

## **Infrastructures ferroviaires**

### **Introduction :**

L'infrastructure de la voie ferrée est le soubassement d'une voie, en d'autre terme, c'est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle sert à répartir sur la plate-forme, les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

Elle permet donc pour une large part d'assurer par sa nature et son épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

### **Constitution d'une voie ferrée**

La voie ferrée est constituée par deux parties distinguées la superstructure et l'infrastructure.

L'infrastructure est composée soit de la plate-forme ; interface entre voie proprement dite et le sol soit de l'ouvrage d'art sur lequel la superstructure est posée.

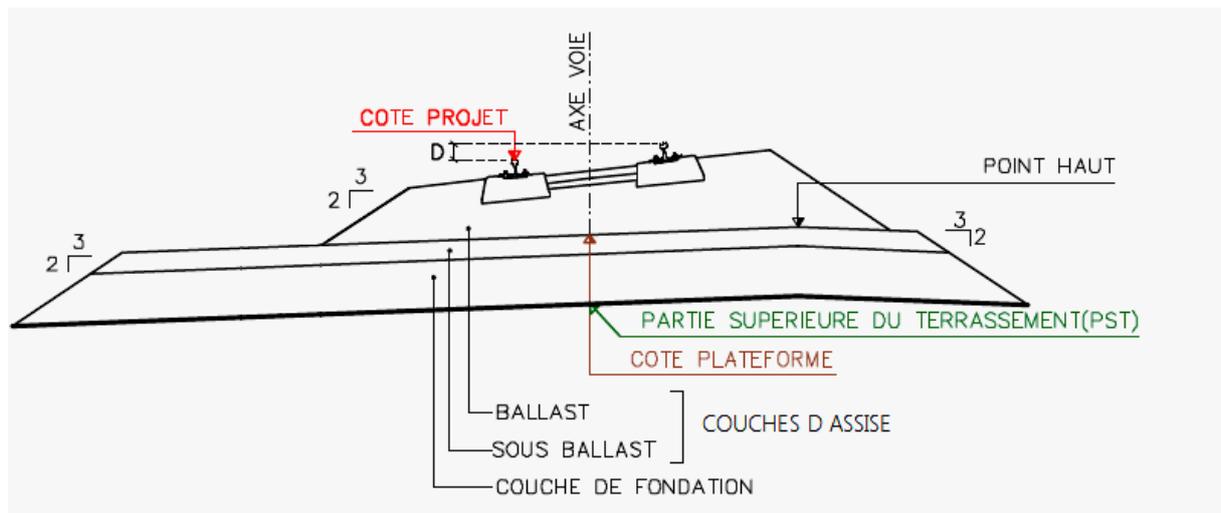
La superstructure de la voie ferrée est composée de divers composants : rails plus les accessoires d'attache et de fixation, traverses, d'une couche d'assise composée de ballast, d'une sous-couche (sous ballast), d'appareils de voie divers et de passage à niveau..etc.

### **Dimensionnement des structures d'assise**

#### **Généralités**

Par définition, La couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast). Leurs rôles principaux sont :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rails - Roue
- La répartition des charges provenant des traversés d'une manière presque uniforme sur la plateforme ;
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ;
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage



### Couche de Ballast :

Le ballast est le lit de pierres ou de graviers sur lequel repose une voie de chemin de fer, le ballast est constitué de roches dures concassées (généralement, il s'agit de roches éruptives : granite, rhyolite, quartzite...) de granulométrie variant entre 20 mm et 63mm, qui doivent résister à l'attrition, qui émousse les angles. L'épaisseur du ballast est fonction de la charge et de l'intensité du trafic, l'épaisseur minimum généralement admise pour la couche de ballast entre la plateforme et la face inférieure des traverses est de 30 centimètres.

### Rôle

- La transmission des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, particulièrement importante pour la technique des longs rails soudés.
- Assurer en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle ;
- Constitue un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments de ballast).
- Permettre, au moyen du bourrage-dressage mécanisé, la rectification très rapide du nivellement et du trace.
- La couche supérieure, dite de bourrage, dont le principal rôle est de permettre de bien caler les traverses, doit être en matériaux anguleux ; il suffit qu'elle ait 0,15 m à 0,20 m d'épaisseur au-dessous de la face inférieure des traverses, Les cailloux ronds, difficiles à bourrer, doivent être éliminés.

### Qualités requises de Ballast

Un bon ballast doit présenter les qualités suivantes : perméabilité, élasticité, solidité, se prêter au bourrage, 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. En outre, la voie gelée perd son élasticité.

**Elasticité :** Celle-ci 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 (broiement) et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage (émiettement). 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.

### **Matériau**

Généralement on utilise de la pierre concassée, de granulométrie variant entre 20 mm et 63 mm, de différentes natures :

- Sable ou du gravier tout venant, de rivière ou de carrière.
- Pierre cassée, granitique, siliceuse ou calcaire (dans ce cas, elle doit être dure et non gélive).
- Cailloux.
- Laitier de haut fourneau

Les carrières où l'on extrait et transforme ces matériaux sont les ballastières. Les éléments du ballast doivent s'imbriquer, de façon à former une masse compacte, mais perméable.

La qualité du ballast est définie par un « coefficient de qualité » qui précise la résistance à l'usure, au frottement et aux chocs modérés, déterminée à partir des essais classiques :

- Essai de la résistance à l'usure (essai Deval ou micro-Deval) ;
- Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angeles)
- Essai de la résistance à la compression Référence normative : NF EN 13450 Granulats pour ballasts de voies ferrées.

Le ballast utilisé en chemins de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

- La résistance à la compression simple  $R_c \geq 1200 \text{ kg/cm}^2$

- Coefficient Micro Deval MDE  $\leq 15$  a 20
- Coefficient Los Angles sec LA  $\leq 20$  a 25
- Ou : - LA + MDE  $< 40$  pour  $v \geq 160$  km/h.  
- LA + MDE  $< 50$  pour  $v < 160$  km/h
- La catégorie A du tableau 1 de la norme EN 13450 est exigée (ballast 3 1 .5/50)2.

Catégories	Ballast (d/D)	Granularité Pourcentage en masse de passant							
		80	63	50	40	31,5	22.4*	31,5 à 50	31,5 à 63
NF EN 13450									
A	31,5/50	100	100	70 à 99	30 à 65	1 à 25	0 à 3	$\geq 50$	-

\* Il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu du tamis de 22.4 mm avec une tolérance de 0 à 5.

### La dureté globale DRG :

C'est l'une des paramètres important pour caractériser un ballast, il doit présenter une dureté globale au moins égale à 12.

Ce coefficient de dureté DR et pour chaque échantillon est déterminé à partir de l'abaque ci-après, en combinant les coefficients DEVAL sec (DS), DEVAL humide (DH), Micro Deval en présence d'eau (MDE) et Los Angeles (LA).

Ces coefficients sont déterminés comme suit :

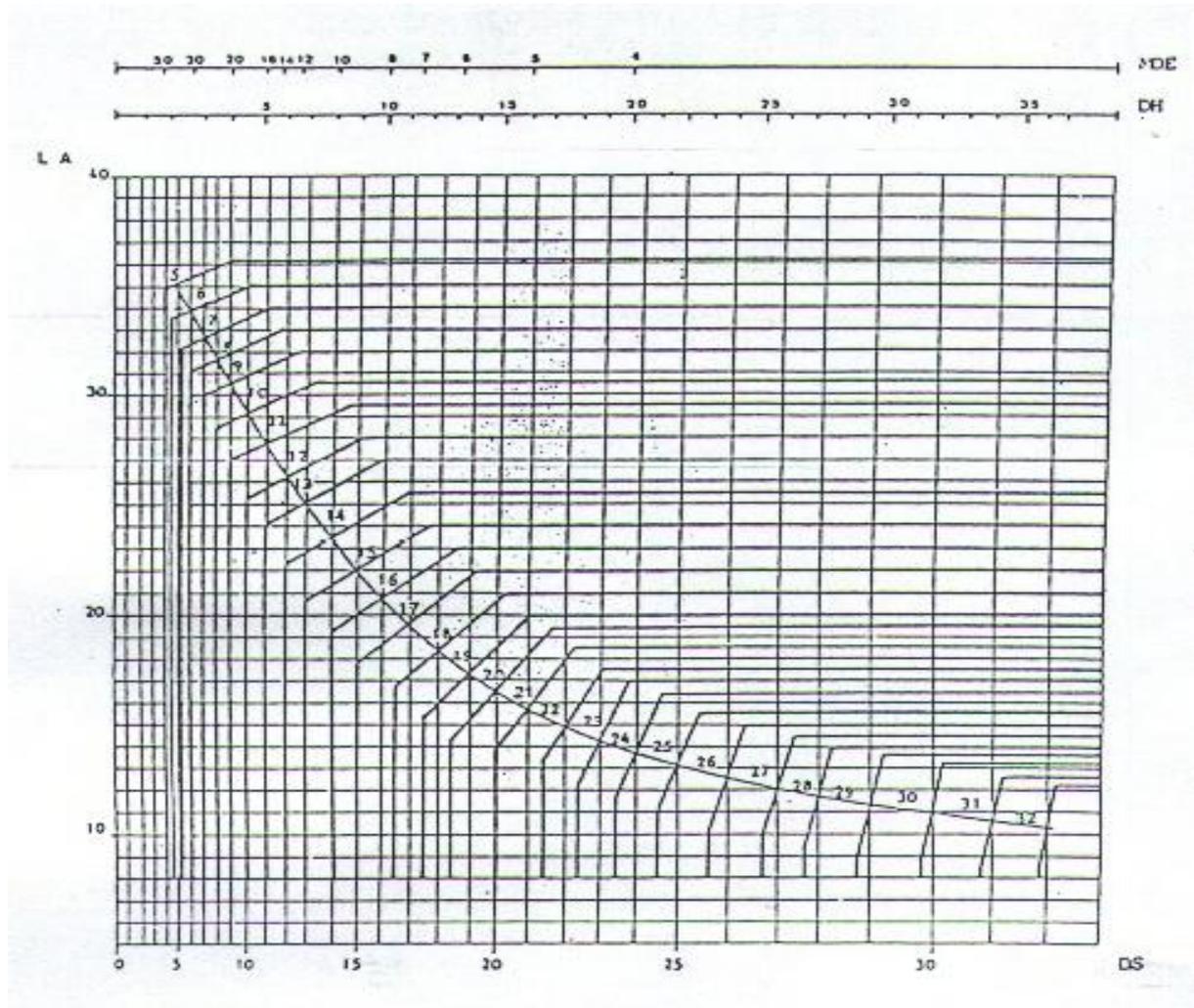
Détermination du coefficient de dureté DR d'un échantillon en fonction des coefficients : « Los Angeles » et « Deval » ou « Microdeval » les essais DS, DH et MDE caractérisent la résistance à l'usure de la pierre.

Pour l'usage de l'abaque, on retiendra la plus faible des 3 valeurs obtenues pour l'échantillon considéré.

### Calcul de la dureté globale DRG

La dureté globale DRG est égale à la plus faible des valeurs suivantes:

- DR - 0.5,
- DR (moyenne - écart type),
- DRmini + 2 (la plus faible valeur + 2) calculée sur un minimum de 5 échantillons.

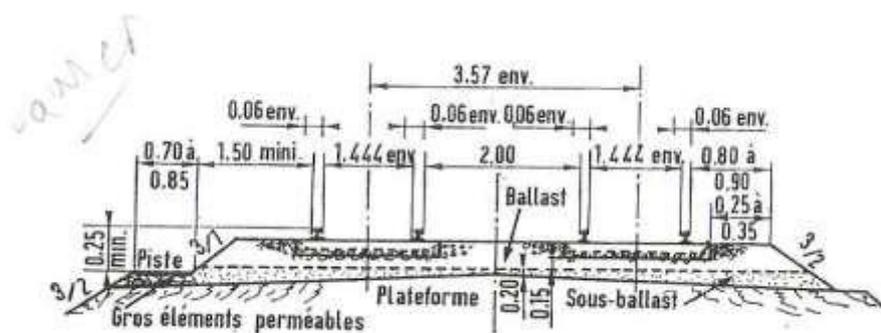


Les duretés globales du ballast sont :

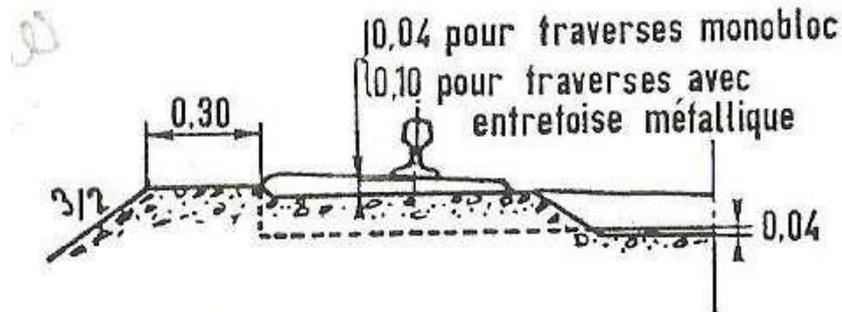
- Lignes classiques sans voyageurs ; DRG =14.
- Lignes classiques avec voyageurs et vitesses inférieures à 200km/h ; DRG =17.
- Lignes à grandes vitesses, supérieures à 200km/h ; DRG =20.

**Profil du ballast**

On ballaste à « plancher découvert » c’est à- dire que le dessus des traverses est découvert d’où une meilleure visibilité des attaches, économie de ballast et facilités de nivellement de la voie.



Le profil du ballast peut être encore plus réduit pour les voies posées sur traverses béton dont le poids élevé contribue à la stabilité de la voie.

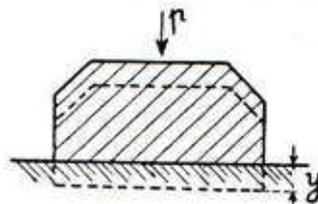


### Coefficient de ballast.

Le ballast, constituant la fondation de la voie, est caractérisé par ce que l'on appelle le coefficient de ballast.

Si  $P$  est la pression exercée sur l'unité de surface du ballast, l'enfoncement élastique correspondant  $y$  de la traverse sera d'autant plus faible que le ballast résistera mieux ; on peut écrire :  $P \text{ (kg/cm}^2\text{)} = C \cdot y$

Dans laquelle  $C$  représente le coefficient de ballast.



Cette formule, dite de Winkler, exprime la valeur de la contre-pression du ballast sur l'unité de surface d'appui des traverses.

Puisque, on peut dire encore que le coefficient de ballast correspond au nombre de kg par  $\text{cm}^2$  nécessaire pour produire un enfoncement élastique de la traverse égal à un centimètre.

D'après les expériences de Hautzschel :

- $C = 3$ , pour le ballast de gravier étendu directement sur la plateforme,
- $C = 8$ , pour le ballast de gravier sur couche de fond de pierrailles,
- $C = 18$ , pour le ballast de pierres cassées sur couche de fond de pierrailles.

Il est à noter que les chemins de fer japonais estiment :

- La valeur de  $C = 5$  pour une plateforme médiocre.
- La valeur de  $C = 13$  pour une bonne plateforme.

**Contrainte que subit le ballast**

Le ballast en service se déprécie :

1. par les cendres qui tombent des foyers des locomotives ;
2. par l'humus formé par les végétaux ;
3. par les matières terreuses apportées par le vent et par les matières diverses qui tombent des wagons à marchandises par suite des secousses qu'ils subissent ;
4. par les poussières qui proviennent du broiement des éléments par les charges roulantes et par les chocs des outils de bourrage.
5. Tassement du ballast sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie. Il est alors nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie sous les traverses; ou bien de réaliser une opération d'entretien à l'aide d'une bourreuse.

Pour conserver ou rendre au ballast ses qualités premières, il faut :

1. Munir les foyers des locomotives de cendriers étanches ;
2. Procéder régulièrement au désherbage ;
3. Nettoyer périodiquement le ballast.
4. Remplacer régulièrement le ballast

**Sous-couche (sous ballast) :**

La sous couche (sous ballast) constitue la limite entre la superstructure ferroviaire et l'infrastructure, elle joue le rôle de support du ballast, est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme et peut être mono ou multicouche, elle diffuse les efforts transmis par le ballast à la plateforme et contribue à l'écoulement des eaux de pluies , elle doit être constituée d'un grave propre bien gradué (classe 0/31.5) comportant au moins 30% d'éléments concassés et le pourcentage d'élément passant au tamis 80 µmm doit être inférieur à 15% ,cette couche doit être compactée à 100% de l'optimum Proctor modifier.

**Rôle de la sous-couche (sous ballast)**

Elle joue plusieurs rôles à savoir:

- Renforcer la plate-forme en réduisant les charges au fond de la couche de ballast,
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires,
- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises,
- Séparer le ballast de la fondation en prévenant la remontée des fines de la fondation dans le ballast et le cisaillement de la fondation par les particules pointues de ballast.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast,
- Garantir le drainage et évacuation des eaux de pluies.
- Protection contre l'érosion du gel et de la boue.

La sous couche est traditionnellement constituée de grave, respectant des exigences de portance, teneur en eau, forme, diamètre maximale et teneur en fines. Lors de la construction de lignes nouvelles, ce matériau est parfois remplacé par un géotextile ou un enrobé bitumineux.

### **Exigence technique**

L'épaisseur et la nature de la sous -couche d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme ;
- Des conditions climatiques du site;
- Des caractéristiques hydrogéologique et hydraulique de site ;
  - Fines  $\leq 75$  microm:  $\leq 15\%$
  - Limite de liquidité:  $\leq 25 \%$
  - Indice de plasticité  $\leq 6 \%$
  - Le coefficient d'uniformité pour obtenir une courbe granulométrie pleine:  $D_{60}/D_{10} \geq 4$

L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque l'on dimensionne la sous-couche.

**Couche de fondation** : elle n'est pas nécessaire sur les sols **Qs3**, elle se compose d'un grave propre bien gradué compacté à 100% de l'OPN, ou d'un TVO, elle doit avoir un  $I_p \leq 15\%$ , Matériau bien classé; coefficient d'uniformité:  $D_{60}/D_{10} \geq 15$  et son épaisseur varie suivant la qualité des sols en places (35 à 50 cm), cette couche permet la circulation des engins lors des travaux de terrassement.

**Couche anti-contaminante**: nécessaire sur les plateformes **P<sub>1</sub>**, c'est une couche de sable propre compactée d'une épaisseur minimale de 10 cm, son rôle est d'empêcher les remontées des eaux capillaires du sol vers l'assise.

**Couche de géotextile** : nécessaire sur les plateformes **P<sub>1</sub>** et **P<sub>2</sub>**, elle améliore la qualité anti-contaminante des couches d'assise et facilite leur mise en œuvre, et améliore la résistance des couches de forme en **Qs1** et **Qs2**.

**Remarque** : les différentes couches ballaste + les sous couches doivent être posées en pente transversale afin d'assurer un bon écoulement des eaux ;

- 3% dans les zones à très faible précipitation
- 4% dans les zones à moyenne précipitation
- 5% dans les zones à forte précipitation

## Plateforme

### Définition

La plate-forme est le terrain aménagé sur lequel repose la voie. C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche, elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai, répondant aux critères suivants :

- la nature géotechnique du sol : granularité, dureté, altérabilité et contenu organique ;
- les conditions hydrologiques et hydrogéologiques.

Ces critères sont étudiés par des sondages très nombreux, conditionnant en partie le choix du tracé. La plate-forme nécessite, dans sa configuration définitive, avant pose de la voie, elle comprend différentes couches.

Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- D'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme,
- D'apprécier la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent.

### Classification des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

- La nature géotechnique du sol ; on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; ces conditions, sont réputées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
  - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives.
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises.

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les modalités de tableau, les quatre classes de qualité **QSi** de sols ci-après:

- **QS0** : Sols "**impropres**" à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)

- **QS1 : Sols médiocres** acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).
- **QS2 : Sols moyens.**
- **QS3 : Bons sols.**

## **1.2 - Classification des sols (Identification géotechnique)**

### **1.2.1 - Généralités**

**La classification des sols est, selon les pays, abordée de diverses manières. Les méthodes les plus courantes sont décrites ici, en distinguant :**

- **les sols minéraux (1.2.2) classifiés :**
  - . **selon la granularité (1.2.2.1)**
  - . **selon la plasticité (1.2.2.2)**
  - . **selon la sensibilité à l'eau (1.2.2.3)**
  - . **selon la minéralogie (1.2.2.4)**
- **les sols organiques (1.2.3)**
- **les mélanges de sols minéraux et de sols organiques (1.2.4).**

## 1.2.2 - Sols minéraux

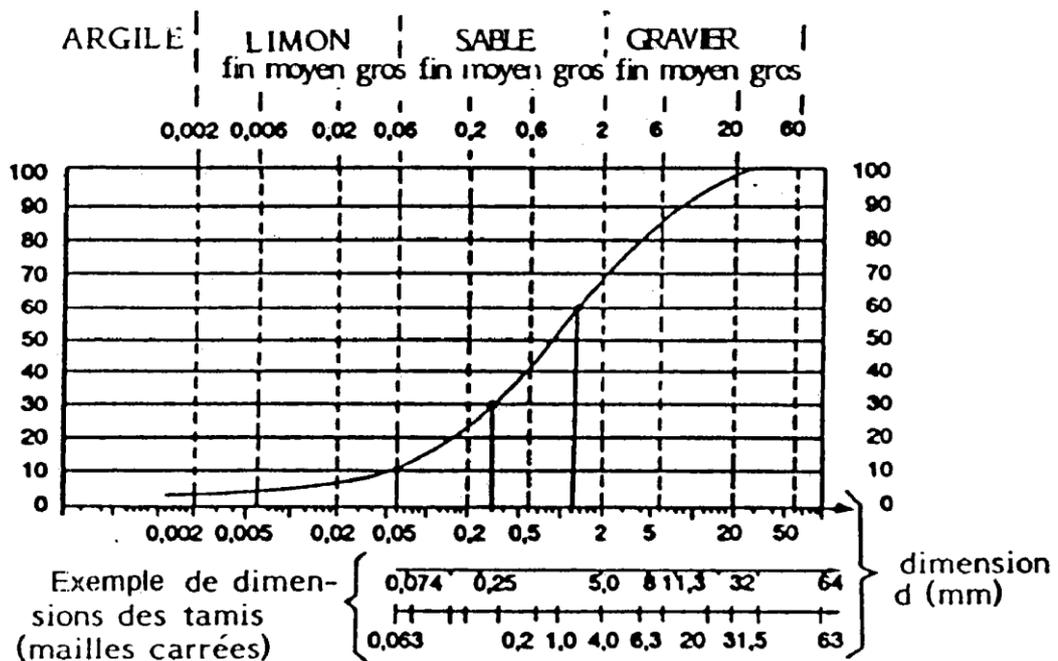
### 1.2.2.1 - Classification selon la granularité

Un sol peut être identifié par sa courbe granulométrique obtenue par essais de tamisage et de sédimentométrie. La figure 1 représente un exemple d'une telle courbe granulométrique.

L'I.S.S.M.F.E. préconise les classes granulaires indiquées dans le tableau de la figure 2. Quelques Réseaux ont, pour ces classes, des frontières quelque peu différentes.

**Figure 1 - Exemple de courbe granulométrique**

(Echelle des abscisses logarithmique)



**Figure 2 - Classes granulaires**

(D'après recommandations de l'I.S.S.M.F.E. - 1973)

<b>Classe granulaire</b>	<b>Dimension des grains (en mm)</b>
Argile	< 0,002
Silt ou limon	0,002 - 0,06
Fin	0,002 - 0,006
Moyen	0,006 - 0,02
Gros	0,02 - 0,06
Sable	0,06 - 2
Fin	0,06 - 0,2
Moyen	0,2 - 0,6
Gros	0,6 - 2
Gravier	2 - 60
Fin	2 - 6
Moyen	6 - 20
Gros	20 - 60
Pierre	60 - 200
Bloc	> 200

Dans cette classification selon la granularité, un sol donné est désigné par le nom de la classe granulaire la plus importante, suivi, s'il y a lieu, d'adjectifs qualifiant les autres classes représentées. Ainsi, le sol de la figure 1 est un "sable graveleux faiblement limoneux".

Au vu des courbes granulométriques, on peut calculer par ailleurs :

- le coefficient d'uniformité  $C_U$ ,
- le coefficient de courbure  $C_C$ .

Ainsi, pour le sol représenté sur la figure 1, on a :

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,2}{0,06} = 20$$

$$C_C = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{(0,3)^2}{1,2 \times 0,06} = 1,25$$

En effet, la notion de coefficient d'uniformité est très importante pour ce qui concerne la qualité des sols grenus, spécialement sous les aspects suivants :

- aptitude au compactage,
- portance lorsqu'il s'agit de couches situées à faible profondeur sous les traverses.

Ainsi, on considère qu'un sol grenu est bien gradué lorsque :

$$C_U > 6$$

A noter que, pour ce qui concerne les sous-couches, certains Réseaux exigent des valeurs plus élevées.

De plus, mais cet avis n'est pas partagé par tous les Réseaux, le coefficient de courbure  $C_C$  présente une certaine importance. Ainsi, on considère qu'un sol est bien gradué, lorsqu'on a également :

$$1 < C_C < 3$$

tant pour les graviers sableux (graves) que pour les sables.

### 1.2.2.2 - Classification selon la plasticité

Pour la classification plus précise des sols fins cohérents, on utilise généralement les limites d'Atterberg : (l'essai est effectué sur la fraction 0/0,4 mm du matériau)

- limite de liquidité  $w_L$
- limite de plasticité  $w_P$

qui contribuent à la classification des sols à l'aide d'un diagramme dérivé du diagramme de plasticité de Casagrande (figure 3).

Une teneur en matières organiques influe, même lorsqu'elle est très faible en poids sec, sur la classification des sols fins selon le diagramme de plasticité.

### 1.2.2.3 - Classification selon la sensibilité à l'eau

La sensibilité à l'eau de l'argile peut être caractérisée par l'essai au bleu de méthylène (valeur de bleu  $V_b$ ).

De la même façon on peut caractériser la sensibilité à l'eau d'un sol en fonction de la proportion d'argile contenue dans ce sol (valeur de bleu du sol  $V_{bs}$ ).

Ainsi lorsque  $V_{bs} < 0,1$  le sol est réputé insensible à l'eau, si  $V_{bs} > 0,2$  le sol est sensible à l'eau.

#### **1.2.2.4 - Classification selon la minéralogie**

Souvent les classifications ci-dessus (selon la granularité et selon la plasticité) sont complétées en se référant à la composition minérale.

Exemples :

- sable de quartz,
- sable d'olivine,
- sol fin marneux, selon la proportion de  $\text{CaCO}_3$ .

#### **1.2.3 - Sols organiques**

Les sols organiques (voir figure 4) proviennent en grande partie de la décomposition de débris d'origine végétale ou animale.

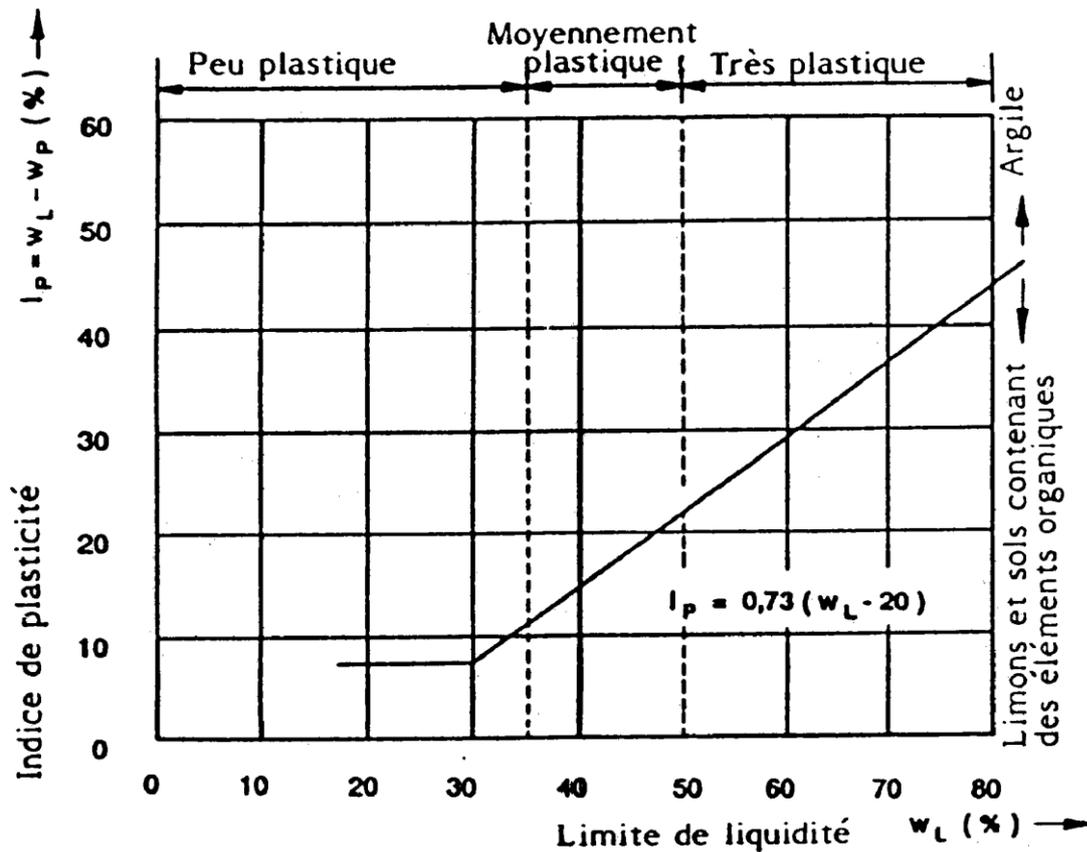
On peut distinguer les principaux groupes suivants : terre végétale, tourbe, vase (ainsi que gyttja, dy et sapropel).

Les sols organiques peuvent normalement, comme les sols minéraux, faire l'objet d'essais tels que teneur en eau, limite de liquidité, indice de plasticité, résistance et compressibilité.

La terre végétale est constituée principalement par l'humus naturel ou artificiel, plus ou moins mélangé avec des sols minéraux.

La tourbe est un sol formé in situ constitué des restes plus ou moins décomposés de la végétation. La classification des tourbes s'opère selon le degré de décomposition, mais n'est pas décrite ici, car peu intéressante pour les applications ferroviaires.

**Figure 3 - Classification des sols fins cohérents à l'aide d'un diagramme dérivé du diagramme de plasticité de Casagrande**



Les vases sont des sols organiques déposés sous l'eau par sédimentation et provenant de la décomposition de végétaux, d'animaux et de micro-organismes. Elles sont souvent mélangées à du sable, de l'argile ou du calcaire.

#### 1.2.4 - Mélanges de sols minéraux et de sols organiques

Les mélanges de sols minéraux et de sols organiques peuvent être classifiés selon le tableau de la figure 4.

**Figure 4 - Classification des mélanges de sols minéraux et de sols organiques**

Désignation du sol	Pourcentage en poids sec de contenu organique
Sols minéraux	$\leq 1 \%$
Sols contenant des éléments organiques	$> 1 \%$ et $\leq 5 \%$
Sols mixtes "minéraux organiques"	$> 5 \%$ et $< 30 \%$
Sols organiques	$\geq 30 \%$

**Nota :** Certains Réseaux utilisent des valeurs limites différentes.

Les sols contenant des éléments organiques peuvent se classier également sous l'aspect de la plasticité selon le diagramme de la figure 3.

### 1.3 - Classification à la portance des plates-formes

Pour classer les plates-formes, il convient :

- tout d'abord d'apprécier la classe de qualité de chaque sol composant la plate-forme (1.3.1) ;
- puis d'apprécier la classe de portance de la plate-forme complète : couche de forme + sol sous-jacent (1.3.2).

## Classes de qualité du sol

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines (1)) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (2) (quick-clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sols mixtes "minéraux organiques" (2).	QS0
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	QS1
1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) 1.4 Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes non altérés 1.5 Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) $> 40$ et Los Angeles (LA) $> 40$	QS1 (3)
2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines (1) 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) mais uniformes ( $C_u \leq 6$ ) 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$	QS2 (2)
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) 3.2 Roches dures Par exemple : Si $\text{MDE} \leq 25$ et $\text{LA} \leq 30$	QS3

- (1) Les analyses granulométriques permettant d'évaluer ces pourcentages sont effectuées sur les passants à 60 mm. Les pourcentages indiqués ici sont des ordres de grandeur (les règles en usage diffèrent quelque peu suivant les Réseaux) ; ils peuvent être majorés d'une quantité pouvant atteindre 5 % sous réserve que les analyses portent sur un nombre d'échantillons suffisamment représentatif.
- (2) Certains Réseaux placent ces sols dans certains cas en classe de qualité QS1.
- (3) Ces sols peuvent être de qualité QS2 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

#### Classes de portance des plateformes

La portance d'une plateforme dépend de :

- La qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai.
- La qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- **P1** : Plateforme médiocre.
- **P2** : Plateforme moyenne.
- **P3** : Plateforme bonne.

Les méthodes pour effectuer ce classement sont diverses. Une de ces méthodes est donnée ci-après:

Spécifications pour le cœur du remblai ou esplanade naturelle de déblai		Classe de portance envisagée pour la plateforme	Spécifications pour la couche de forme		
Qualité du matériau	CBR min (a)		Qualité du matériau posé	CBR min (b)	Epaisseur minimale (m)
QS1	2-3	P1	QS1	2-3	--
		P2	QS2	5	0,50
		P2	QS3	10-17	0,35
		P3	QS3	10-17	0,50
QS2	5	P2	QS2	5	--
		P3	QS3	10-17	0,35
QS3	10-17	P3	QS3	10-17	--

- (a) Le CBR sur échantillon inaltéré lorsqu'il s'agit du terrain naturel, et sur échantillon remoulé et compacté quand il s'agit du cœur du remblai (les échantillons doivent être saturé durant l'essai).
- (b) Le CBR sur échantillon remoulé et compacté (les échantillons doivent être saturés durant l'essai).

## Épaisseur minimum des couches d'assise

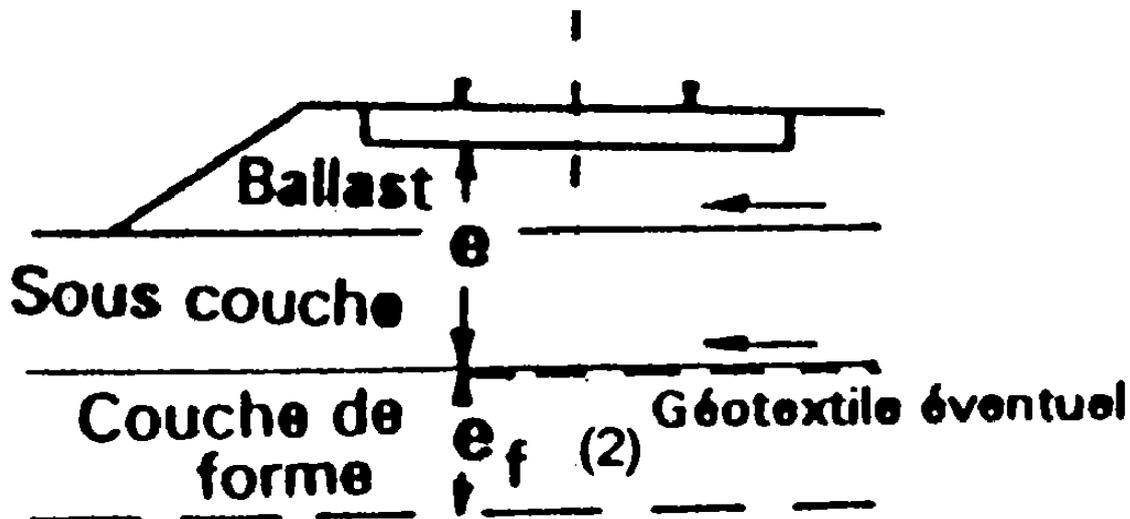
### Détermination de l'épaisseur minimum

La formule permettant la détermination de l'épaisseur minimale de la couche d'assise est donnée par :

$$e = E + a + b + c + d + f + g$$

**E** : paramètre qui dépend de la qualité de portance de la plate-forme

**a, b, c, d, f** et **g** ; sont des paramètres qui dépendent de la classe de voie, de l'armement (type de rails), types des traverses de l'intensité du trafic de la voie et de vitesse des trains, ils sont données comme suit :



E	0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P <sub>1</sub>
E	0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P <sub>2</sub>
E	0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P <sub>3</sub>
a	0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V ≥ 160 km/h quel que soit le groupe UIC)
a	- 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4
a	- 0,10 m	pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
a	- 0,15 m	pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur'
b	0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	(2,50 - L)/2	pour les traverses béton de longueur L (b en m. L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	0	pour un dimensionnement normal
c	-0.10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7, 8, 9 sans voyageur

c	-0.05 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
d	0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	+ 0.05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	+0.12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	0	pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance $P_3$ , des lignes à grande vitesse.
f	+ 0.05 m	pour les plates-formes de classe de portance $P_2$ des lignes à grande vitesse.
f	+ 0.10 m	pour les plates-formes de classe de portance $P_1$ des lignes à grande vitesse
g	+ géotextile	lorsque la couche de forme est en sol $QS_1$ ou $QS_2$
g	0 (pas de géotextile)	lorsque la couche de forme est en sol $QS_3$

### Classification des lignes d'UIC

L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

Le groupe UIC 1 correspond à des lignes très chargées et, à l'opposé, le groupe UIC 9 correspond à des lignes très faiblement chargées.

Ainsi que les grandes lignes du réseau ferré appartiennent en principe aux :

- Ligne de groupes (UIC 1, UIC 2, UIC 3 et UIC 4) ce sont des lignes à grande vitesse supportant un trafic important.
- Ligne de groupes (UIC 5 et UIC 6). ce sont des lignes à moyenne vitesse supportant un trafic moyen.
- Les lignes faiblement chargées des groupes (UIC 7, UIC 8 et UIC 9) correspondent en général au réseau capillaire, généralement régional, dont le trafic est faible.