Les rails sont aussi posés sur les traverses, ces pièces qui permettent notamment de maintenir l'écartement des rails. Les dimensions de ces pierres sont de l'ordre de quelques centimètres.

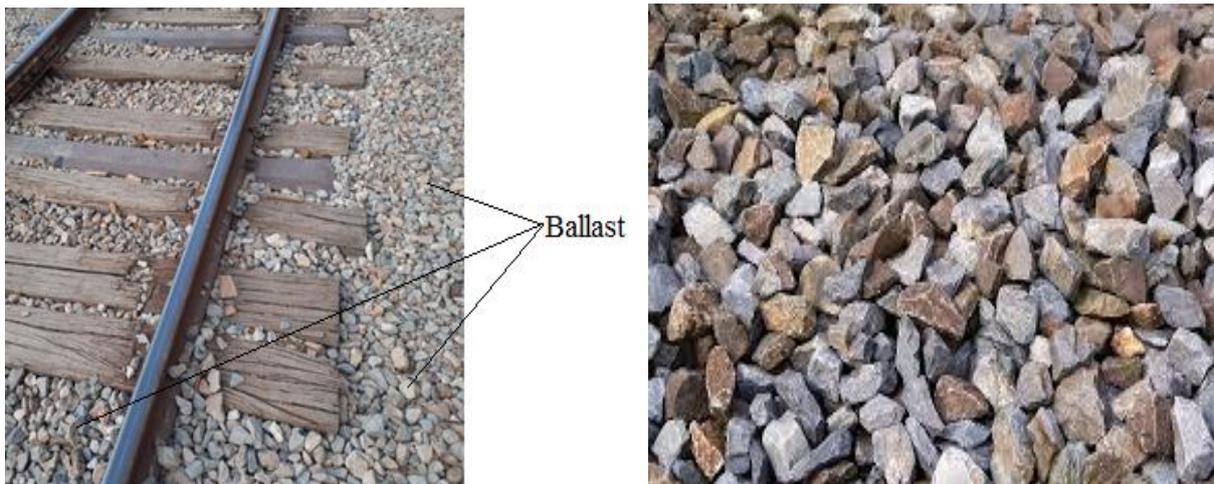


Figure 26 : Exemple du ballast.

4.1 Rôle du ballast :

Si les traverses reposaient directement sur la plateforme, elles s'enfonceraient plus ou moins dans le terrain naturel dont la résistance est généralement insuffisante pour supporter la charge transmise par les traverses.

On évite cet inconvénient en interposant entre les traverses et la plateforme une couche de ballast d'une hauteur suffisante pour que la pression reçue par les traverses, sous l'action des charges roulantes, se répartisse aussi uniformément que possible sur une plus grande surface de la plateforme.

Le bourrage du ballast sous la traverse conserve à la voie son nivellement correct. Il freine aussi les déplacements longitudinaux et transversaux.

L'épaisseur minimale généralement admise pour la couche de ballast entre la plateforme et la face intérieur des traverses est de 30 centimètres.

4.2 Qualité requise :

Un bon ballast doit présenter les qualités suivantes : perméabilité, élasticité, solidité, se prêter aux bourrages, ne pas être gélif, ne pas se désagréger sous l'influence des agents atmosphériques.

Perméabilité : Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses) ; cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. Et puis, la voie gelée perd son élasticité.

Elasticité : Cette caractéristique dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.

Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne « revenant » pas lorsque la charge a disparu.

Solidité : Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage. Un ballast tendre ou poreux se désagrège rapidement, il absorbe l'humidité qui retient les poussières et les corps étrangers. Toutes choses égales, le ballast pourra être d'autant plus fin qu'il sera plus dur.

Le choix du ballast est conditionné par

- Les ressources locales.
- Le prix qu'il faut payer pour un bon ballast.

4.3 Dimensions des éléments :

Le ballast est théoriquement fourni au calibre 40x60 mm (la longueur étant mesurée en diagonale). Lorsque la dimension dépasse 60 mm, bourrage devient difficile.

Pour obtenir la perméabilité maximum, les dimensions doivent être aussi uniformes que possible, sinon les éléments les plus petits combleraient les vides laissés entre les plus gros. Cette uniformité donne de la compacité au ballast et favorise une répartition régulière des pressions sur la plateforme. Le poids d'un mètre cube de ballast de 40x60 mm ou de 20x40 mm est en moyenne de 1400 kg.

5- Mise en place des éclisses :

Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique servant à raccorder deux rails consécutifs d'une voie ferrée. Les éclisses sont apposées par paire, à l'aide de boulons ou de « cés » de serrage (pièces métalliques dont la forme rappelle celle de la lettre « C »).

Les éclisses sont souvent utilisées à proximité des aiguillages ou autres appareils de voie : en pleine voie, la jonction entre deux rails se fera par soudure, par exemple selon la technique du long rail soudé.



Figure 27 : Exemple d'éclisse

Les éclisses relient deux bouts de rails en prenant appui sous le champignon et sur la partie inclinée du patin et sont serrées par 4 ou 6 boulons. Elles sont de profil symétrique ou presque et contiennent sur leur face extérieure deux nervures longitudinales empêchant la rotation des têtes de boulons. Certaines éclisses à 6 trous comportent une ondulation verticale et éventuellement des ondulations horizontales pour renforcer leur rigidité.

Comportement et dimensionnement des voies ferrées



Introduction	40
Dimensionnement des éléments du chemin de fer	40
Les appareils de voie	45
Concepts communs de sécurité ferroviaire	49

1- Introduction :

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement. Généralement on utilise deux types d'appareils de voie. Le présent chapitre a pour objectif de donner une idée très claire sur le comportement sur ce système de transport guidé qui nécessite dans la plupart des cas un changement de direction avec l'aide d'une tierce personne extra voitures.

2-Dimensionnement des éléments du chemin de fer :

2.1- Etude et pose des voies :

En ce qui concerne l'étape de la pose des voies, le ballast est déversé sur la plateforme et réglé à la hauteur des faces inférieures des traverses ; ensuite les traverses sont alignées transversalement plus ou moins à l'endroit qu'elles doivent occuper ; les rails sont déposés provisoirement bout à bout, mais ils sont placés à peu près à leur écartement normal , ils sont éclissés sommairement en prenant soin de placer entre eux une cale provisoire dont l'épaisseur correspond à l'ouverture du joint de dilatation.

Désormais on procède à la mise en place exacte des traverses, celles-ci sont ensuite tirefonnées. Le ballast devant constituer la couche supérieure, est refoulé sous les traverses et la voie est amenée par relèvements successifs à la pince au niveau voulu. Il s'agit alors de procéder au dressage provisoire en alignement, puis de dresser la voie dans le sens de la hauteur c'est-à-dire de procéder au relevage au niveau donné par les piquets de hauteur et au moyen de mires ou d'un jeu de nivelettes.

Le bourrage a pour but de donner une bonne assiette aux traverses c'est-à-dire de consolider leur position pour qu'elles n'aient aucune tendance à s'affaisser ou s'incliner d'un côté. Il faut qu'il soit le plus intense au point d'application de la charge, c'est-à-dire au droit du rail et puis, qu'il aille graduellement en diminuant, jusqu'à 40 ou 50 centimètres vers l'intérieur de la voie et, à l'extérieur, jusqu'à l'extrémité de la traverse.

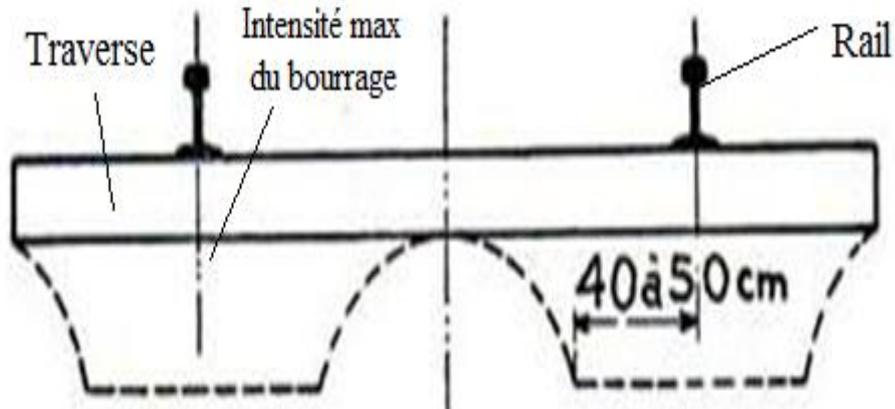


Figure1 : Diagramme de l'intensité du bourrage

La partie centrale de la traverse ne doit pas être bourrée, mais simplement garnie de ballast, de manière qu'il n'y ait pas de vides qui permettraient le déboufrage des parties voisines sous l'action des charges roulantes. Le bourrage des pierrailles se fait à la pioche par équipe de quatre hommes attaquant la traverse de quatre côtés à la fois ; l'opération s'effectue en deux phases.

Dans la première phase, les ouvriers occupent les positions 1 à 4, deux se plaçant entre les rails, les deux autres au dehors.

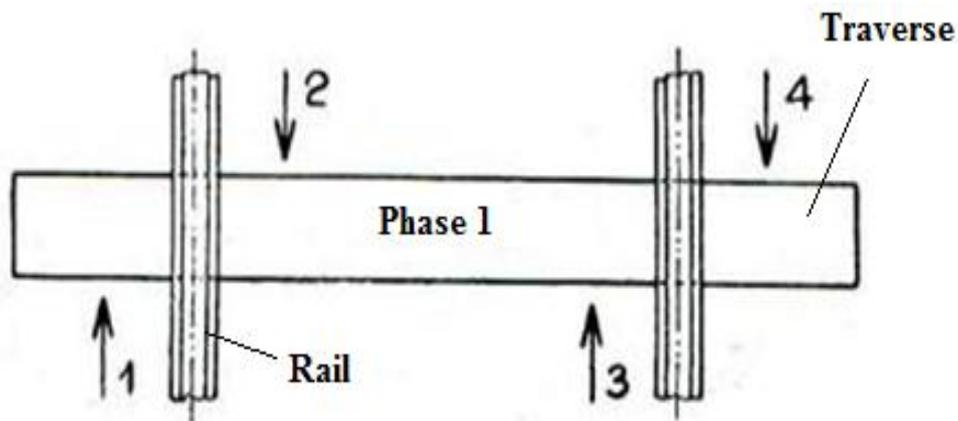


Figure 2 : Première phase du bourrage de la traverse

Dans la seconde phase, les ouvriers occupent les positions symétriques par rapport à l'axe de la traverse

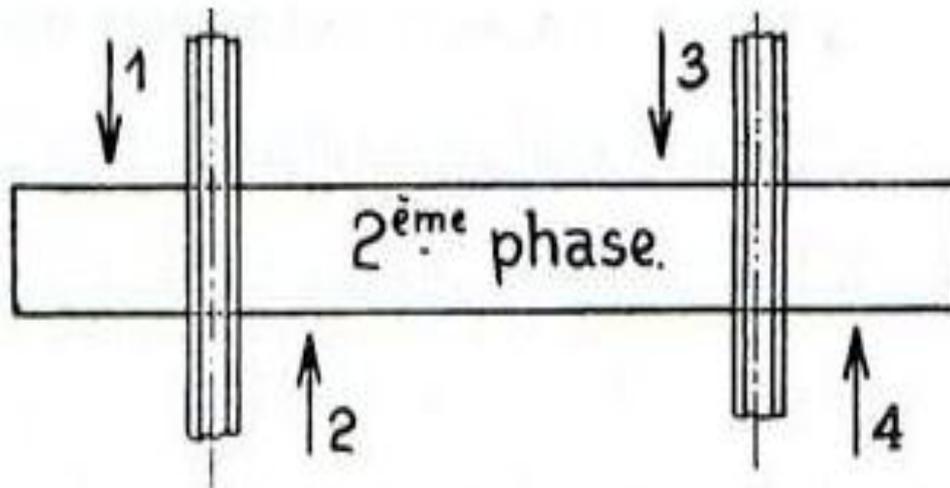


Figure 3 : deuxième phase du bourrage de la traverse.

A début de la manœuvre, les premiers coups de pioche sont donnés presque verticalement afin d'augmenter la cohésion du ballast, puis on incline peu à peu l'outil et l'on termine par des coups presque horizontaux, en évitant de toucher les traverses et les rails. On reconnaît que la traverse est suffisamment bourrée au son qu'elle rend quand on laisse tomber verticalement et d'une certaine hauteur, la tête d'une pince à riper (ou d'une canne à boule) sur chaque tête de traverse.

Au sens propre, l'ouvrier ne bourre pas la voie, il la nivelle ; en réalité, c'est le train qui bourre la voie via la charge dynamique au cours des passages. L'ouvrier ne pourrait soulever la voie en la bourrant.

2.1.1- Dressage définitif de la voie :

Sous l'effet du bourrage, des altérations légères dans la position de la voie peuvent se produire. On les corrige par le dressage définitif qui se fait avec les mêmes outils et les mêmes méthodes que le dressage provisoire mais avec plus de soins encore.

2.1.2- Éclissage :

La voie étant bourrée et dressée définitivement, on complète l'éclissage des rails et l'on place éventuellement les dispositifs anti-cheminant.

2.1.3-Régalage du ballast :

Pour finir avec la pose de la voie, il ne reste plus qu'à régaler le ballast et les banquettes d'après les profils imposés et à faire les dernières retouches et vérifications de la voie, don réalise les accotements et des fossés.

Remarque : Quelque temps après la mise en service de la voie, il se produit sur remblai neuf un tassement général auquel il faut remédier en relevant la voie pour la ramener à son niveau primitif suite aux efforts dynamique ci-haut relaté. Après le passage d'un certain nombre de trains lourds, on procède à un relèvement qui donne à la voie son assiette définitive.

A l'heure actuelle, il existe des machines hyper sophistiqué et moderne qui peuvent à elles seule faire toutes les étapes inculqués avec une grande précision et surtout une très grande rapidité.



Figure 4 : Machine à fabriquer les voies « MATISA P95 GCF.

2.2-Calcul de la section du rail :

L'étude mathématique des conditions de sollicitation du rail présente de grande difficulté. Rationnellement, on est appelé à calculer le rail comme une pièce continue reposant sur plusieurs appuis élastiques et parcourue par des charges mobiles.

Ces calculs sont complexes. En pratique, on se borne aux deux hypothèses suivantes pour déterminer le moment fléchissant maximum :

Si l'on admet que le rail est simplement appuyé sur les traverses (voir figure 1), le moment de flexion maximum est :

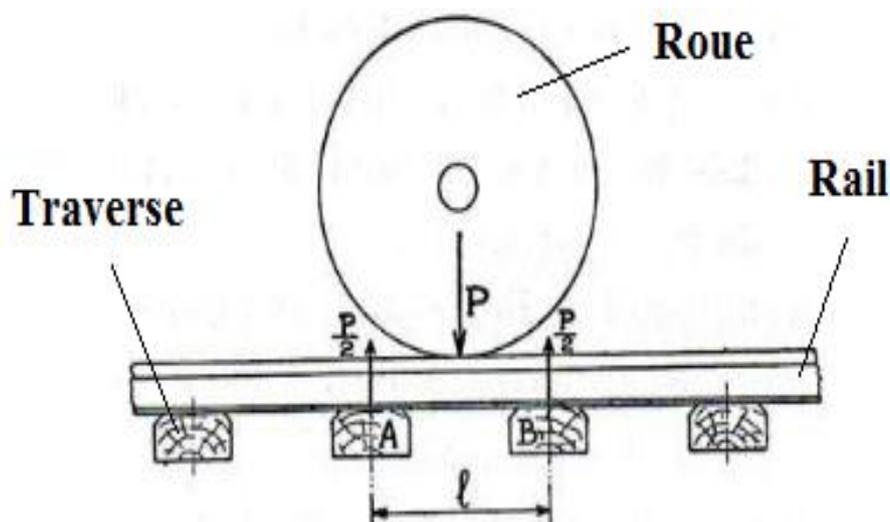


Figure 5 : Représentation des sollicitations d'une roue sur le rail.

$$M_1 = \frac{P l}{2} = \frac{Pl}{4} = 0.25Pl$$

Avec : P = poids de la roue la plus chargée,

l = écartement des appuis.

Si l'on estime que, le rail étant attaché aux traverses par les tirefonds, il existe une solidarité assez complète pour qu'on puisse considérer le rail comme encastéré, le moment maximum au milieu de la travée est :

$$M_2 = \frac{Pl}{8} = 0.125Pl$$

Mais l'hypothèse de l'encastrement est beaucoup trop favorable et n'est jamais réalisée dans la pratique. En fait, selon l'état du ballast, la solidité des attaches et surtout la position des roues sur les travées voisines, le rail peut se trouver dans tous les états intermédiaires entre l'encastrement et le simple appui.

On est amené à admettre un moment moyen :

$$M = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{0.25 + 0.125}{2} Pl = 0.187Pl$$

D'autre part, la formule d'équarrissage :

$$M = \frac{I}{v} R$$

Où I = moment d'inertie,

v = distance de l'axe neutre à la fibre la plus fatiguée,

R = coefficient de résistance,

Ceci implique connaissant R, de déterminer la hauteur du rail ; ou bien, connaissant la section, de déterminer la fatigue du métal.

Les études sur le calcul des rails montrent :

- Que le moment fléchissant maximum sous la charge diminue lorsque le coefficient du ballast « c » augmente c'est à dire lorsqu'on améliore le ballast et la plateforme ;
- Et si on augmente le moment d'inertie, ce qui entraîne l'augmentation du poids du rail par mètre courant, on réduit les réactions maxima c.-à-d. :
 - o la pression du rail sur les traverses,
 - o la pression des traverses sur le ballast,

Ce qui nous économise les dépenses d'entretien et, pour un même ballast et un même espacement des traverses, on réduit la fatigue du rail.

2.3- Pré-dimensionnement des traverses :

Pour un projet de ligne à voie normale (1,435 m), on désire être fixé approximativement sur le poids du rail au mètre courant, on peut le déterminer par la formule simple :

Par mètre linéaire, il faut, en kg deux fois la charge maximum de l'essieu en tonnes, plus 2 kg ce qui nous donne :

$$P \frac{kg}{m} = 2xP^t + 2kg$$

Exemple : si $P^t = 24t \Rightarrow$

$$P \frac{kg}{m} = 2x24 + 2kg = 50kg$$

A partir de là qu'un ordre de grandeur puisque le profil du rail dépend également de la distance admise entre les traverses d'appui, mais tel quel, il permet d'estimer en première approximation, la dépense à engager pour l'achat des rails.

A partir de ces calculs qu'on peut avoir une idée sur le profil du rail et de la distance admise entre les traverses d'appui, et donc ça nous permet de permet d'estimer approximation, la dépense à engager pour l'achat des rails (nombre de traverses pour un projet donné).

2.4- Travaux d'entretien :

Les projets des infrastructures ferroviaires se caractérisent par leur linéaire assez important, pour cela les travaux d'entretien nécessitent l'outillage en pneumatique ou électrique qui sont commandés par de petits groupes avec moteurs à essence. Mais la tendance actuelle est de supprimer les groupes et leurs câbles et d'actionner les engins par moteurs individuels à essence ce qui rend les outils plus maniables.

On utilise notamment les outils mécaniques ci-après :

1. Bourroirs électriques ou à air comprimé frappant jusqu'à 20 coups par seconde, munis d'un sabot adapté à la nature du ballast.
2. Tirefonneuses à moteur individuel pour visser et dévisser les tirefonds, capables de dévisser 15 à 20 tirefonds par minute (moteur à essence ± 5 CV, vitesse de l'outil ± 100 t/min).
3. Perceuses de rails pour forer les trous des boulons des éclisses (moteur à essence 2,5 CV, vitesse de l'outil 1500 à 2500 t/min).
4. Boutonneuses pour les éclissages.
5. Délardeuses pour le resabotage des traverses (moteur 2 CV à 6 CV, réfection de 200 à 250 épaulements à l'heure).
6. Scies entraînées par moteur à essence qui tronçonnent un rail en 6 à 10 minutes ; les abouts sont coupés d'équerre et présentent des surfaces bien nettes.
7. Meulage des rails.
8. Autotracteur pour la propulsion des trains transportant le matériel de voie.

Ce matériel est indispensable pour être efficace dans les intervention dans les chantier afin de minimiser l'occupation de tronçon à entretenir.

3- Les appareils de voie :

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné, lorsque d'autres itinéraires en divergent ou le traversent. Il permet entre autres d'assurer les bifurcations et les croisements

d'itinéraires. Il peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée.



Figure 6 : Poste d'aiguillage

Une mauvaise utilisation ou manœuvre des appareils de voie peut avoir des conséquences graves :

- déraillements ;
- erreurs de direction ;
- nez à nez,
- réceptions sur voie occupée,

Il convient donc d'y apporter toute l'attention nécessaire, notamment en vérifiant la position de l'appareil de voie et, pour une aiguille, son collage. Les taquets en position « haut » ont un rôle de protection des voies. Les verrous lorsqu'ils sont en action (ou lancés) permettent de franchir les aiguilles à une vitesse $>$ à 40 Km/h lorsqu'elles sont prises en pointe. Les éléments constitutifs d'un appareil de voie sont :

3.1-L'aiguillage :

Le système d'aiguillage est indispensable pour orienter les trains sur les voies. Il se compose :

- 1- D'une partie mobile, les lames d'aiguilles: c'est la partie flexible qui vient se plaquer contre le rail de la voie directe pour dévier le train sur une autre voie.
- 2- D'une partie fixe, la contre-aiguille : c'est la partie fixe du rail, sur laquelle l'aiguille vient buter.*
- 3- Le verrou ou griffe d'aiguille : Maintient l'aiguille en place dans la position ouverte ou fermée.
- 4- La tringle : est la tige qui actionne l'aiguillage et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles
- 5- Le moteur d'actionnement fait bouger la tringle et les aiguilles.
- 6- Le cœur d'aiguille (le cœur de croisement): c'est le point où se croisent les rails.
- 7- Le contre-rail sert à guider et à assurer l'essieu durant le franchissement du croisement.

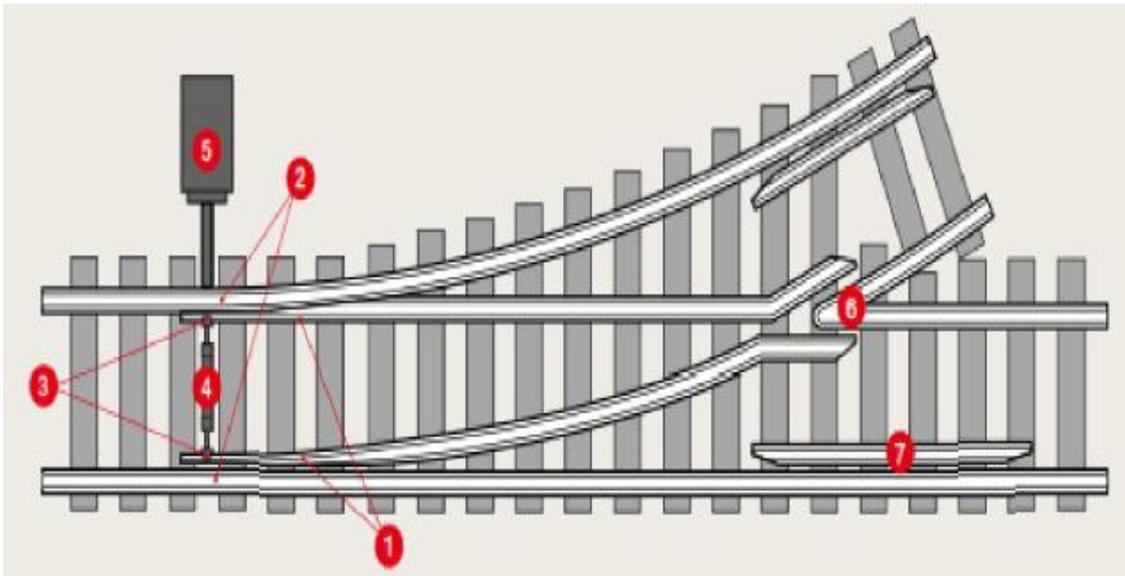


Figure 7 : Système d'aiguillage.

Le plus souvent, il est commandé à distance, depuis un poste d'aiguillage. Chaque fois que l'agent modifie la position de l'aiguille, il vérifie sur son tableau de contrôle que celle-ci est bien en place. L'objectif : permettre le passage des trains en toute sécurité.

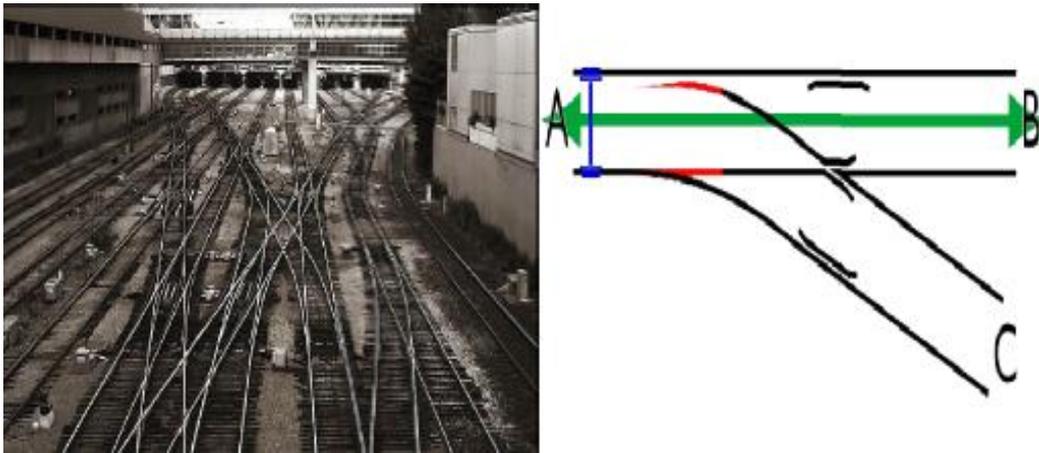


Figure 8 : Exemple d'aiguillage.

3.2- Le croisement :

Partie de l'appareil assurant la continuité de deux itinéraires sécants au droit de l'intersection entre files opposées et comprenant un cœur de croisement en acier monobloc ou assemblés, 2 rails extérieurs équipés de 2 contrerails avec entretoises de liaison.

- 1 : partie aiguillage
- 2 : partie intermédiaire
- 3 : partie croisement

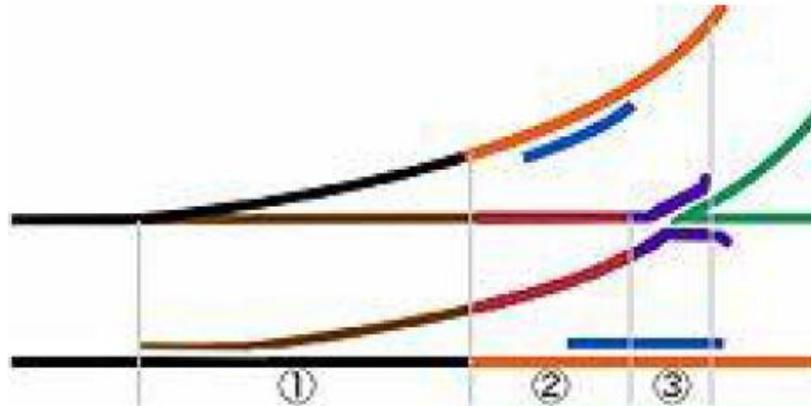


Figure 9 : Constitution d'un branchement.

3.3-Les traversées : On distingue:

Les traversées obliques (TO) ;

Dispositif permettant à deux voies de se couper sans entraver la circulation sur l'une ou l'autre des voies

Les traversées-jonctions simples (TJS) ;

Les traversées simples permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre, sans qu'il ne soit possible d'agir sur l'orientation des trains. Dans certains cas (relativement rares), ces deux voies peuvent être d'écartements différents.

Les traversées jonction simples (TJS) permettant la jonction des voies uniquement dans un sens de circulation ;



Figure 10: Traversées-jonctions simples (TJS)

Les traversées-jonctions doubles (TJD);

Les traversées jonction doubles (TJD) permettant la jonction des voies dans les deux sens de circulation.

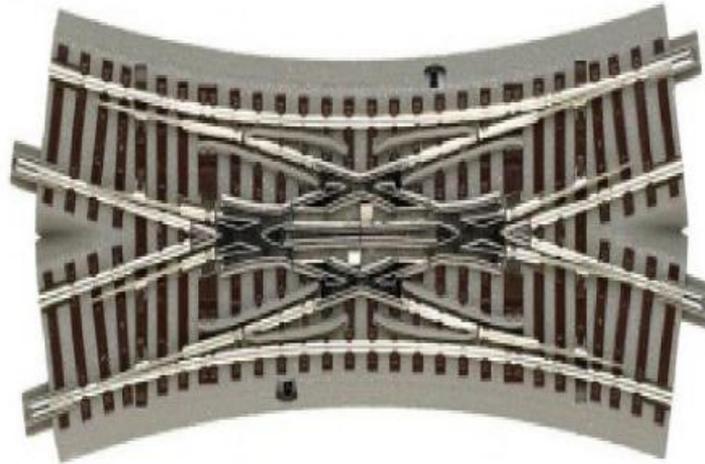


Figure 11: Traversées-jonctions doubles (TJD)

Plus rare, il existe aussi des traversées perpendiculaires qui permettent le croisement de voies. On dénombre très peu de traversées de ce type sur des voies ferrées, mais elles sont cependant plus répandues sur des voies de tramway en ville, car leur tracé dépend de l'aménagement des rues. Ces traversées nécessitent cependant des précautions sur l'isolation électrique des caténaires qui se croisent.

4. Concepts communs de sécurité ferroviaire :

La circulation ferroviaire comporte des risques pour l'environnement (transport de marchandises dangereuses), les tiers (traversées d'agglomérations, passages à niveau, etc.), les voyageurs dans les gares et à bord des trains et le personnel.

Les principaux risques ferroviaires sont au nombre de cinq :

4.1- collision nez à nez : il s'agit d'une collision frontale entre deux trains quand ils se retrouvent face à face sur la même voie. Ce risque est pris en charge par les enclenchements.



Figure 12 : Exemple de collision nez à nez.

4.2- Collision par rattrapage :

C'est le risque de collision par l'arrière lorsqu'un train percute un autre train qui se trouve devant lui. Ce risque est pris en charge par les cantonnements.



Figure 13 : Exemple de collision par rattrapage.

4.3- La prise en écharpe :

La collision latérale entre deux trains qui se produit à une intersection ou à une jonction de voies. Ce risque est pris en charge par les enclenchements internes au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraires, enclenchement de transit...).

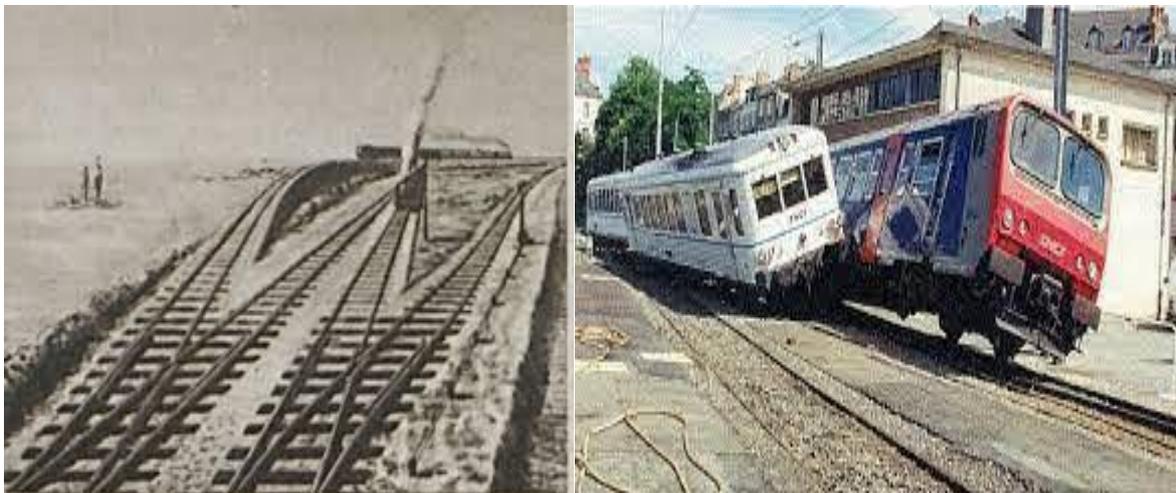


Figure 14: Localisation et exemple de collision par prise en écharpe

4.4- la collision avec un obstacle :

C'est le risque de rencontre avec un obstacle non ferroviaire (rocher, animal, véhicule...) : par exemple le risque de collision sur un passage à niveau entre un train et une voiture. Ce risque est pris en charge par des dispositifs d'annonce des trains.



Figure 15: Exemple de collision par avec un obstacle.

4.5- le déraillement :

Incident ou accident dans lequel un véhicule ferroviaire sort des rails, totalement ou partiellement et dont l'origine peut être diverse (l'excès de vitesse, la manœuvre d'un appareil de voie au passage du train, une panne du système d'aiguillage ou au mauvais état de la voie ou du matériel roulant). Ce risque est pris en charge par la limitation de vitesse, par des systèmes de surveillance des chargements et de la température des boîtes d'essieux.



Figure 16 : Exemple de déraillement de trains.

Ouvrages d'assainissement d'une ligne ferroviaire

IV

Introduction	52
Types et fonctions du drainage	53
Interaction plateforme drainage longitudinal	54
La pérennité de la plateforme	54
Drainage profond des eaux souterraines	54
Éléments préfabriqués utilisés	58
Conclusion	63

1- Introduction :

L'installation de l'infrastructure ferroviaire nécessite des études approfondies et complexes à la fois. L'achèvement de la concrétisation de ces études exige un travail supplémentaire qui se résume dans la réalisation des ouvrages d'assainissement afin de préserver la stabilité et la durabilité des projets réalisés. Le facteur naturels qui cause de nombreux désordres affectant la tenue de la voie ferroviaire est l'eau, elle contribue rapidement à la réduction de la portance qui se manifeste notamment par l'altération du nivellement, et donc des défauts de la géométrie des voies.

Cette eau peut provenir :

- Des eaux de pluie qui s'écoulent dans les structures d'assise.
- Des eaux de ruissellement des talus ou des bassins versants.
- Des eaux internes éventuelles (nappes ou circulations sous-jacentes).

Le drainage des plateformes ferroviaires assure la pérennité des voies et donc la sécurité, la fiabilité et la réduction du coût de maintenance du transport ferroviaire. Dans le domaine ferroviaire le drainage longitudinal a deux fonctions, un drainage superficiel recueillant les

eaux de ruissellement des talus ou des bassins versants, et un drainage profond assurant le rabattement de la nappe phréatiques dans les déblais.

L'assainissement des plates-formes routières, autoroutières ou ferroviaires est destiné à collecter et évacuer les eaux pluviales de ruissellement a pour but :

- La circulation en toute sécurité ;
- Une pérennité des ouvrages : routes et/ou voies ferrées ;
- Une protection au profit du milieu récepteur contre la pollution.

2- Types et fonctions du drainage :

Les structures de drainage et les voies sont appelé infrastructure. Ils assurent un drainage linéaire longitudinal avec un dimensionnement de temps de retour décennal, ainsi qu'un drainage transversal (dimensionnement de temps de retour centennal) en utilisant des ouvrages hydrauliques de traversée, qui permettent le transit, d'un côté à l'autre de la plateforme, des eaux des bassins versants naturels et des dispositifs de drainage longitudinal.



Figure 1 : Exemples d'assainissement transversal.

Les dispositifs de drainage regroupent les fonctions suivantes :

- La collecte et l'évacuation des eaux météoriques tombant sur la plateforme, le talus de déblai, ainsi que le bassin versant local.
- Le drainage en profondeur de la plateforme pour rabattre le niveau de la nappe à la cote nécessaire afin d'assurer la tenue de la voie.

En plus de leur fonction les types de drainage se distinguent

- par leur position (drainages de déblai ou de remblai),
- par leur nature (drainages à ciel ouvert ou enterrés). Les termes "drainage" et "assainissement" sont utilisés pour traiter indifféremment de l'évacuation des eaux de

ruissellement ou du rabattement des eaux internes rejoignant souvent des exutoires communs.



Figure 2 : Exemples d'assainissement longitudinal.

3- Interaction plateforme drainage longitudinal :

Le drainage des plateformes ferroviaires a un rôle stratégique pour la gestion de l'exploitation des voies ferrées à court et long terme. En effet, les conditions de sécurité de la circulation des trains sur la superstructure sont directement liées à la portance des couches d'assise, qui est elle-même dépendante de plusieurs facteurs dont la qualité du drainage.

Une mauvaise portance se traduit par des défauts de nivellement ce qui engendre l'augmentation des coûts de surveillance et maintenance, d'éventuels ralentissement de circulation et peut dans des cas extrêmes provoquer des incidents ou l'accident.

4- La pérennité de la plateforme :

L'eau est le principal facteur de désordre et de dégradation de l'infrastructure. La pérennité de la plateforme dépend donc en grande partie de la qualité de l'assainissement.

Cette qualité est effective sous trois conditions :

- Bon dimensionnement par des études hydrologiques et hydrogéologiques lors de la phase projet ;
- La réalisation de la plateforme dans les règles de l'art lors de la phase travaux ;
- Après la mise en service d'un système de drainage, la qualité de ce dernier sera dépendante de l'entretien.

5- Drainage profond des eaux souterraines :

Dans le domaine ferroviaire on distingue des ouvrages en terre en remblai et en déblai, le drainage profond peut être prévu principalement dans les déblais.

5.1- Les déblais humides :

Un déblai est dit humide lorsque le niveau piézométrique prévisible maximal de la nappe est situé au moins à 2 m du point P (point de la surface supérieure de la sous-couche situé dans l'axe de la plateforme).

Dans ce cas, les dispositifs réalisés sont appelés dispositifs de drainage profond.

5.2- Les dispositifs utilisés pour le drainage profond :

Les principaux dispositifs couramment employés pour le drainage profond des déblais humides sont récapitulés dans le tableau suivant :

Dispositifs à ciel ouvert	Dispositifs enterrés
1. Les Fossés Terre, Revêtus ou non (FT, FTR)	3. Les Collecteurs – Drainants (CD)
2. Les Fossés Béton Préfabriqués à Barbacanes (FBPB)	4. Les Caniveaux à Fente (CF)

Tableau1 : Dispositifs de drainage courant.

Le choix d'un type d'ouvrage résulte de la prise en compte des contraintes d'utilisation propres à chaque dispositif (emprise, coût,...) et de l'examen général de la situation des lieux à savoir l'évaluation des débits à évacuer, caractéristiques des terrains encaissants, nivellement des points essentiels, géométrie de la plateforme,...etc. Les zones de déblais humides nécessitent en général un rabattement de la nappe phréatique par tranchées drainantes de part et d'autre de la structure d'assise. La profondeur du calage du drainage profond qui assure le rabattement de la nappe phréatique à au moins 1.5 m sous le point « P » qui a été déterminée de manière empirique à partir des retours d'expérience. Elle correspond à la mise hors d'eau théorique de la partie supérieure de terrain dont l'épaisseur est d'environ 1 m, et la structure d'assise dont l'épaisseur est variable.



Figure 3 : Exemples de fossé de terre revêtu FTR.

5.3- Les principaux dispositifs employés dans le drainage profond des déblais humides :

5.3.1- Les fossés en terre (FT) :

Ils ont une forme trapézoïdale avec des flancs en pente à rapport 3/2 ou 2/1 (base/hauteur). Dans les déblais humides, la réalisation de fossés de grande profondeur fait l'objet d'une étude particulière pour s'assurer du calage du profil en long (emprise) et de la stabilité des flancs du fossé. Lorsqu'il est revêtu par du béton, la fonction de drainage profond est assurée par la pose de barbacanes. Il est alors appelé Fossé Terre Revêtu à Barbacanes.



Figure 4 : Exemples de fossé de terre FT.

5.3.2- Les fossés en béton préfabriqués à barbacanes (FBPB) :

D'une manière générale ce sont des éléments préfabriqués avec une longueur de 0,75 m ou 1 m, de flancs verticaux percés d'orifices (barbacanes) de 80 mm de diamètre.

Leur fonction se focalise dans le drainage des déblais humides en zones courantes est soumise aux conditions de débit et de pente.

Leur débit admissible est limité (de l'ordre de 60 l/s pour une pente de profil en long de 0,002 m/m).

En cas de débit trop important, ils sont remplacés par des fossés terre, revêtus ou non. Seuls les fossés préfabriqués de type M avec deux rehausses permettent d'assurer le drainage profond de la plateforme.

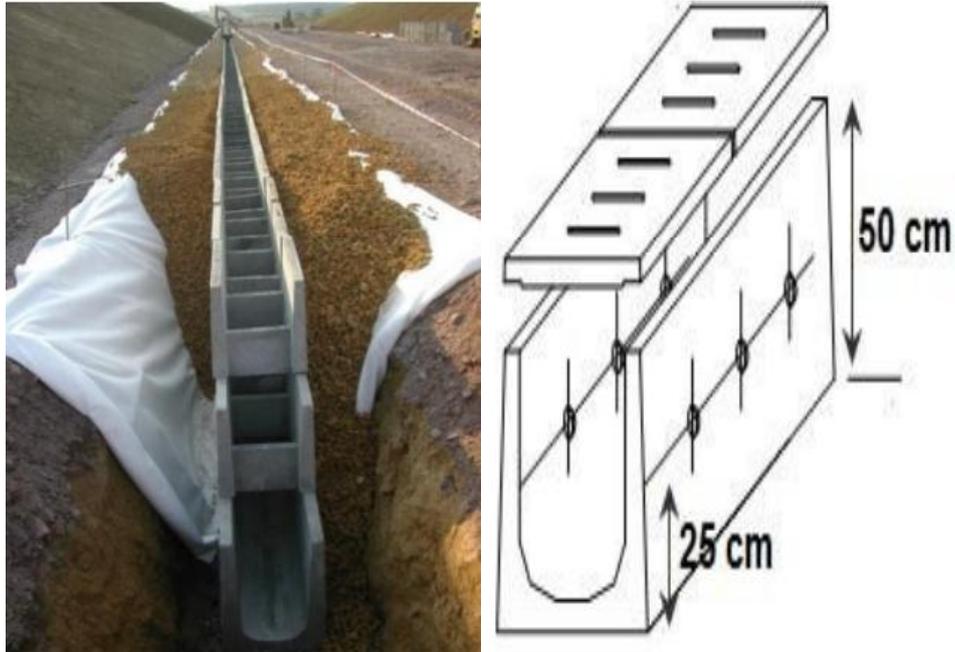


Figure 5 : Représentation d'un fossé en béton préfabriqués à barbacanes

5.3.3- Dispositifs enterrés :

Ils sont appelés les collecteurs drainants sous l'abréviation (CD). Ils sont constitués de tuyaux perforés en partie supérieure, posés sur un lit de béton et recouverts de matériaux drainant. Les CD peuvent être en béton ou en matériaux thermoplastique (PVC/PEHD) selon la résistance mécanique. Les CD assurent le drainage profond dans les déblais humides. Cependant, la maintenance sur ce type d'ouvrages est difficile car il y a un regard seulement tous les 80 m environ. De plus, le problème principal est le colmatage des fentes des collecteurs drainants.



Figure 6 : Collecteur Drainant en cours de la réalisation

5.3.4- Les caniveaux à fente :

Les caniveaux à fente sont en béton armé posés sur un lit de béton et recouverts de géo-grille puis de matériaux drainant. Ils assurent le drainage profond en présentant une haute résistance mécanique.

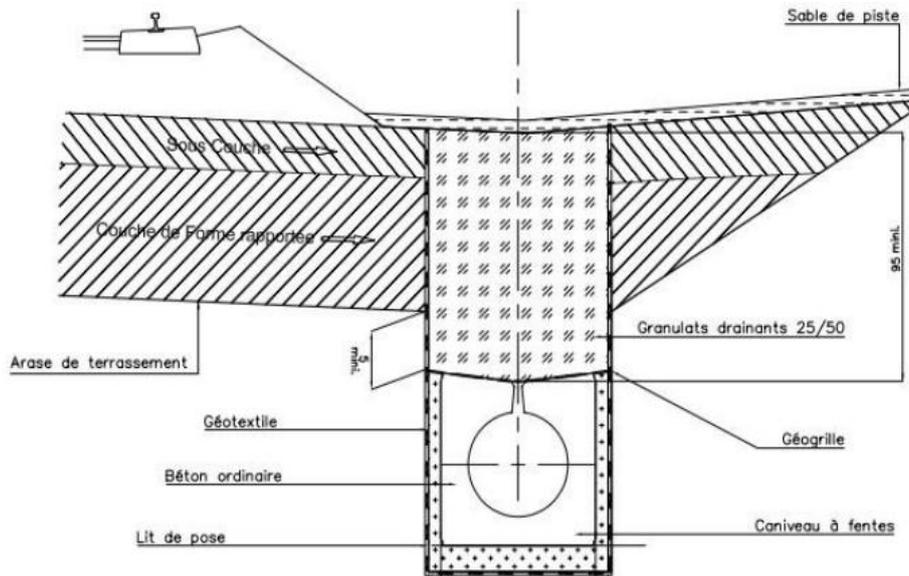


Figure 7 : Description d'un caniveau à fentes

6- Eléments préfabriqués utilisés :

Les principaux produits préfabriqués en béton employés pour l'assainissement des plates-formes routières et ferroviaires sont :

6.1-Tuyaux d'assainissement :

Les tuyaux d'assainissement sont utilisés pour l'évacuation des eaux de ruissellement vers un exutoire. Ils permettent aussi le franchissement des voies par les eaux du bassin versant environnant. Ils peuvent être posés :

- préalablement à la réalisation de la plate-forme routière ou ferroviaire, en tranchée ou en remblai ;
- par fonçage ou forage pour le franchissement les infrastructures existantes.

Les tuyaux en béton offrent une large gamme de diamètres allant jusqu'à 3200 mm, ce qui permet la prise en compte de forts débits générés par des événements pluviaux importants, lors par exemple d'orages.



Figure 8 : Modèle de tuyau d'assainissement

6.2- Regards :

Ces éléments sont disposés sur les canalisations d'assainissement enterrées. Ils sont destinés à permettre un changement de direction, de pente ou de diamètre des tuyaux, et l'accès aux canalisations pour leur réception, leur inspection, leur entretien et leur maintenance.

Pour les tuyaux de grands diamètres, des solutions particulières ont été développées par l'industrie du béton, tels que des regards et chambres de grandes dimensions et des pièces spéciales pour l'accès à la canalisation.



Figure 9 : Regard d'assainissement.

6.3- Cadres rectangulaires :

Les canalisations d'assainissement peuvent être constituées de cadres en béton armé de forme rectangulaire, notamment pour le passage de voies lorsque la hauteur disponible, sous chaussée ou sous le niveau du sol naturel, est faible.

6.4- Têtes d'aqueduc de sécurité et têtes de ponts :

Les têtes d'aqueduc de sécurité et les têtes de ponts sont placées à l'extrémité aval des canalisations d'évacuation des eaux pluviales, aux débouchés dans les fossés ou dans les cours d'eau.

Elles sont destinées à protéger les talus des dégradations éventuelles provoquées par le ravinement.

Elles améliorent aussi la sécurité des automobilistes en cas de chocs frontaux, tout en préservant les fonctions mécanique et hydraulique.



Figure 10 : Têtes d'aqueduc de sécurité.

6.5- Caniveaux Hydrauliques :

Les descentes d'eau sont disposées sur les plates-formes en remblai afin de permettre l'évacuation des eaux des caniveaux placés en bordure de la plate-forme, vers les fossés situés en pieds de talus.

Ces éléments sont de sections et de formes très diverses afin de s'adapter aux contraintes hydrauliques et topographiques du projet. Ces produits sont également employés pour les plates-formes en déblais pour prévenir le ravinement éventuel des talus et canaliser les eaux de ruissellement. Ces caniveaux sont aussi appelé fossés ou descente de talus.



Figure 11 : Caniveaux hydraulique.

6.6- Dessableurs :

Le nom de cet élément est nommé décanteurs, dégrilleurs ou alors déboueurs .Ces ouvrages en béton armé installés sur les réseaux de type unitaire ou pluvial sont destinés à séparer par gravité puis à retenir les éléments de densité supérieure à 1 contenu dans les eaux de ruissellement.

Ils sont fréquemment positionnés en amont des bassins d'orage ou de dépollution.



Figure 12 : Modèle de décanteur.

6.7- Séparateurs de boues et de liquides légers :

Les séparateurs de boues et de liquides légers sont destinés au traitement des eaux pluviales qui se chargent de substances polluantes lors de leur ruissellement sur les chaussées. Ils doivent être situés dans les zones de pollutions identifiées telles que les aires de stationnement ou les stations-service, le plus en amont possible du réseau d'assainissement.



Figure 13 : Séparateurs de boues et de liquides.

6.8- Ouvrages de stockage et de rétention :

Les ouvrages de stockage et de rétention peuvent être constitués :

- d'éléments préfabriqués de caractéristiques adaptées au projet. Selon les dimensions de l'ouvrage, ils peuvent être assemblés sur site : les assemblages entre éléments sont alors étudiés et adaptés aux conditions d'étanchéité requises.
- de canalisations de grandes dimensions de forme circulaire ou rectangulaire.



Figure 14 : ouvrages de stockage et de rétention.

6.9- Bassins d'orage et de dépollution :

Les bassins d'orages et de dépollution sont équipés :

- d'ouvrages de dérivation;
- d'ouvrages de régulation ;
- d'ouvrages de visite.

Les ouvrages de dérivation sont situés en entrée de bassin. Ils permettent de dériver les eaux vers un by-pass lors de débits accidentels ne pouvant être absorbés par le bassin ou lors des opérations d'entretien des ouvrages.

Les ouvrages de régulation sont situés, quant à eux à l'aval du bassin. Ils permettent de réguler lors d'un événement pluvieux important le débit de restitution des eaux vers le milieu naturel et d'assurer la fermeture du bassin d'orage en cas de pollution importante ou accidentelle. Ils peuvent être équipés d'une lame siphonide pour retenir les hydrocarbures en surface.

Des regards permettent l'implantation de dispositifs de mesure et de régulation pour la maîtrise des effluents. Ces ouvrages sont conçus et étudiés sur la base des contraintes hydrauliques et de prévention des pollutions. Les conditions de réalisation de chaque ouvrage conditionnent leurs dimensions, leur poids, les dispositifs de manutention et d'assemblage dont ils sont équipés.

Des ouvrages particuliers en éléments préfabriqués en béton, tels que des déversoirs d'orage, peuvent être conçus pour être assemblés sur site.



Figure 15 : bassins d'orages et de dépollution.

7- Conclusion :

A travers ce chapitre on comprend l'intérêt de la gestion des eaux sur les voies ferrées, on saisit que l'eau peut être un danger dont il faut protéger les équipements ferroviaires. Ainsi on aperçoit que le drainage et l'évacuation de l'eau des infrastructures ferroviaires est fondamentale pour le maintien des structures d'assises et ainsi le maintien de la voie. De plus on réalise que la protection des talus environnant est aussi importante pour la préservation de désordres pouvant affecter la voie.

Références:

- 1- Bonzanigo, L., Eberhardt, E. and Loew, S. (2001). "Hydromechanical factors controlling the creeping Campo Vallemaggia landslide". In: M. Kühne, H.H. Einstein, E. Krauter, H. Klapperich and R. Pöttler (Editors), International Conference on Landslides - Causes, Impacts, Countermeasures, Davos, Switzerland, pp. 13-22.
- 2- Pelizza S. & Peila D. (2000): "L'utilizzo di opere in sotterraneo per interventi di sistemazione idrogeologica". *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 99, pp. 57-68, GEAM, Torino.
- 3- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT, 2003): "Atlante delle opere di sistemazione dei versanti". *Manuali e linee guida 10/2002*, pg. 92-107.
- 4- Pelizza S., Peila D., Oggeri C.: "Tipologie di intervento per la bonifica di versanti rocciosi". *Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio"*, Trento, 2004.
- 5- P. Alias. « Les cours de chemin de fer professes a l'Ecole des Ponts et Chaussees ». RHCP, 1996.