

Superstructures ferroviaires

GÉNÉRALITÉS

Les éléments constitutifs de la superstructure de la voie ferrée sont : le ballast + sous ballast, les rails, les traverses plus les accessoires d'attache et de fixation, les appareils de voie....etc.

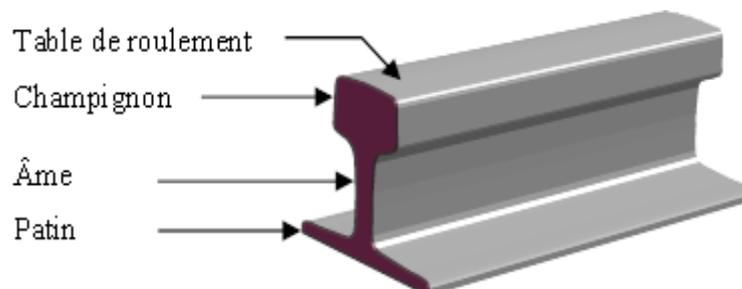
Les éléments constituant la super structure :

Le ballast et sous ballast : déjà évoqués au chapitre précédent.

Les rails :

Les rails sont des barres d'acier profilées, mises bout à bout et posées sur les traverses en deux lignes parallèles afin de constituer la voie ferrée. Ils servent au guidage des roues des convois, à la transmission des informations nécessaires à la bonne marche du train et au retour du courant de traction.

Le rail est constitué de trois parties ; la table de roulement est la face supérieure du champignon permettant le roulement de la roue.



Les poses de rails neufs sont faites, dans la plupart des pays, en longs rails soudés (LRS). Les barres en provenance de la sidérurgie sont soudées par étincelage en atelier en longueur de 400 m et transportées sur des rames de wagons spécialement aménagés jusqu'au chantier où ils sont déchargés et mis en voie. Les tronçons de 400 m sont ensuite raccordés ensemble, pour ne former qu'un rail unique, par soudure aluminothermique ou par étincelage à l'aide de soudeuses mobiles montées sur wagon.

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.

Caractéristiques du rail

Le rail ferroviaire est en acier, avec un taux de carbone moyen, de l'ordre de 0,6% à 0,8%, mais un taux de manganèse et de silicium importants, de 0,7% à 1,2% et de 0,1% à 0,6% respectivement, qui le rendent dur et lui permettent de supporter des contraintes élevées. Les

rails étant des produits métalliques massifs, ils doivent être exempts d'hydrogène. En effet, la petite taille de l'atome d'hydrogène lui permet de circuler dans le produit fini, jusqu'à créer localement des bulles susceptibles de provoquer une rupture spontanée du rail.

Les rails sont laminés à chaud (température de l'ordre de 1200 degrés) et subissent un corroyage (réduction de section depuis le bloom jusqu'au rail fini) d'au moins 7. Ce corroyage peut cependant être insuffisant pour certaines applications: la solidification des blooms doit alors être bien maîtrisée. Pour ces aciers au carbone on n'utilise pas la terminologie habituelle de la sidérurgie; on parlait de nuances 700, 800 ou 900A (MPa) jusqu'en 2002, de nuances comme par exemple R260 (dureté HBW sur la table de roulement) selon la norme européenne EN13674 de nos jours. Les rails manufacturés ont des profils symétriques.

Qualités exigées de l'acier du rail

Les principales qualités exigées de l'acier à rail sont les suivantes :

- Résistance à l'abrasion,
- absence de fragilité,
- soudabilité en vue de la confection de barres de grande longueur,
- adaptation facile à la production nationale pour obtenir un prix de revient acceptable.

Ces qualités sont naturellement contradictoires puisqu'un acier résistant à l'usure doit être dur et par conséquent plus ou moins fragile.

Essais de réception des rails

Les Essais de réception des rails, sont des tests demandés ou exigés pour vérifier la conformité des rails en vue de leurs utilisations, les cahiers des charges déterminent en particulier les essais de réception qu'ils imposent aux rails.

Les essais de réception cherchent surtout à déceler la fragilité et les imperfections de fabrication du métal essentielles pour la qualité mécanique du rail;

Ces essais sont les suivants :

- Essais de choc sur chutes de tête (un essai par lingot),
- Traction sur éprouvettes prélevées sur les chutes de pied (un essai par coulée)*.
- Macrographie sur des tranches prélevées dans les chutes de tête et de pied (un essai par coulée),
- Dureté Brinell à titre indicatif, sur des tranches découpées dans les chutes de pied (un essai par coulée).

* Coulée : unité de production, quantité de métal obtenue en une opération élémentaire (25 t au convertisseur Thomas, de 100 à 500t au four Martin, de 50 à 300t à l'oxygène). Une coulée Thomas donne 5 lingots de 5t, soit 4 rails de 18 m par lingot.

Défauts des rails

Les défauts des rails sont des anomalies constatés sur les rails, on peut classer les défauts en trois groupes

- **Défauts dus a la fabrication** ; Les défauts dus a la fabrication se classent en deux catégories :
 - Les défauts de surface, qui naissent au moment de la coulée ou du laminage.
 - Les défauts d'origine interne, liés aux soins apportés à l'affinage de l'acier et à l'élaboration des lingots.
- **Défauts dus a l'utilisation** : Les principaux défauts dus a l'utilisation peuvent être classés ainsi :
 - Défauts dus aux circulations ; Provoqués par les méplats et les ruptures progressives provoqués par les patinages
 - Défauts dus à l'environnement ; Provoqué un environnement agressif (phénomènes de corrosion)
 - Blessures diverses ; Toute blessure - coup de masse sur une aile de patin, coup d'arc intempestif
- Usure ondulatoire ; Certains rails sont sujets, quelques mois ou quelques années après leur pose, à l'apparition de défauts périodiques de surface de longueur d'onde constante pour un site donné. Ce phénomène, connu sous le nom d'« usure ondulatoire»,

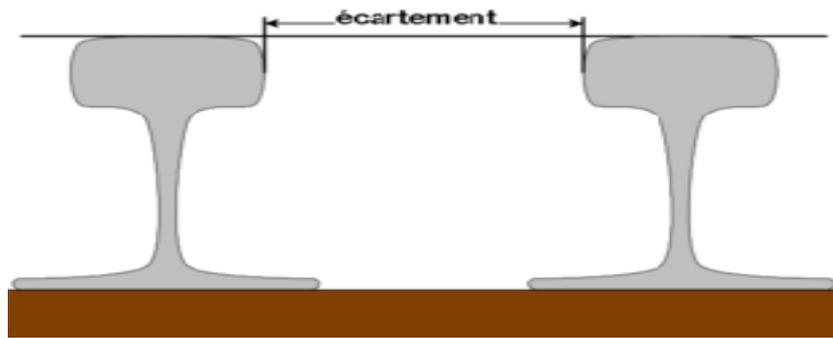
Ecartement des rails

L'écartement des rails est la distance entre les joues (faces) intérieurs des rails, L'écartement de 1435 mm (4 pieds 8 pouces et demi) est le plus utilisé dans le monde (60 % des lignes). C'est l'écartement standard ou international qui caractérise la « voie normale ». Lorsque l'écartement est supérieur, on parle de voie large, et de voie étroite lorsqu'il est inférieur (voie métrique pour l'écartement de 1 m).

Certaines voies sont équipées de trois, voire quatre, files de rails pour permettre la circulation de matériel d'écartements différents. Les points de changement d'écartement créent des ruptures de charge. Il existe différents écartements des rails dans le monde :

- ♦ l'écartement standard : 1435 mm qui est le plus répandu ;
- ♦ l'écartement ibérique : 1674 mm (Espagne, Portugal) ;
- ♦ l'écartement russe : 1520 mm (Russie, Biélorussie, Ukraine, etc.) ;
- ♦ l'écartement irlandais : 1600 mm (Irlande).

Il existe des réseaux secondaires à voie métrique (1000 mm ou 1067 mm).



Inclinaison des rails : les rails sont posés avec une inclinaison sur l'horizontal. Cette inclinaison assure un meilleur guidage des essieux et a tendance à ramener constamment les trains dans l'axe de la voie.

Cette inclinaison est d'environ :

- 1/20e en France, Belgique, Italie, Espagne...
- 1/30e au Danemark, en Suède.
- 1/40e en Allemagne, en Europe centrale

Les profils des rails

Le profil du rail est caractérisé par :

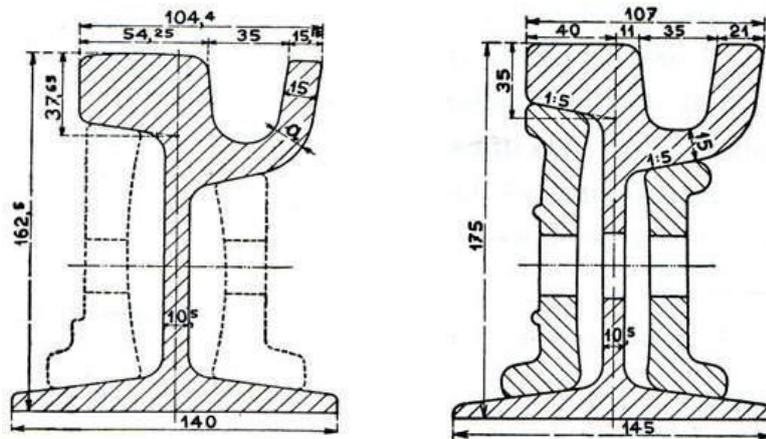
- La hauteur du rail,
- La largeur de son champignon (partie supérieure qui reçoit la roue)
- La largeur de son patin (partie inférieure du rail qui repose sur la traverse)
- L'épaisseur de l'âme du rail (partie intermédiaire qui relie champignon et patin)
- L'aire de la section totale du rail
- La masse (en kg/m) en norme de l'Union Internationale des Chemins de fer : UIC. Un rail UIC 60 a une masse linéique de 60 kg/m (dénomination européenne 60 E1)
- La nuance d'acier du rail détermine la résistance à la traction. Ex : la nuance 900 correspond à une résistance à la traction de 880 à 1030 N/mm² (dénomination européenne 260)

Différents profils

La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée éphémère ; seuls, en effet, le double champignon et le rail Vignole I ont été largement utilisés. Il convient d'y ajouter un profil à gorge qui permet de poser les voies en chaussée pour tramway / voies de port.

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivants : à la partie supérieure le champignon qui supporte les contacts des roues ; l'âme, partie médiane amincie ; le patin, partie inférieure ; 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.

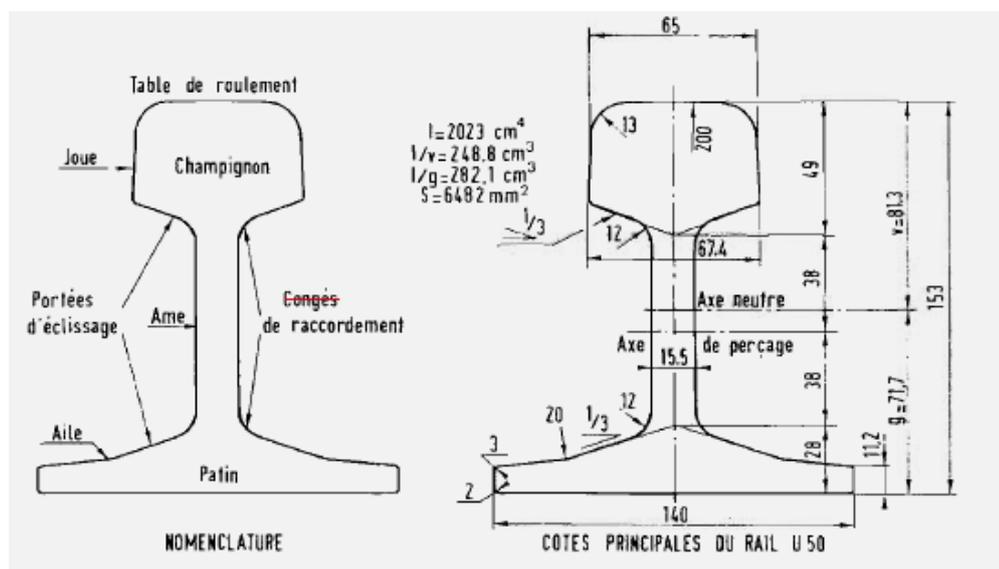
Dans les agglomérations, tous les rails de voies courantes sont normalement soudés ; les éclissages ne sont utilisés qu'exceptionnellement, par exemple, dans les jonctions avec des appareils de voies provisoires ou non soudables (appareils au Manganèse).



3. Rail à patin (ou rail « Vignole ») ;

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole, se caractérise par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse. Il évite les nombreux inconvénients du rail à double champignon: fixation dans des coussinets en fonte, encochage du champignon inférieur, difficulté de conservation du dressage. Il est fixé sur les traverses, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques. Sa forme est largement conditionnée par la nécessité d'assemblage des rails entre eux, c'est-à-dire par le problème de l'éclissage, ce qui conduit souvent, dans les raccords entre champignon et âme, à une forme contradictoire avec une bonne résistance du profil aux efforts.

C'est pourquoi la généralisation de l'emploi de rails soudés en grandes longueurs peut être de nature à permettre une modification assez sensible de la forme du rail, en évitant l'impératif pose par l'éclissage, un procédé de fortune permettant une réparation provisoire en cas de rupture.



Les traverses

Une traverse est un élément de la superstructure de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails reposant sur le ballast.

Les traverses jouent un triple rôle ;

- Répartir les charges dus à la roue (statique et dynamique, efforts de traction et de freinage) que les rails reçoivent des essieux sur une étendue suffisante de ballast pour ne pas dépasser une certaine charge unitaire.
- Maintenir l'écartement normal des deux files de rails.
- Maintenir l'inclinaison au 1/20e des rails.
- Il faut que par leurs dimensions en longueur et en largeur, fournissent une surface d'appui suffisante pour que la pression unitaire reste dans certaines limites et que leur épaisseur leur donne la rigidité nécessaire tout en leur laissant une certaine élasticité.

Mécaniquement, les traverses sont soumises aux charges transmises par les rails, en général excentrées du fait des efforts latéraux exercés par les véhicules sur la voie et à la réaction de ballast qui dépend beaucoup des conditions d'appui des traverses.

Il existe trois types de traverses :

- les traverses en bois,
- les traverses métalliques,
- les traverses en béton armé.

Les traverses en bois :

Ce sont des éléments en bois ayant les dimensions suivantes :

- Longueur : 2,50 m à 2,70 m.
- Largeur : 20 à 30 cm.
- Epaisseur : 12 à 15 cm.

Fabrication des traverses

La fabrication des traverses comporte deux stades :

- 1) le choix et l'abattage des arbres.
- 2) le traitement et la préparation du bois.

a) Nature des bois

- Bois tendre: n'est plus utilisé du fait de leur mauvaise résistance au vieillissement ;
- Chêne : bois dur avec une excellente résistance à la compression et à l'arrachement des tirefonds
- Hêtre : bois dur avec sensiblement les mêmes caractéristiques que le chêne mais facilement attaqué par la pourriture ;
- Bois divers : acacia, orme, charme ;

- Bois tropicaux : ils sont d'une grande résistance mécanique (Gabon, Cameroun, Asie du sud-est)

b) Préparation des traverses

- Dessiccation.
- Frettage : cette opération consiste à ceinturer les extrémités de la traverse par un collier métallique énergiquement serré.
- Entaillage – perçage.
- l'imprégnation. de créosote (remplacée par l'utilisation d'essences de bois exotique).

L'utilisation des traverses en bois présente certains avantages et inconvénients ;

1) Avantages :

- Assure une bonne élasticité de la voie
- Bonne isolation électrique

2) Inconvénients :

- Sensibilité aux agents atmosphériques (surtout pour le chêne)
- Résistance latérale peu élevée.
- Coûts d'entretien devenant élevés.
- Utilisation de créosote (matière toxique).

Domaines d'emploi

- En pose neuve ou en régénération de la voie ;
 - zones courtes entre appareils de voie posés sur plancher bois,
 - zones où l'utilisation de traverses béton ne permet pas de dégager le gabarit sans travaux coûteux (tunnel, quais...),
- En maintenance, remplacement de traverses bois (nécessité de
 - conserver un plancher homogène

Les traverses métalliques :

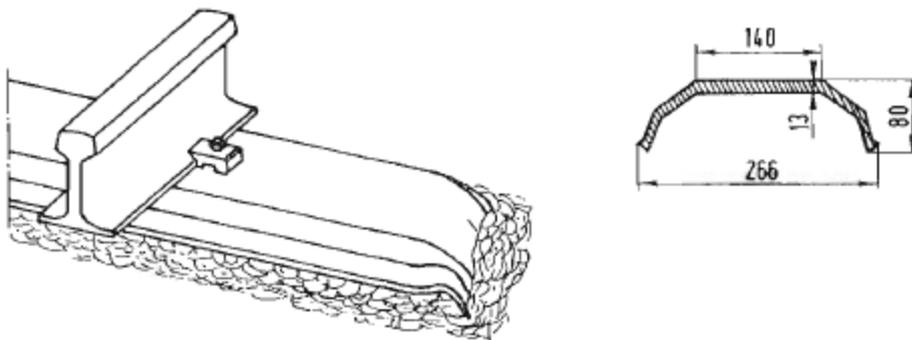
La traverse métallique est un produit industriel de fabrication simple. Elle est constituée d'un lamine en forme de « U » renverse, embouti a ses extrémités, pour former des bèches qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie.

Caractéristiques des traverses métalliques

- Elle fournit au rail une bonne surface d'appui, s'accroche bien dans le ballast et emboîte convenablement celui-ci.
- Les bords inférieurs des ailes, renforcés pour résister aux coups des outils de bourrage, présentent une section triangulaire qui facilite leur pénétration dans le ballast.

- Quant aux bouts, ils sont emboutis à chaud à la presse de manière à fermer la traverse aux deux extrémités et emprisonner le noyau de ballast. Ces bouts présentent un épanouissement nervure qui offre une plus grande résistance au ripage transversal de la voie.
- Ainsi conçue, la traverse métallique, bien bourrée, constitue un bon ancrage dans le ballast et s'oppose au déplacement longitudinal de la voie.

La traverse métallique est relativement légère (80 kg) et facile à poser. Mais cette légèreté même la handicape dans les voies à circulations lourdes et très rapides. Elle est bruyante et, étant conductrice, ne permet d'isoler une file de rails par rapport à l'autre qu'au prix de dispositifs d'isolement spéciaux.



1) Avantages

- Imputrescible.
- Peu d'entretien

2) Inconvénients

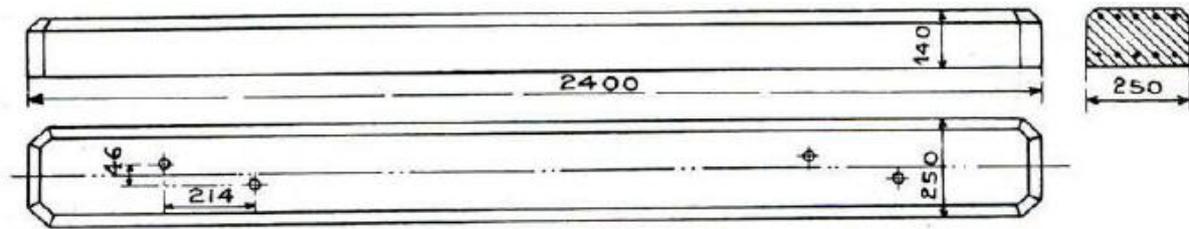
- Traverses légères.
- Difficile à maintenir sur les voies chargées.
- Résistance latérale faible malgré l'utilisation de bûches d'ancrage.
- Corrosion.
- Difficultés pour assurer l'isolement électrique entre les 2 files de rail

Les traverses en béton armé.

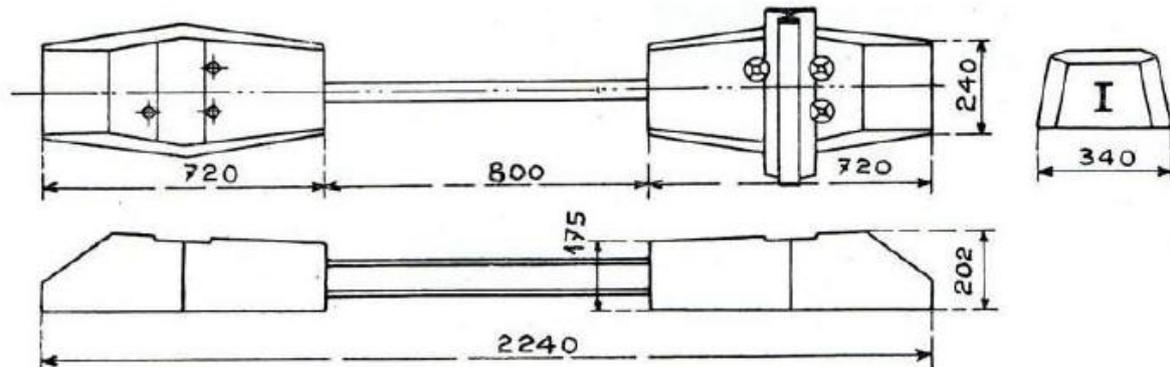
C'est vers 1907 que commencèrent des essais sérieux de traverses en béton armé, notamment en France, en Italie et en Suisse. Ces essais furent provoqués par la difficulté de se procurer en quantité suffisante des traverses en bois dur ou par le prix élevé atteint par les traverses métalliques.

On peut distinguer trois types des traverses en béton armé:

- **Traverses monobloc** ; est une poutre qui rappelle par sa forme la traverse prismatique en bois. Ce sont les traverses Calot, Orion, etc.



- **Traverses mixtes** ; elle est constituée de deux appuis à large empattement, dont l'écartement est maintenu par une entretoise.



- **Traverses en béton précontraint** :

- Généralement, on dispose une selle en acier, en caoutchouc ou en bois comprimé entre le patin du rail et la portée d'appui de la traverse inclinée au 1/20.
- Le poids de la traverse en béton est au moins double et parfois triple de celui d'une traverse en bois de chêne ce qui rend sa manutention plus difficile.
- Par suite de son poids élevé, la traverse en béton assure une meilleure stabilité de la voie ; mais elle donne une voie plus rigide car elle ne possède pas l'élasticité de la traverse en bois. Par contre, elle procure une économie de ballast et elle est peu sensible aux agents atmosphériques.

Conception des traverses

- Capacité à supporter les moments de flexion générés par les charges de roue:
- Moment de flexion positif sous rail qui correspond au moment appliqué au droit de l'axe du rail et qui génère une tension au niveau de la partie inférieure de la traverse.
- Moment de flexion négatif au centre des traverses monobloc qui correspond au moment appliqué au centre de la traverse et qui génère une tension au niveau de la partie supérieure de la traverse

Moment de flexion positif _ 3 niveaux de charge

- **1^{er} niveau**: sollicitations dynamiques normales en service.
- **2^{ème} niveau**: charges exceptionnelles et aléatoires.

- **3^{ème} niveau:** charges exceptionnelles accidentelles (capacité ultime de charge, avant la ruine, de la traverse)
- **Avantages**
 - Longévité.
 - Résistance latérale de la voie importante
- **Inconvénients**
 - Fragilité aux chocs du béton.
 - Risque de corrosion des traverses bi-bloc au niveau des entretoises.
 - Risque d'attrition prématurée du ballast ⇒ épaisseur de ballast sous traverse plus importante qu'avec les traverses bois.
 - Tenue du nivellement plus délicate dans le cas de plateformes médiocres

Attaches et semelles:

Les Attaches sont tous systèmes ou dispositifs permettant la fixation des rails sur les traverses. L'attache étant le point sensible de la résistance de la voie.

Caractéristiques des Attaches

1) Mécaniques

- Assurer un effort vertical de serrage du rail sur la traverse le plus constant possible.
- Couple de renversement important, s'opposant au déversement du rail.
- Transmission des efforts latéraux à la traverse.
- Contribuer à l'élasticité et à l'amortissement de la voie (attaches élastiques)

2) Assurer l'isolement électrique

3) Pose et entretien

- Mécanisation de la pose.
- Entretien réduit au minimum (consiste essentiellement à vérifier les qualités mécaniques de l'attache)

Systèmes de fixation

a) Systèmes rigides

- Pas d'éléments élastiques

b) Systèmes élastiques

- Présence d'au moins un élément élastique (semelle et/ou attache).
- Système de fixation directe ;
 - Le rail est fixé directement dans la traverse avec ou sans interposition de semelle ou de selle.
- Système de fixation indirecte.
 - Le rail est n'est pas fixé directement à la traverse (interposition d'une selle).

Types d'attaches▪ **Fixation rigide**

- Crampons.
- Tirefonds sur les traverses en bois.
- Crapauds sur traverses métalliques

▪ **Fixation élastique directe**

- Semelle en caoutchouc.
- Lame ressort :
 - Griffon
 - Attache Nabla
 - Fastclip
 - Vossloh

▪ **Fixation élastique indirecte**

- Semelle en caoutchouc
- Selle
- Lame ressort (Attache Nabla, Fastclip, Vossloh)

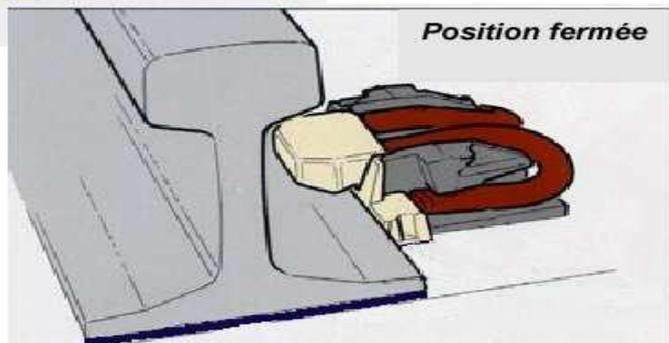
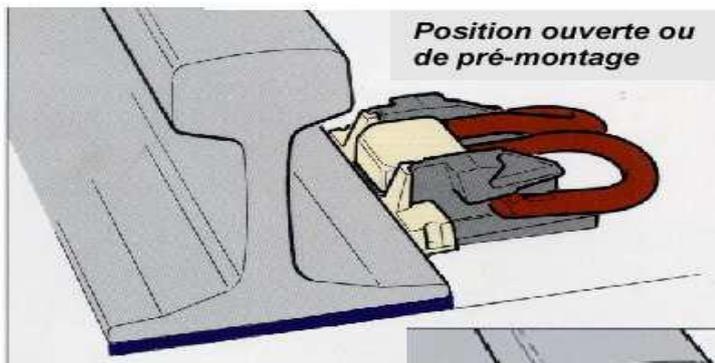
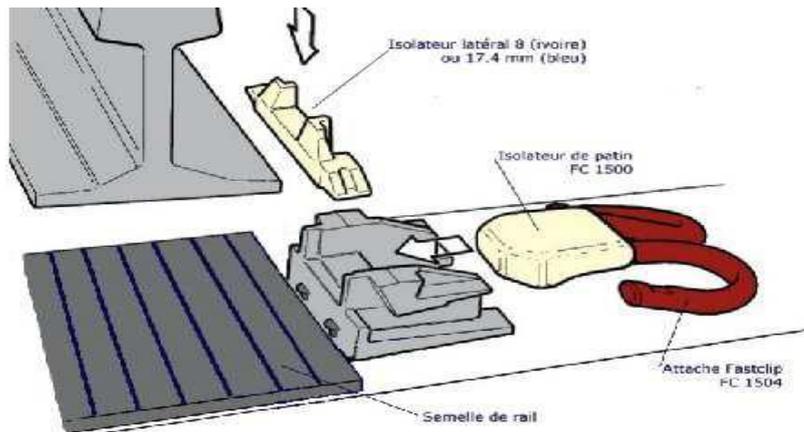
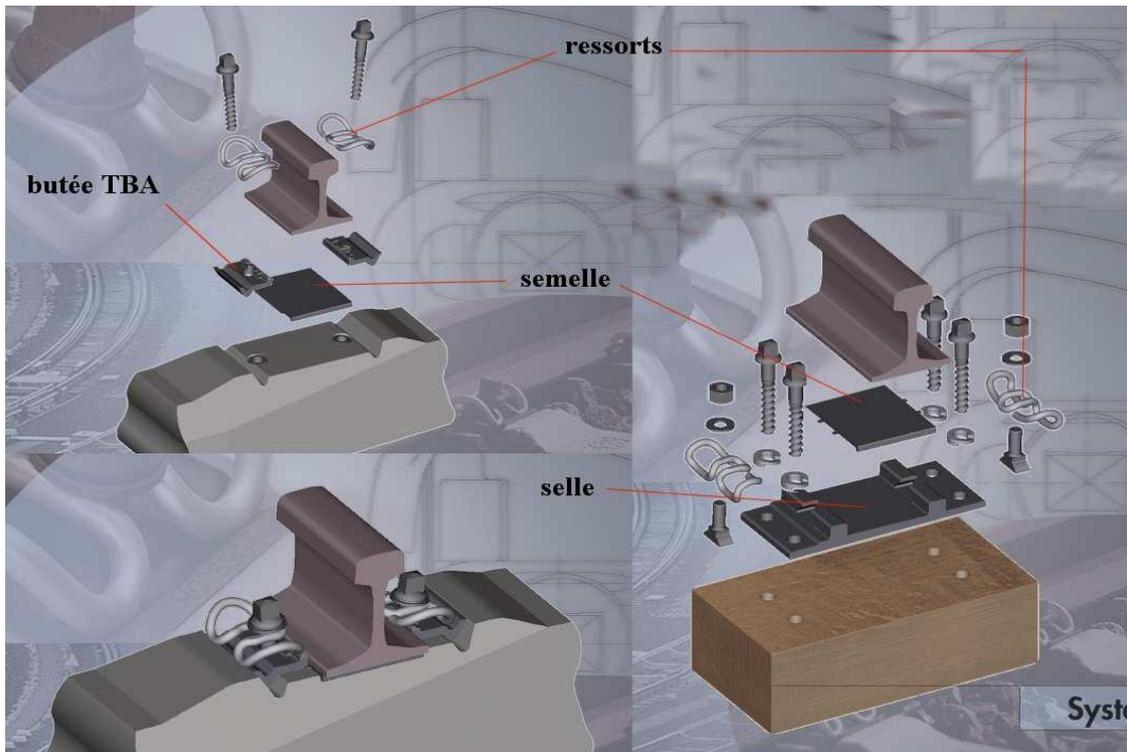
Attaches utilisées actuellement▪ **NABLA**

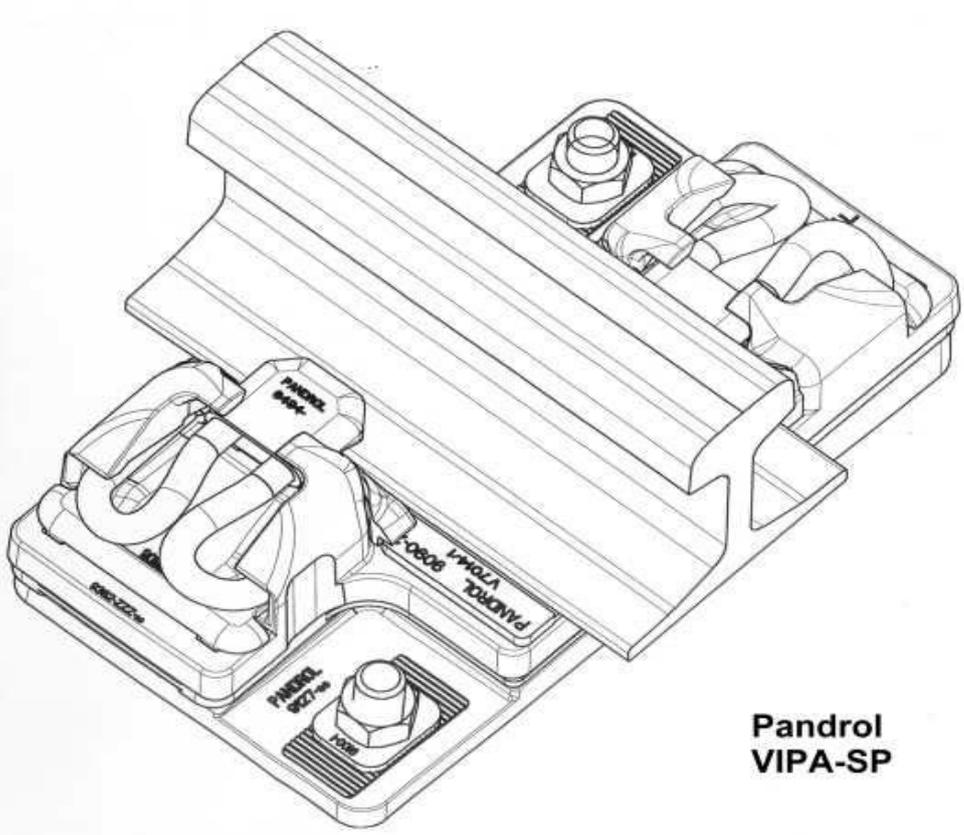
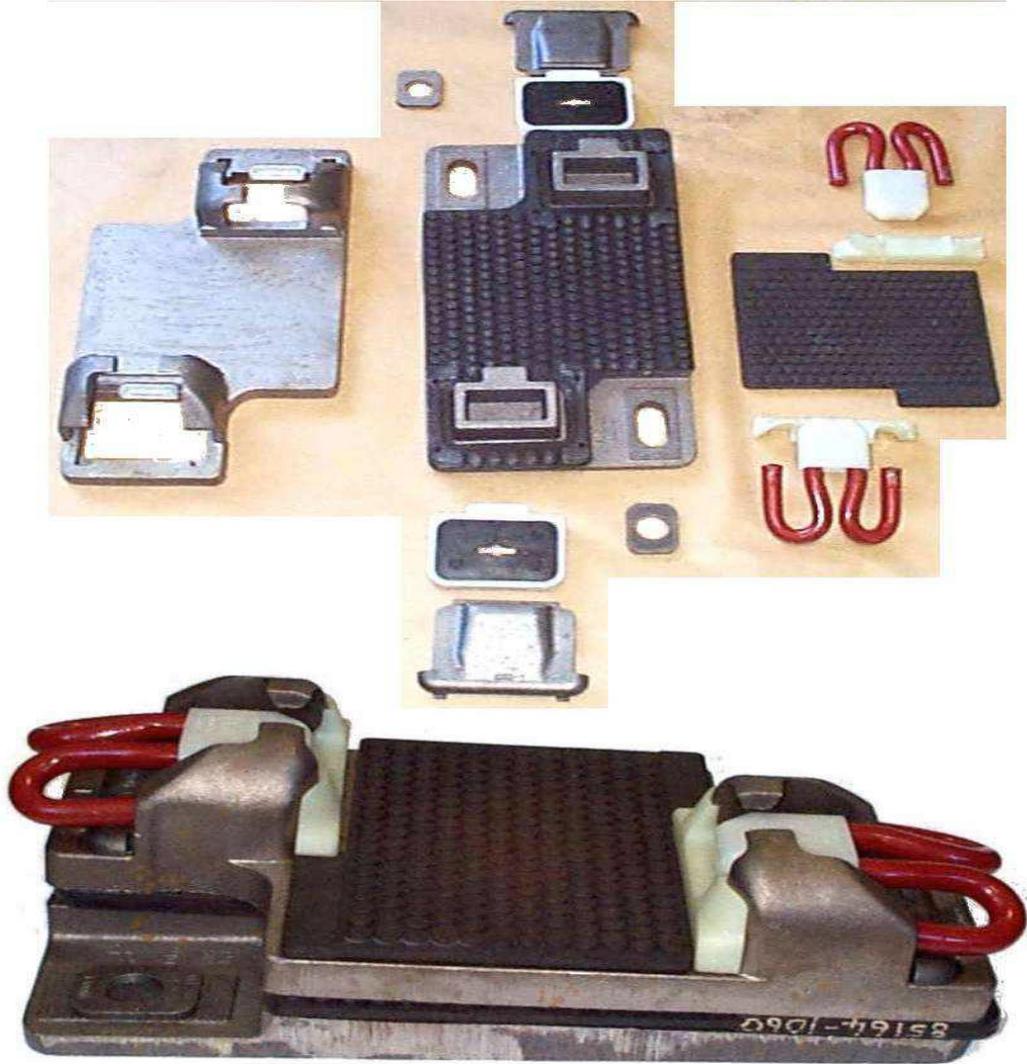
- Nécessité de vérifier le serrage et donc l'élasticité

▪ **Fastclip**

- Absence de vérification de l'élasticité résiduelle

▪ **Crapaud Nylon:** assure la prise en compte des efforts transversaux▪ **Semelle de 4.5 ou 9 mm:** filtre mécanique



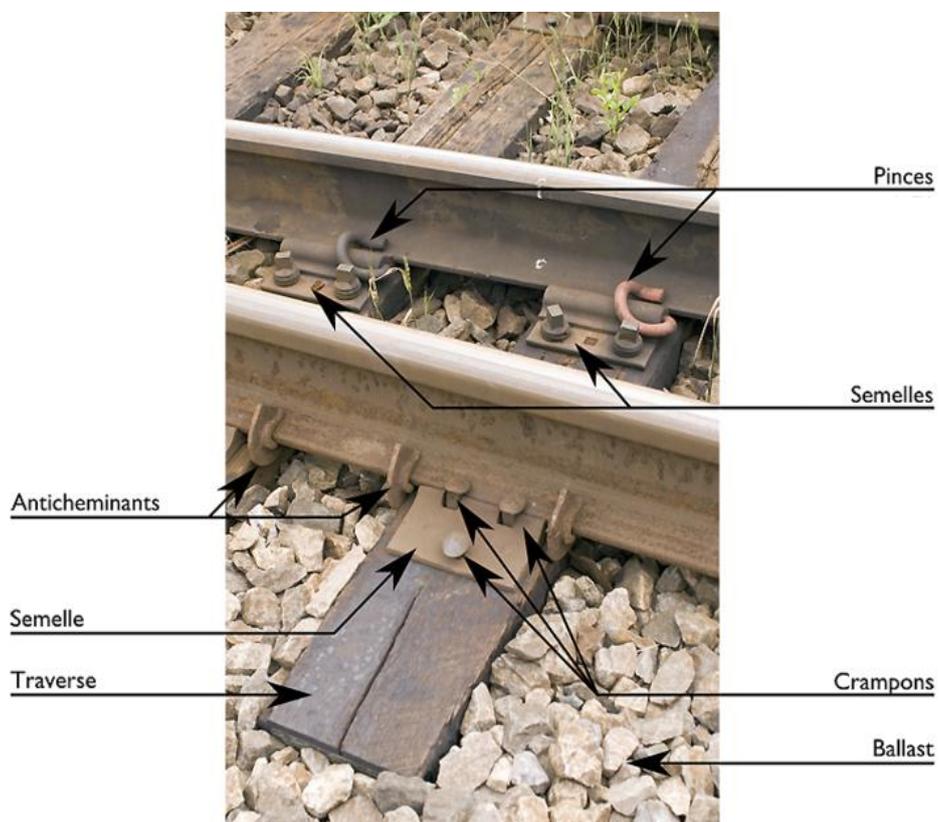
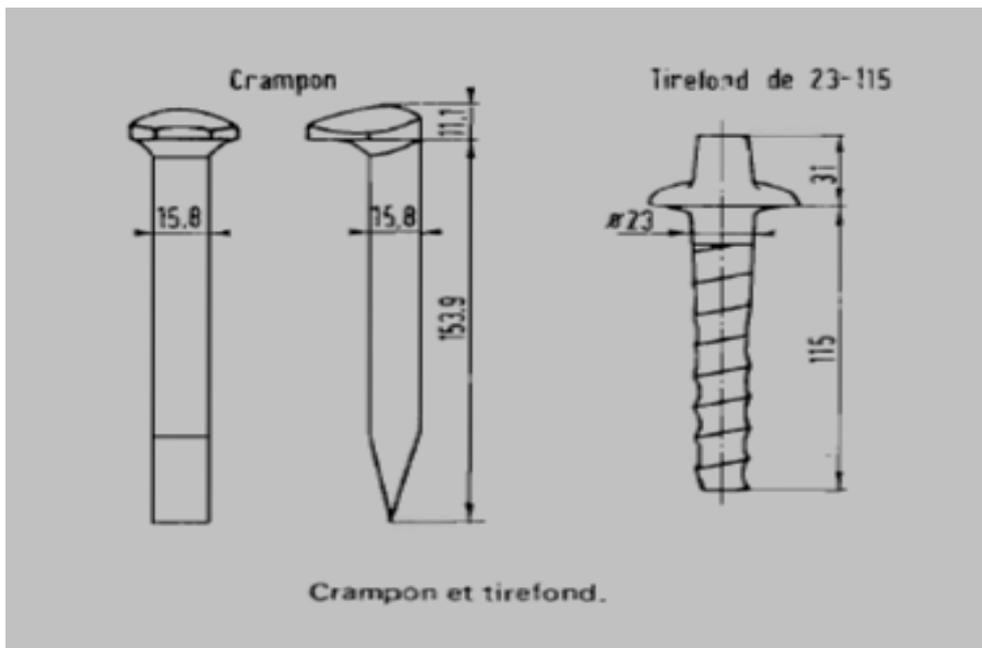


**Pandrol
VIPA-SP**

Attaches sur traverses en bois

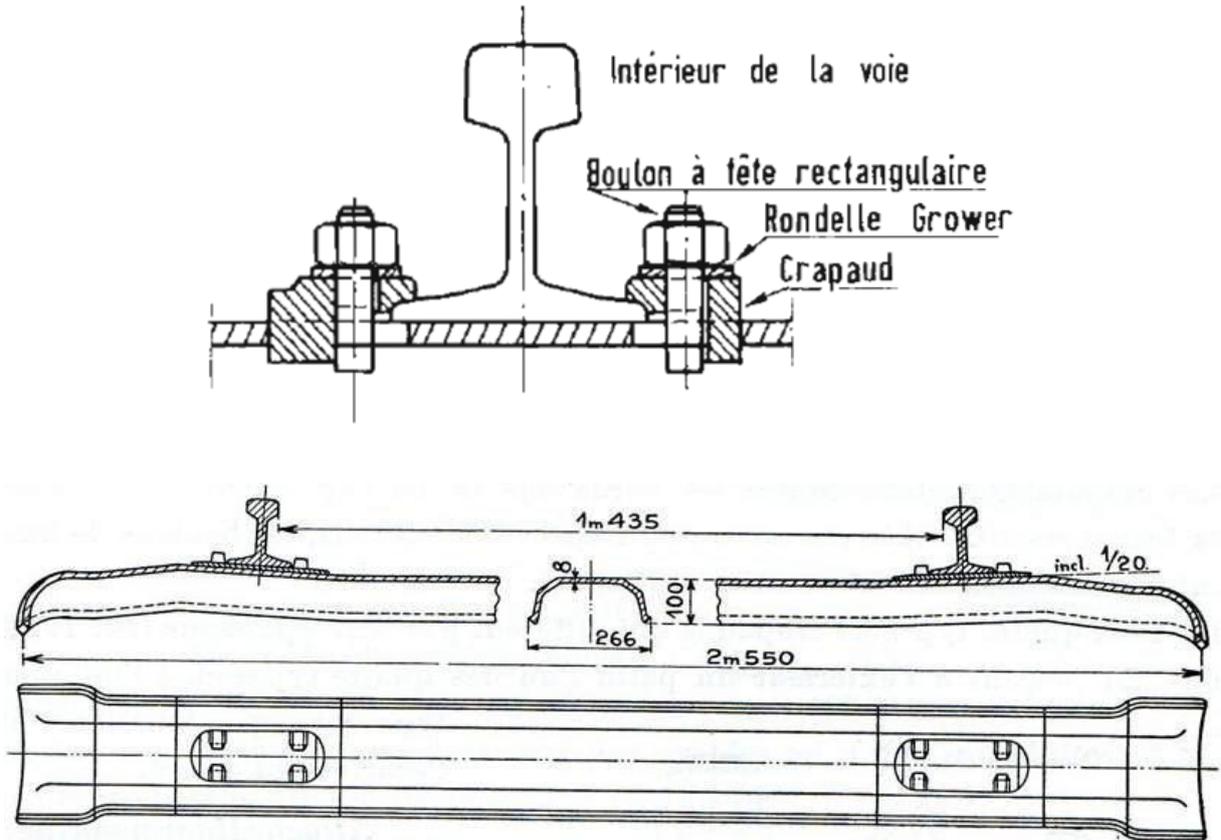
Le rail est fixe sur les traverses en bois par des tirefonds (vis à bois) ou par des crampons (clous a section carré) avec ou sans interposition d'une selle métallique

- le crampon a une forte résistance latérale ; il maintient donc bien l'écartement de la voie ; il est facile a poser. Par contre, il serre mal le patin sur la traverse,
- le tirefond est moins résistance que le crampon et se couche plus facilement mais on obtient une adhérence parfaite du rail sur la traverse.



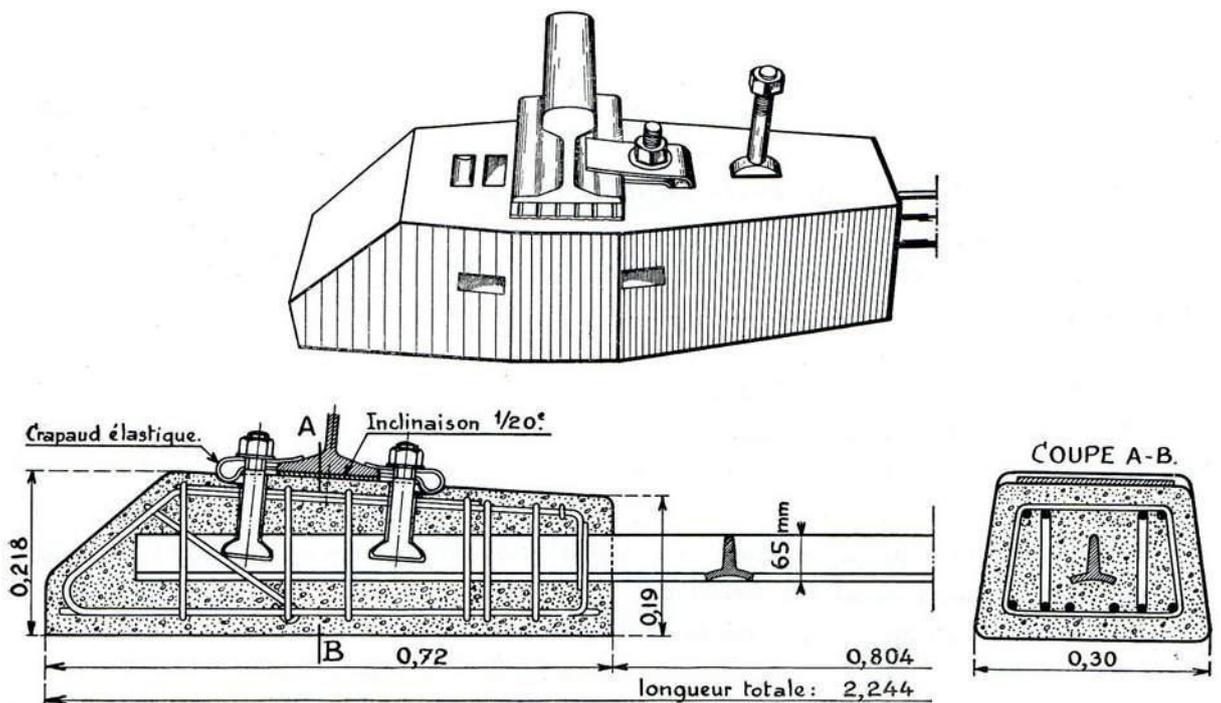
Attaches sur traverses métalliques

Le rail est fixé à l'aide de boulons qui prennent appui sur les crapauds fixant le patin du rail.



Attaches sur traverses en béton armé

Le rail est fixé à l'aide d'un boulon-tirefond vissé dans une gaine isolante ou non elle-même scellée à la traverse ou à l'aide d'un boulon à tête marteau RS.



Le cheminement des rails

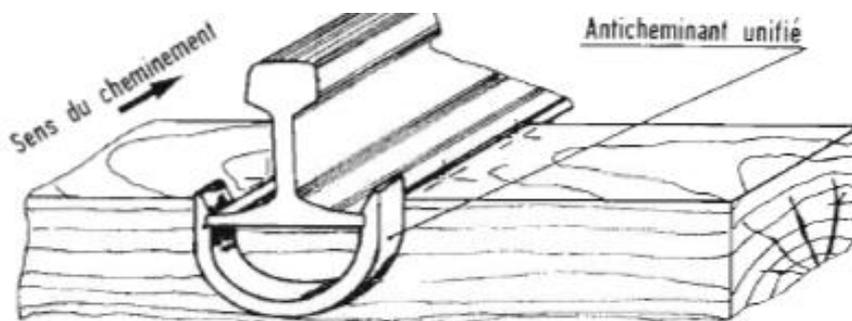
Le cheminement des rails est le déplacement longitudinal et parallèle des rails sur les traverses dans le sens général du mouvement des trains. Le cheminement des rails entraîne parfois celui des traverses sur le ballast. Il arrive qu'un rail, généralement celui de gauche, chemine plus que l'autre, ce phénomène s'appelle chevauchement ou cheminement différentiel. Dans ce cas, si les traverses sont entraînées, elles prennent une position oblique qui rétrécit la largeur de la voie. Le cheminement différentiel est donc plus grave que le cheminement ordinaire. Ce mouvement peut être contrarié par des causes locales : fréquence des démarrages, pente ou rampe, etc. Dans les fortes pentes, le rail tend à se déplacer vers le bas, quel que soit le sens de la circulation.

On peut donner à ce phénomène les explications ci-après :

a) reptation du rail, due à la déformation par flexion sous les trains, qui allonge les fibres du patin en contact avec les traverses : comme cet allongement ne peut pas se manifester par l'arrière, ou les déformations du rail sont bridées par le frottement du rail à la présence des charges, il tend à se développer vers l'avant de la machine;

b) libération partielle des contraintes dues à la dilatation contrariée l'onde de soulèvement qui précède la machine autorise un allongement du rail qui libère de proche en proche une partie de la compression d'origine thermique ; la voie soulevée retombe un peu en avant de la position qu'elle occupait avant l'approche du train.

Les dispositifs anti-cheminants ont évolués avec la technique de la voie. Au début on a essayé d'utiliser des éclisses munies d'ailes butées sur les têtes de tirefonds. Ultérieurement, on a employé des dispositifs fixes au rail par des boulons et solidaires des selles, ou s'appuyant par des ailes contre les têtes des tirefonds. Tous ces procédés présentaient l'inconvénient de fatiguer les tirefonds, et de créer des points faibles dans l'âme du rail lorsqu'ils exigeaient un perçage spécial de celle-ci.



Remèdes contre le cheminement.

Il est difficile d'empêcher le cheminement d'une façon radicale. On parvient assez bien à réduire, voire à annuler, le cheminement du rail par rapport aux traverses, mais il est plus

difficile d'empêcher que le rail se déplace avec les traverses. Quoi qu'il en soit, un cheminement important est généralement l'indice que la voie est mal entretenue ou bien que sa superstructure n'est pas en rapport avec son trafic.

- le premier remède contre le cheminement est d'avoir une voie bien entretenue et une plateforme bien drainée. Evidemment, l'entretien de la voie ne peut s'opposer qu'au cheminement et non à sa cause : l'action dynamique des véhicules, mais l'effet de celle-ci augmente avec le défaut d'entretien.
- Le second remède consiste à réduire le nombre de joints par l'emploi de rails de grande longueur obtenus soit directement par laminage, soit par soudure de rails de longueur normale. En effet, d'une part, à longueur de voie égale, on réduit le nombre de chocs des roues sur les extrémités des rails ; d'autre part, la résistance de frottement du rail sur les traverses qui doit absorber l'effort de cheminement est d'autant plus grande que le rail est plus long. Enfin, le rail lui-même est solidaire d'un plus grand nombre de traverses et par conséquent le cheminement des traverses sur le ballast est plus efficacement combattu.

L'éclissage

L'éclissage est une opération qui permet d'assembler deux rails consécutifs. Il doit satisfaire aux quatre conditions suivantes :

- Relier les rails de façon qu'ils se comportent comme une poutre continue en alignement et en nivellement,
- Avoir une résistance à la déformation qui approche d'aussi près que possible celle des rails qu'il assemble,
- Empêcher les mouvements verticaux ou latéraux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation,
- Etre aussi simple que possible et composé d'un minimum d'éléments.

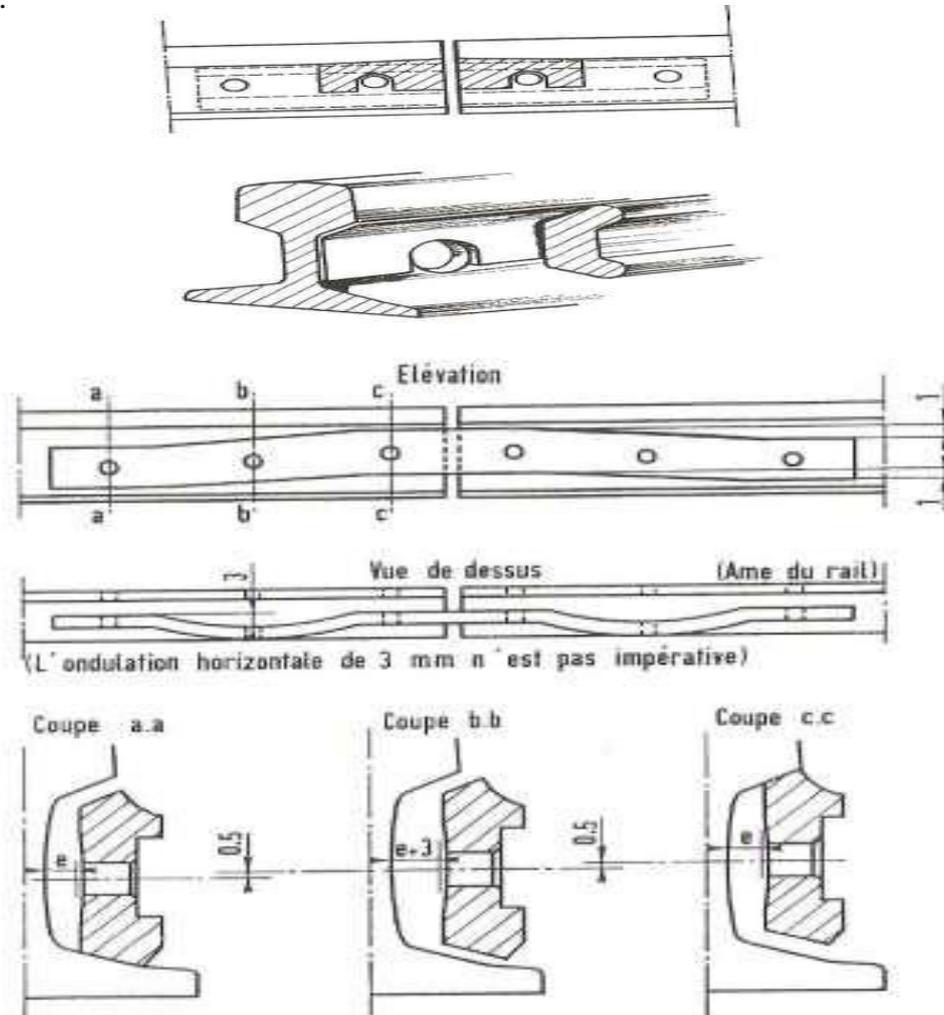
Les éclisses doivent avoir une forme et des dimensions telles :

- a) que les éclisses, prenant appui sur le patin, soutiennent convenablement le bourelet et conservent ainsi autant que possible au rail sa raideur et sa résistance ;
- b) que la voie garde son alignement et sa rigidité.

On rencontre :

- Des éclisses dites plates,
- Des éclisses cornières,
- Des éclisses doubles cornières,
- Des éclisses à fourrure en bois.

Les éclisses supportent des efforts importants. Lorsque l'essieu arrive au voisinage du joint, l'extrémité du rail amant tend à fléchir comme une poutre en console ; cette flexion est contrariée par la présence de l'éclisse qui reçoit ainsi une charge vers le milieu de sa portée supérieure et la reporte sur le patin des rails encadrant par les extrémités de sa portée inférieure.



L'effort à transmettre étant parallèle Pour jouer son rôle, il faut donc que l'éclisse soit coincée entre les portées supérieures et inférieure du rail ; à l'axe vertical du rail, il y a intérêt à donner aux portées une inclinaison aussi faible que possible sur l'horizontale.

Permissifs de dilatation

L'éclisse doit permettre au rail de se dilater et de se contracter librement en fonction des variations de température, de sorte qu'elle doit être périodiquement graissée, afin de faciliter le déplacement du rail, mais surtout le diamètre des trous d'éclissage dans le rail et dans l'éclisse et celui des boulons doivent être choisis de façon à permettre une libre dilatation.