

Module Route 2

4ème année GC

Pr : Hajar CHAMKHA



Plan :

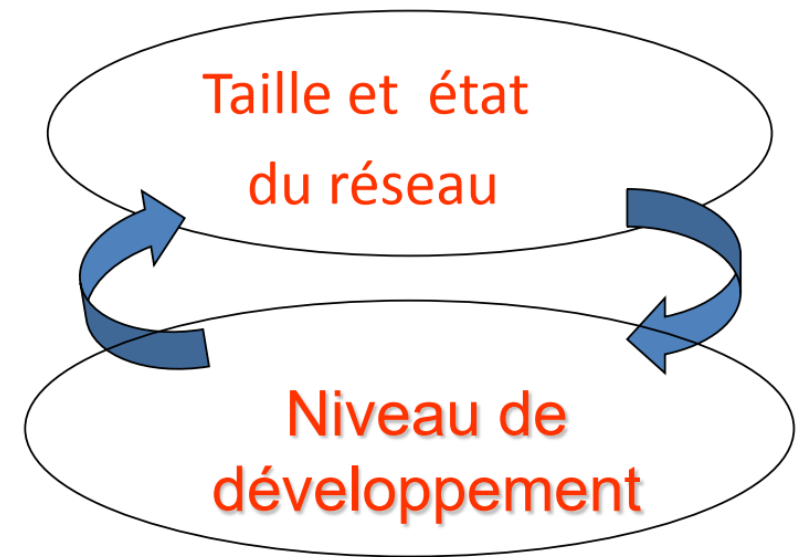
- I. Rappel des notions de base sur les routes ;
- II. Rappel sur la géotechnique routière ;
- III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) ;
- IV. Dimensionnement de la chaussée ;
- V. Réhabilitation et entretien des routes.

I. Rappel des notions de base sur les routes

1. Fonction socio-économique de la route :

Le transport routier et les infrastructures routières sont les clés de l'évolution et de la prospérité de la société moderne. Relier les personnes et les lieux, les biens et les services de manière sûre, efficace et durable est essentiel pour créer et maintenir une croissance durable et inclusive dans l'ensemble de la société et de l'économie.

En général les infrastructures et surtout celles de transport en particulier sont des éléments moteurs de développement des pays. Alors l'état du réseau routier et le développement économique d'un pays sont liés l'un à l'autre puisque le premier est l'une des conditions du second.

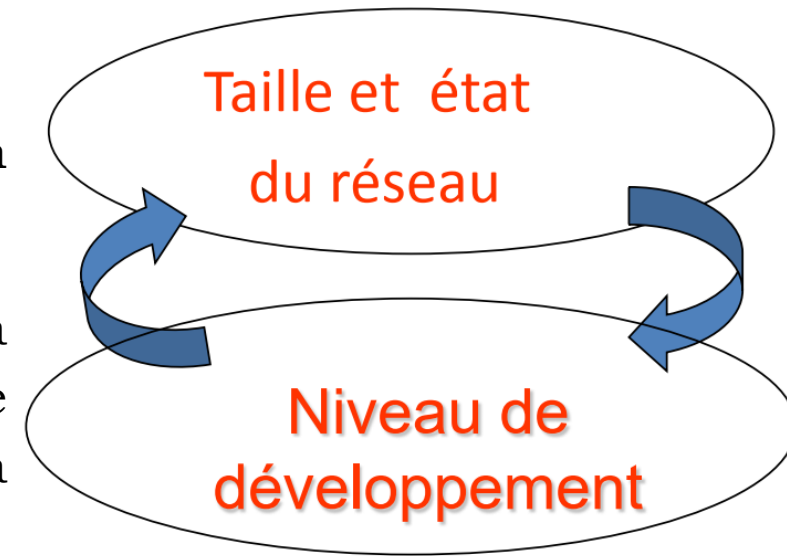


I. Rappel des notions de base sur les routes

1. Fonction socio-économique de la route :

Les fonctions de la route peuvent être classées en 3 catégories:

- Fonction économiques : transport des marchandises entre zones d'économie complémentaire ; l'existence de réseau routier de qualité est un facteur facilitant l'implantation d'activités économiques (autoroute) ;
- Fonction de culture : l'échange de connaissances et l'intégration des régions pour favoriser la compréhension interculturelle ;
- Fonction de liaison humaine et sociale : soutenir la communication entre les personnes et les pays a augmenté le niveau de vie et l'activité économique et a été un moteur pour la paix et la prospérité.



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

L'infrastructure routière du royaume est composée d'une **voirie urbaine** située à l'intérieur des villes et d'un **réseau routier interurbain et rural** situé en dehors des périmètres urbains.

La voirie urbaine : peut être classée selon les catégories suivantes:

- Autoroutes urbaines ;
- Voie express ou Voie rapide ;
- Boulevard ;
- Avenue ;
- Rue
- Ruelle etc...



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

Le réseau routier interurbain et rural : peut être classée selon les catégories suivantes

- Autoroutes de liaison (A) ;
- Rocade (voie de contournement) ;
- Route Nationale (RN) (relie deux pôles économiques) ;
- Route Régionale (RR) (relie les routes nationales, et lie entre les régions) ;
- Route Provinciale (RP)(assure les liaisons entre les communes) ;
- Piste Communale (à l'intérieur des communes) ;
- Piste Forestière (à l'intérieur des forêts) ;
- Polygone Bétravier (dans les zones agricoles remembrées) ;
- Routes ou pistes privées etc

I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

- Autoroutes de liaison (A)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

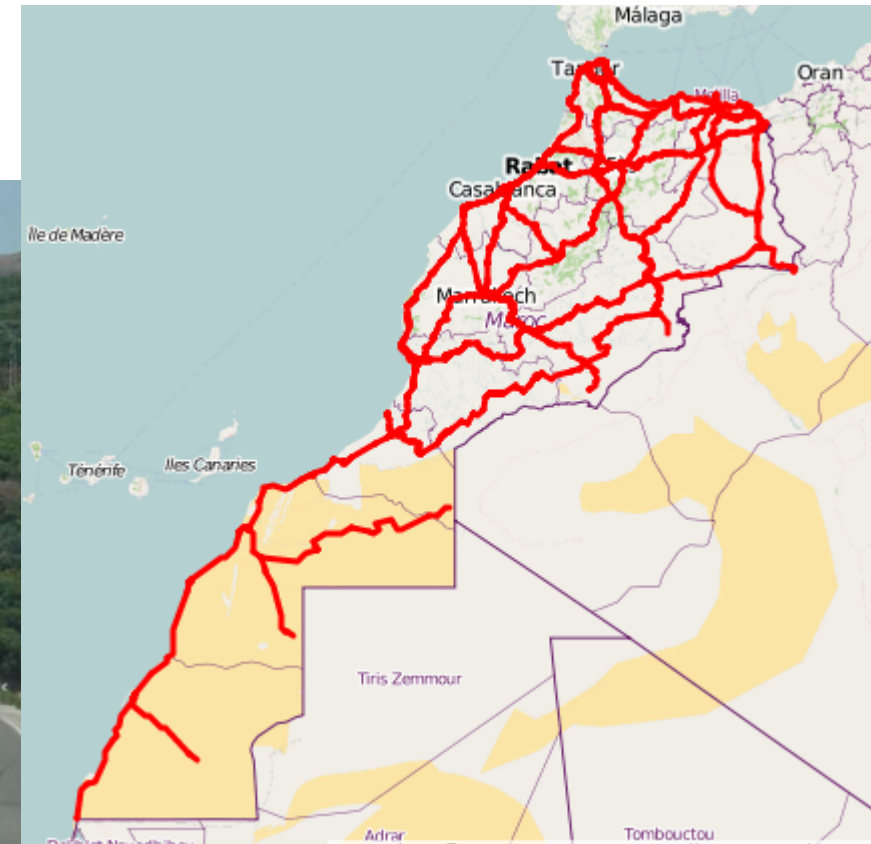
- Rcade (voie de contournement)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

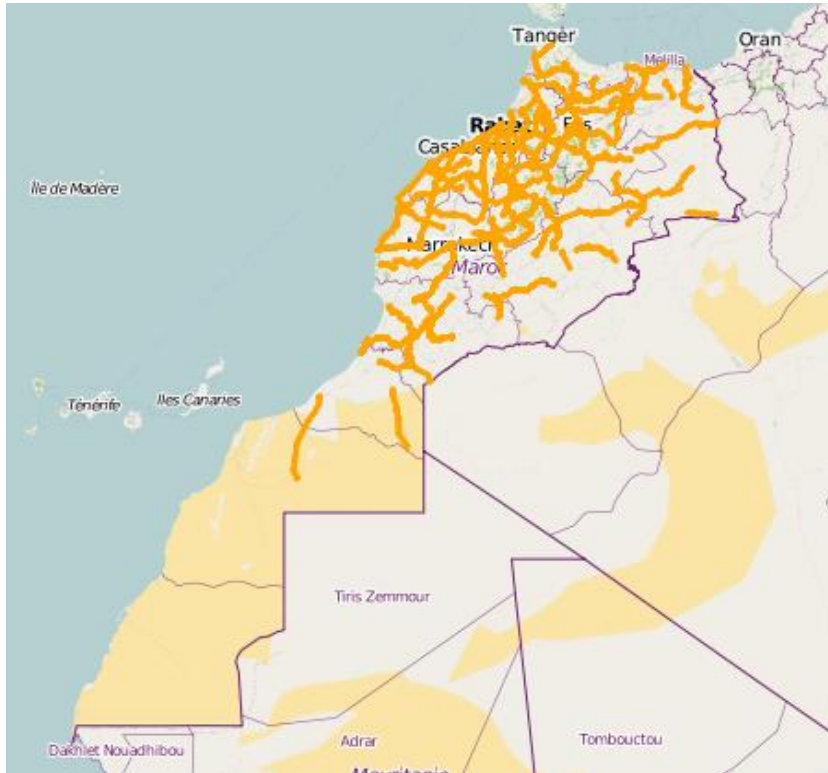
- Route Nationale relie deux pôles économiques : Les RN sont numérotées de 1 à 99 (Couleur rouge en haut de la borne kilométrique)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

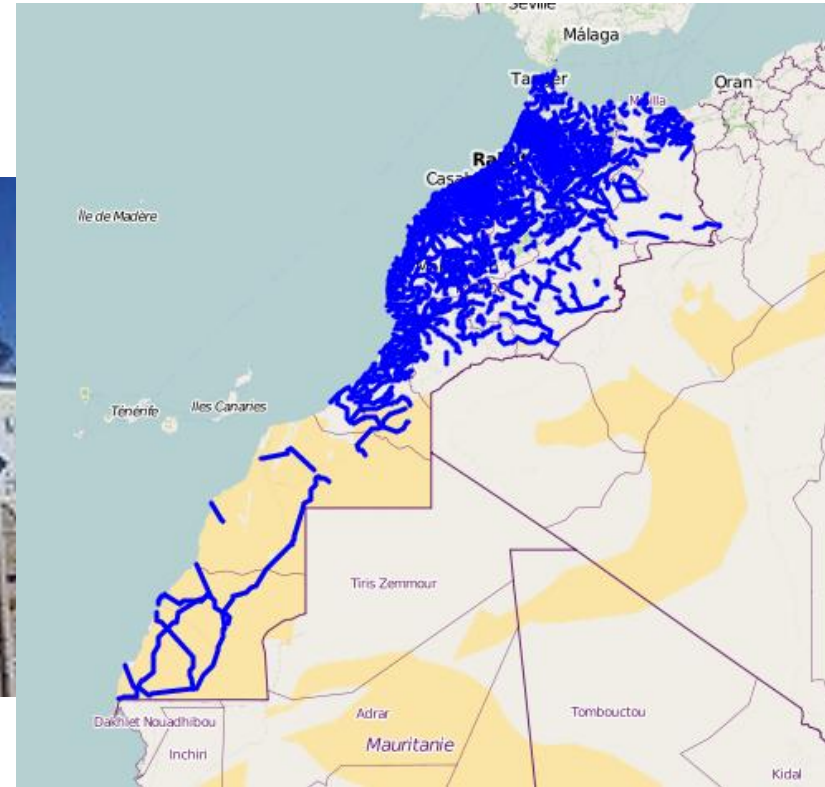
- Route Régionale relie les routes nationales, et lie entre les régions : Les RR sont numérotées de 101 à 999 (Couleur jaune en haut de la borne kilométrique)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

- Route Provinciale assure les liaisons entre les communes : Les RP sont numérotées de 1001 à 9999 (Couleur bleu foncée en haut de la borne kilométrique)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

Piste Communale (à l'intérieur des communes)



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

- Piste Forestière à l'intérieur des forêts :



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

- Polygone Bétravier dans les zones agricoles remembrées :



I. Rappel des notions de base sur les routes

2. Composition du réseau routier au Maroc :

- Routes ou pistes privées

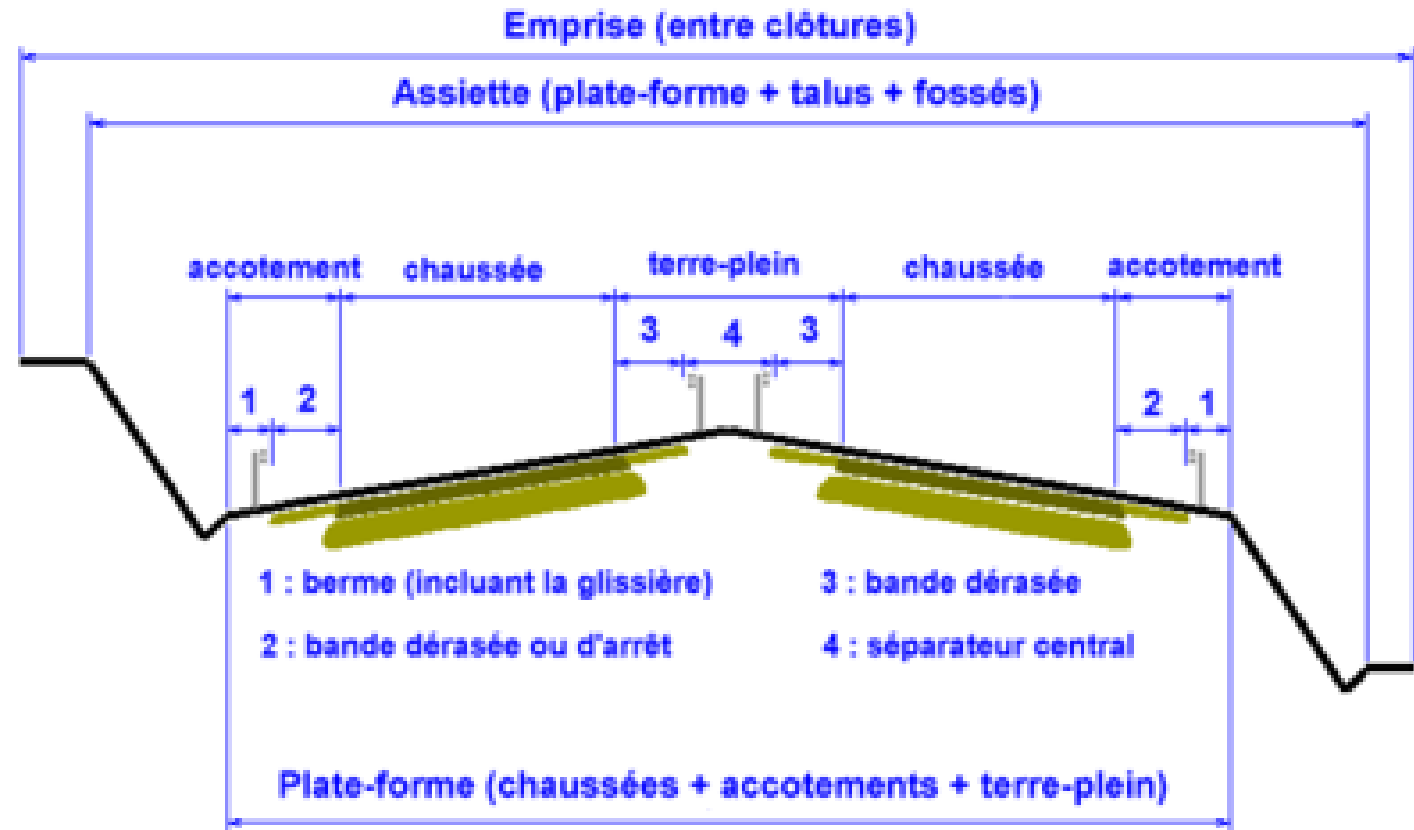


I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Chaussée : C'est la surface revêtue de la route sur laquelle circulent les véhicules. (Ensemble des couches de matériaux rapportées sur un terrain naturel pour permettre la circulation de véhiculés).

La largeur de la chaussée varie généralement de 3 à 7m et peut être plus selon le nombre de voies.

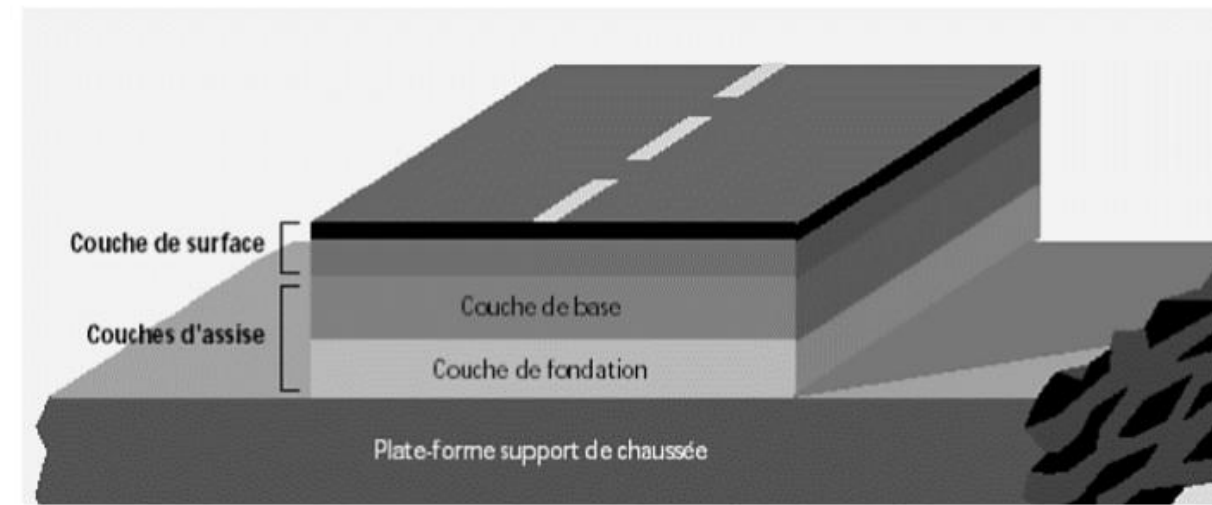
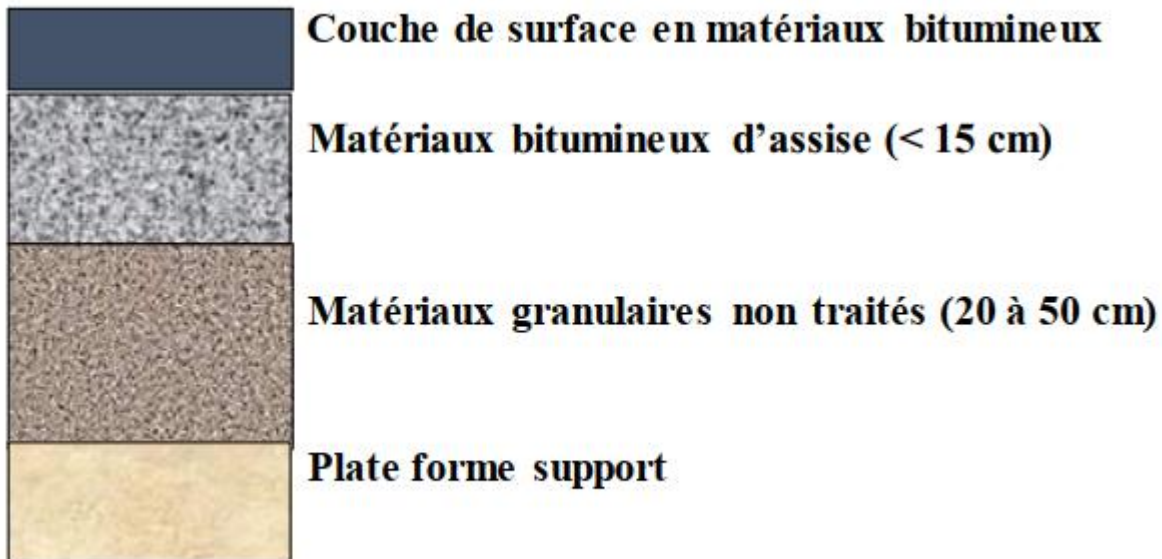


Licence G4U 2003

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Chaussée souple** : C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés (généralement le bitume). Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure type est illustrée sur la figure.



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

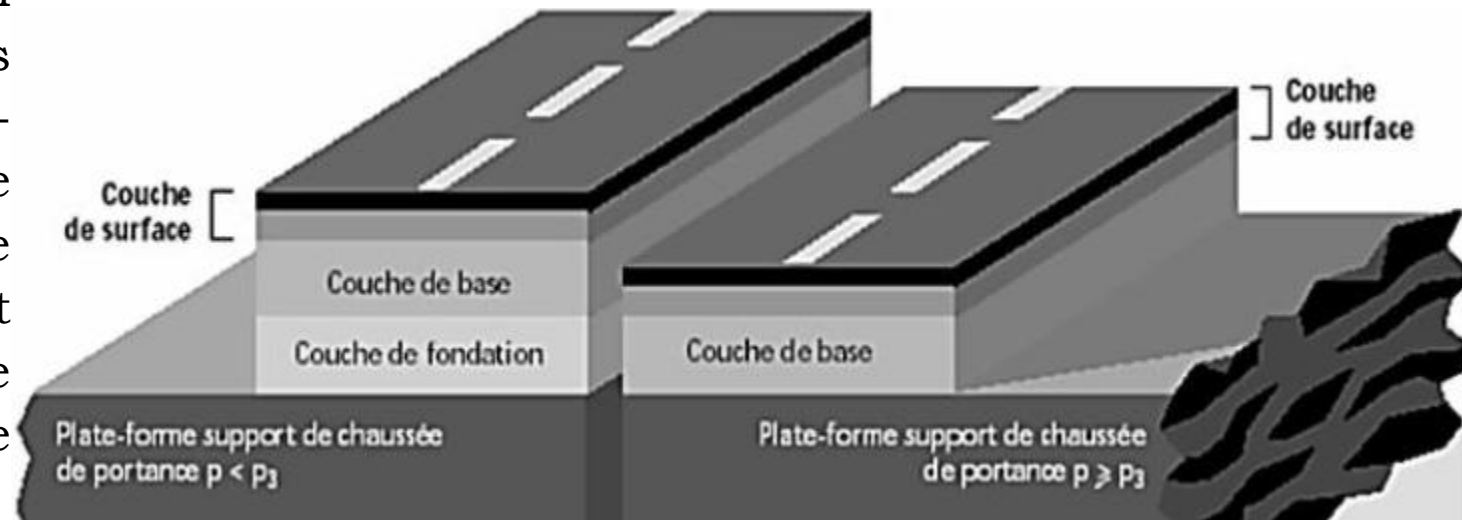
- **Chaussée souple** : Dans certaines applications, toutefois, les performances du bitume conventionnel peuvent ne pas être considérées comme satisfaisantes pour les raisons suivantes :
- En été, puisque la température est élevée, le bitume devient mou, ce qui entraîne l'orniérage, et des cassures menant à la rupture de la chaussée ;
- En hiver, puisque la température est basse, des fissures et des décollements apparaissent sur la chaussée rendant le revêtement impropre à l'utilisation ;
- En saison des pluies, l'eau pénètre dans la chaussée, ce qui cause des nids-de-poule et parfois le décollement de la couche bitumineuse ;
- À des températures inférieures à zéro, l'infiltration de l'eau dans la chaussée se fait, en raison du gel dans les vides bitumineux, la dilatation et la contraction du volume se produisent. Cela conduit à une défaillance des chaussées.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Chaussée semi rigide :**

- La chaussée semi-rigide est un type de structure de chaussée dans laquelle une couche de base semi-rigide, généralement constituée d'une base de ciment ou d'une base stabilisée au ciment, est recouverte d'une couche supérieure flexible de mélange de bitume.



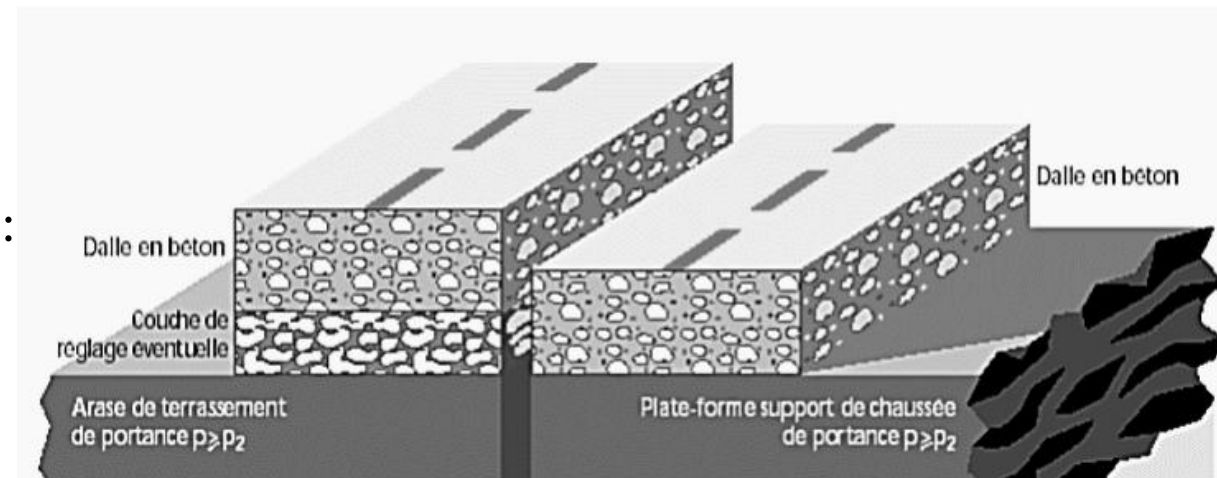
I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Chaussée rigide** : La surface de la chaussée rigide est beaucoup plus rigide que la surface de la chaussée en bitume. Elle est habituellement construite directement sur la couche de base. Bien que le béton des chaussées rigides soit construit de plusieurs manières différentes, ces types de systèmes de chaussées contiennent des éléments de renforcement tels que des treillis métalliques ou des barres déformées dans le béton.
- Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.

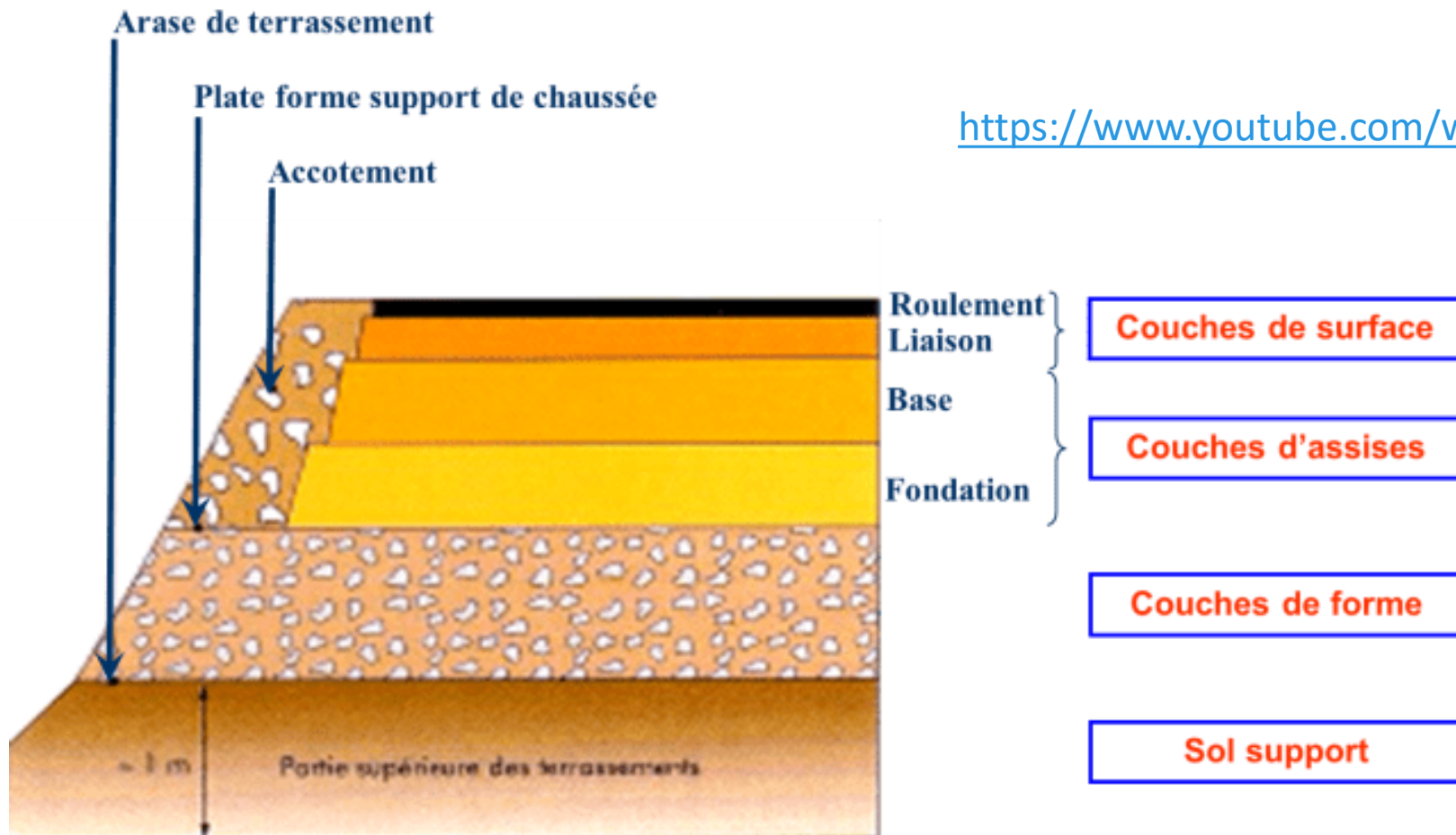
En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes :

- Une couche de forme ;
- Une couche de fondation ;
- Une couche de roulement en béton de ciment.



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :



<https://www.youtube.com/watch?v=M4iJKQTVVxQ>

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Couche de forme:**

A court terme (pendant la phase des travaux), la couche de forme doit présenter des caractéristiques minimales :

- De traficabilité, pour assurer, pendant la saison prévue pour l'exécution des travaux de chaussée, la circulation des engins approvisionnant les matériaux de l'assise ;
- De nivellement pour garantir la régularité de l'épaisseur des couches et l'uni de la chaussée terminée ;
- De déformabilité pour permettre le compactage correct des couches de chaussée ;
- De résistance vis-à-vis du gel si nécessaire.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couche de forme:

A long terme (pendant l'exploitation) Les fonctions à long terme se rapportent au comportement de la chaussée en service, à savoir :

- L'homogénéisation de la portance ;
- Le maintien dans le temps d'une portance minimale de la plate forme ;
- Contribution au drainage de la chaussée.

Selon les cas de chantiers (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier...), la couche de forme peut être :

- Inexistante ou réduite à une mince couche de réglage, lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises de la portance ;
- Constituée d'une ou plusieurs couches de matériaux différents incluant éventuellement un géotextile.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couches d'assise :

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base.

Ces couches sont en matériaux élaborés, le plus souvent en matériaux liés pour les chaussées à trafic élevé.

- Elles apportent à la chaussée la résistance mécanique, pour résister aux charges verticales induites par le trafic ;
- Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations, à ce niveau, dans des limites admissibles.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couches d'assise :

Lors de la construction de la chaussée :

- Fournissent un support bien nivelé pour la couche de surface ;
- Fournissent également un support de portance suffisante pour le compactage de la couche de surface ;
- Puissent servir provisoirement de couche de roulement (renforcement sous circulation, et/ou circulation de chantier).

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couches d'assise :

Lorsque la chaussée est construite :

- Assurent un rôle thermique, car les assises doivent protéger le sol support de la pénétration du gel ;
- La couche de base, plus proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables; il est donc nécessaire qu'elle présente des caractéristiques mécaniques assez élevées ;
- Quant à la couche de fondation, les contraintes et les déformations auxquelles elle est soumise conduisent à un niveau de qualité mécanique moindre que celui de la couche de base.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couches d'assise :

Matériaux pour couches d'assise

Les graves non traitées (GNT) :

- GNF : Grave non traitée pour couche de fondation (GNF1 – GNF2 – GNF3).
- GN : Grave non traitée pour couche de base (GNA – GNB – GNC – GND).



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- Couches d'assise :

Matériaux pour couches d'assise

Les graves traitées au ciment :

- GC : Grave Ciment ;
- GAC : Grave Améliorée au Ciment ;
- GVC : Grave Valorisée au Ciment.



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couches d'assise :

Matériaux pour couches d'assise

Les graves traitées aux liants hydrocarbonés :

- GBF : Grave Bitume pour couche de Fondation ;
- GBB : Grave Bitume pour couche de Base ;
- EME : Enrobé à Module Elevé ;
- GE : Grave Emulsion.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Couche de surface :**

La couche de surface est constituée :

- De la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat ;
- De la couche de roulement et une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- **Couche de surface :**

Rôle de la couche de roulement :

1. La sécurité :

La couche de roulement doit posséder de bonnes propriétés antidérapantes, c'est-à-dire une bonne rugosité. Cette rugosité doit être d'autant meilleure que la vitesse est élevée.

2. Le confort :

Le confort pour un usager, consiste, en particulier, à ne pas ressentir dans son véhicule de secousses brutales ou de vibrations excessives.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

- Couche de surface :

- Rôle de la couche de roulement :

- 3. La participation à la structure :

Il intéresse plus particulièrement l'ingénieur routier car :

- La couche de roulement subit directement les agressions du trafic et celles liées aux conditions climatiques ;
- Elle doit également faire obstacle à la pénétration d'eau dans les assises de chaussées qui peut entraîner la destruction de la liaison entre couches à l'interface base / roulement et même désorganiser la couche de base elle même.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

• Couche de surface :

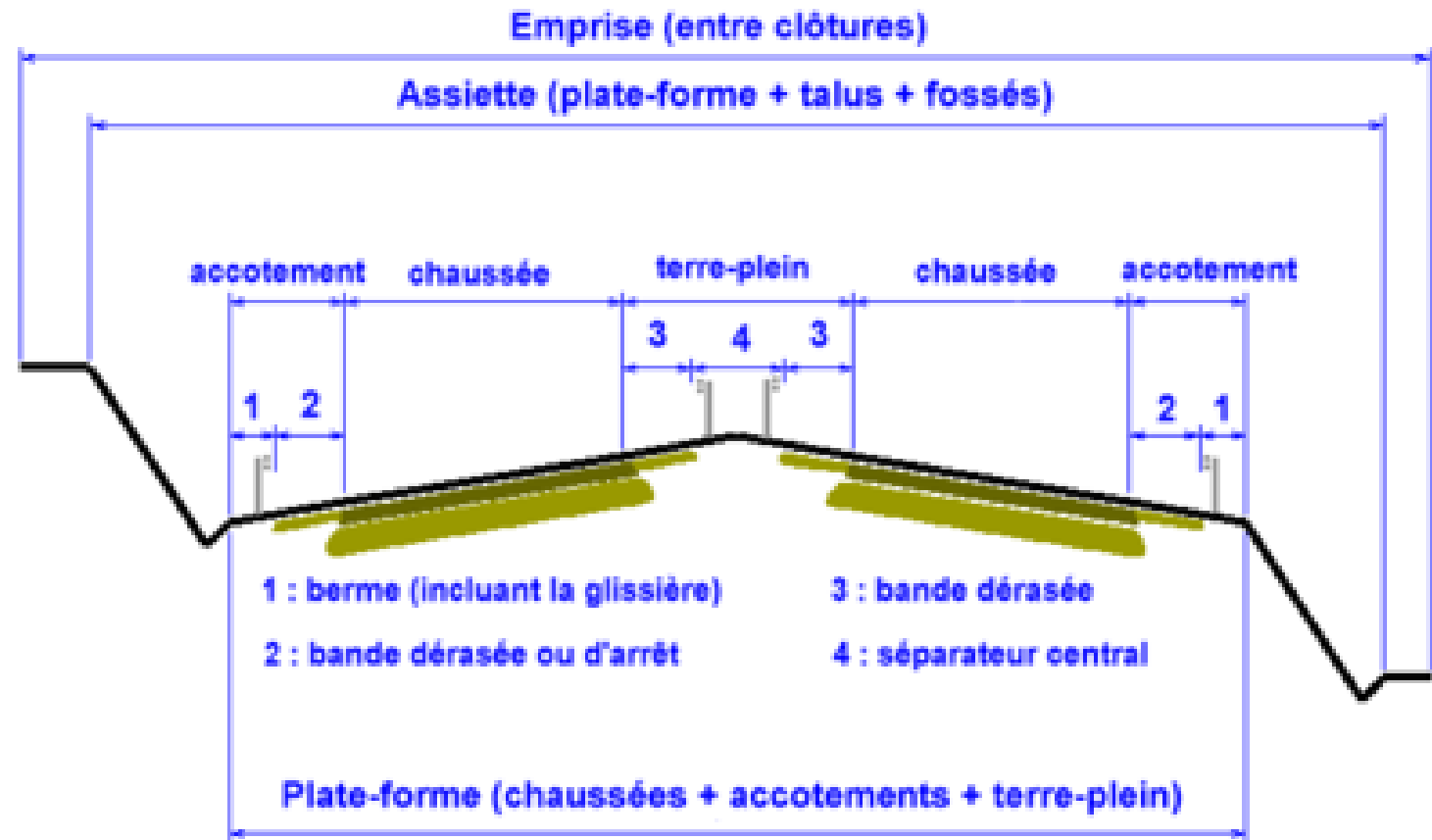
Matériaux pour couche de roulement :

- RS (ES) : Revêtement (Enduit) Superficiel ;
- ECF : Enrobé Coulé à Froid ;
- EF : Enrobé à Froid ;
- EB (BB) : Enrobé (Béton) Bitumineux ;
- BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé ;
- BBTM : Béton Bitumineux Très Mince ;
- BBDr : Béton Bitumineux Drainant.

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Accotements : Ce sont deux bandes latérales qui encadrent la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés ; La largeur des accotements varie généralement entre 1 et 3 mètres et peut être revêtue ou non revêtue. Les accotements larges suscitent chez les conducteurs une sensation de confort et de sécurité.



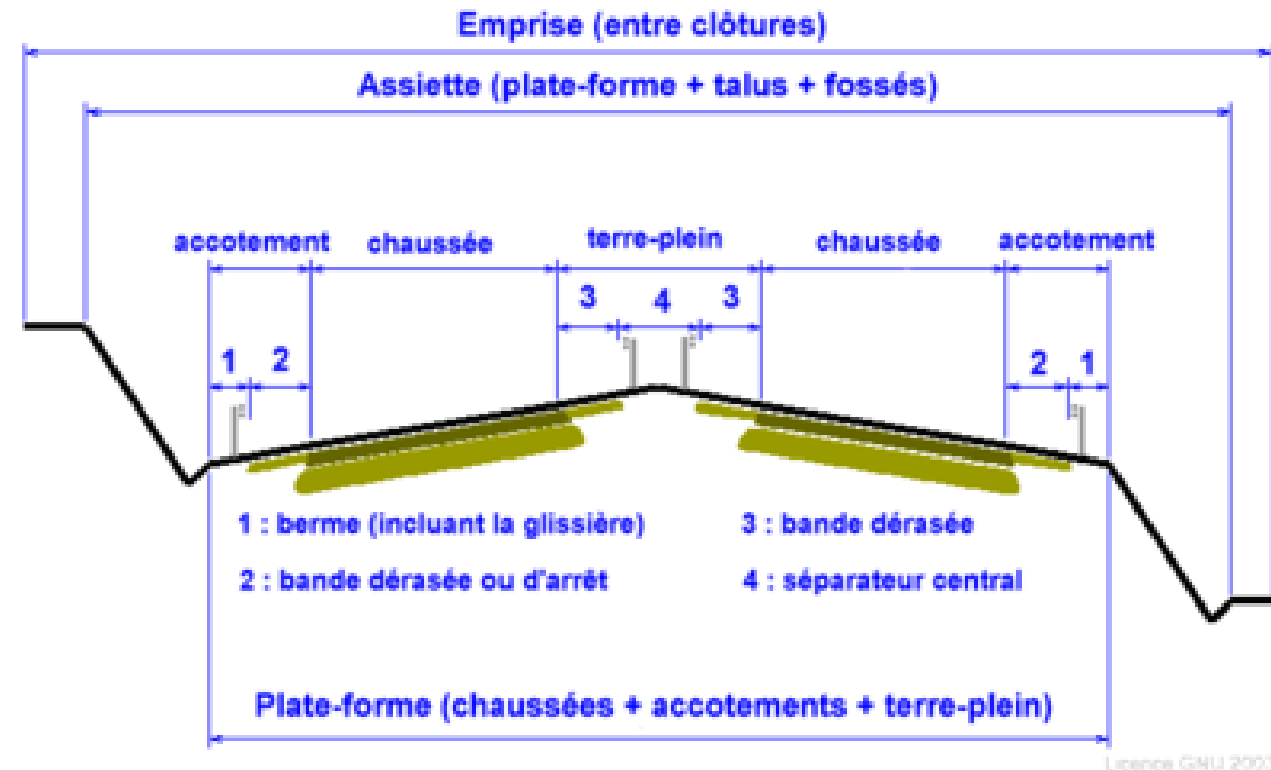
Licence GNU 2003

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

L'accotement sert :

- ✓ De support latéral à la structure de la chaussée ;
- ✓ De refuge aux véhicules arrêtés ou en panne ;
- ✓ Permet la circulation des véhicules d'urgence ;
- ✓ Protège l'automobiliste lors d'un dépassement imprévu en lui permettant d'éviter une collision frontale.

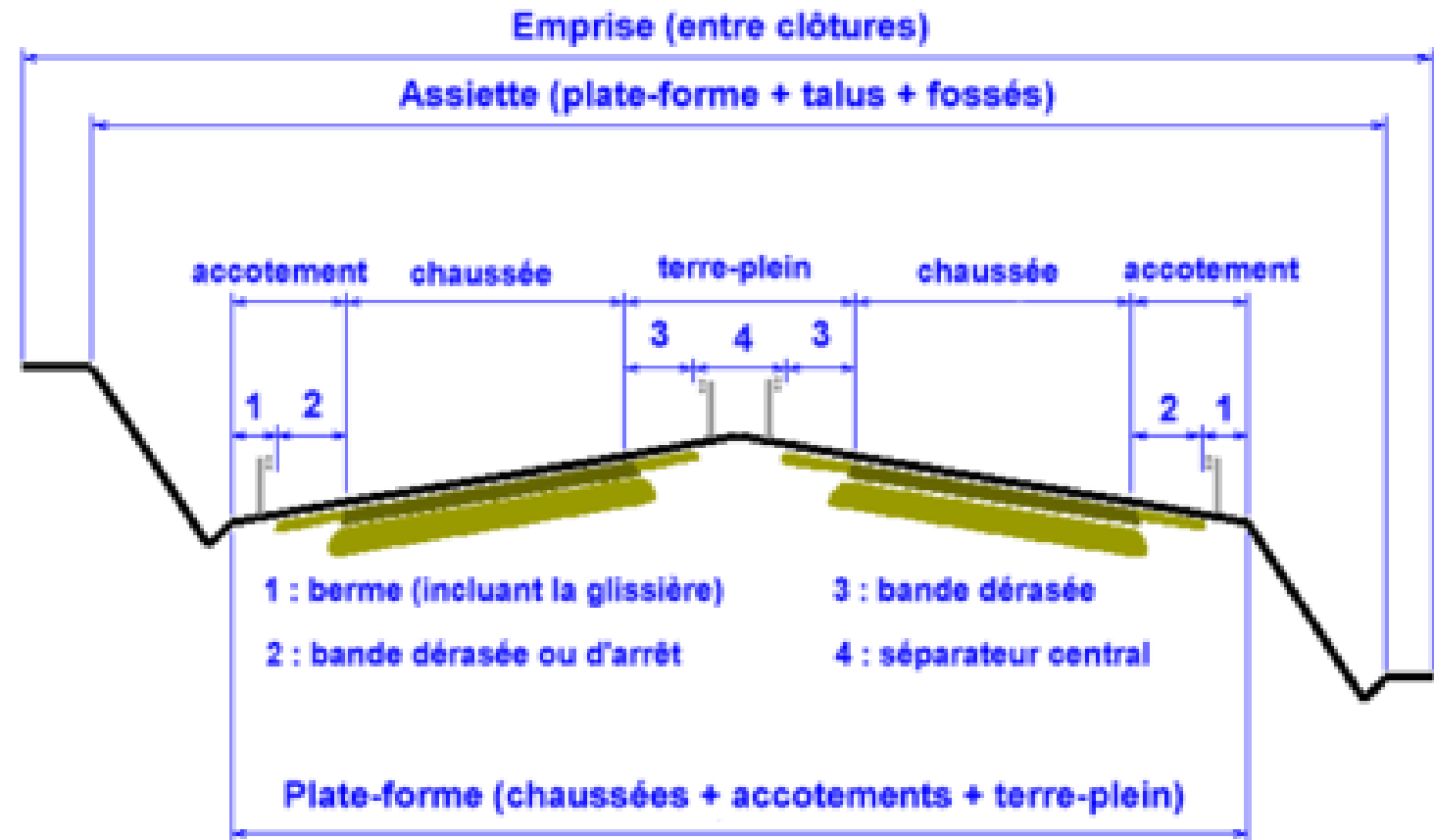


Licence G4U 2003

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Plate-forme : C'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et, éventuellement les terres pleines centrales (TPC).

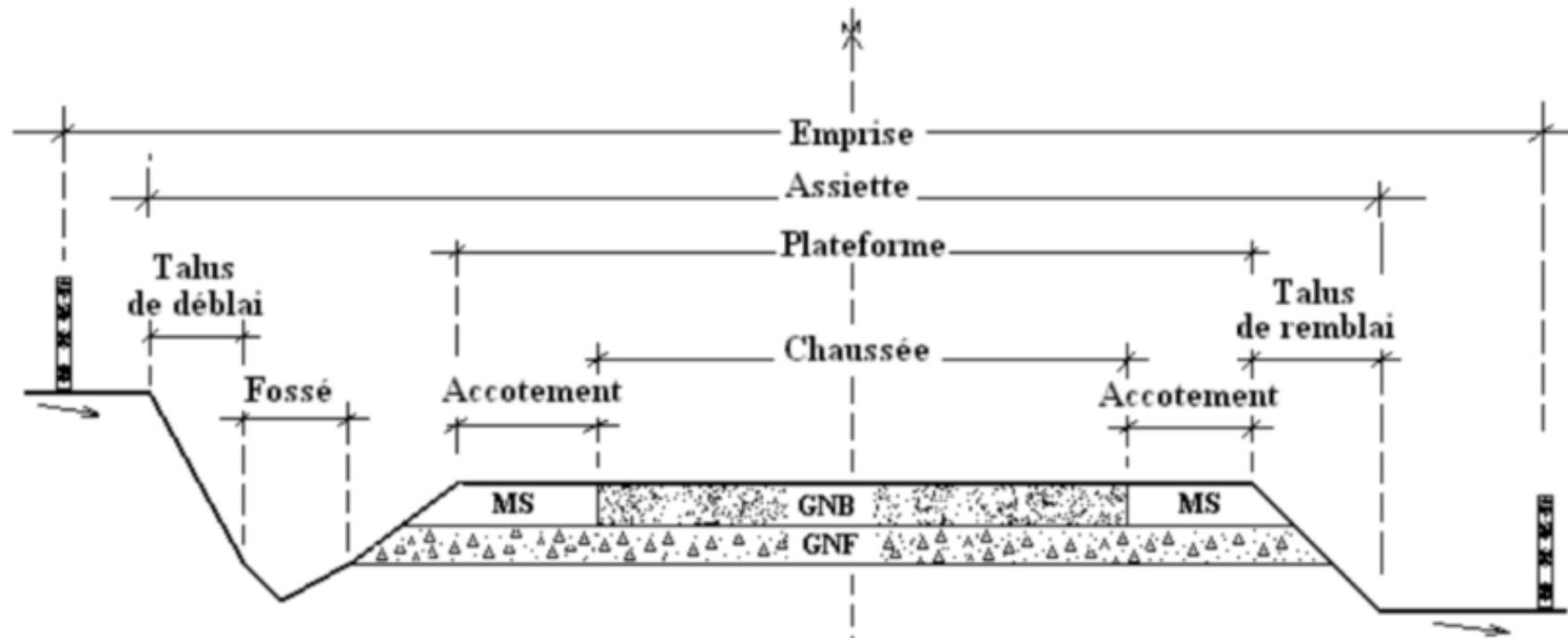


Licence GNU 2003

I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Fossés : Ce sont les excavations aménagés de part et d'autre de la plateforme. Ils sont destinés à assainir la plateforme en collectant les eaux de ruissellement et drainées par la chaussée et les accotements.



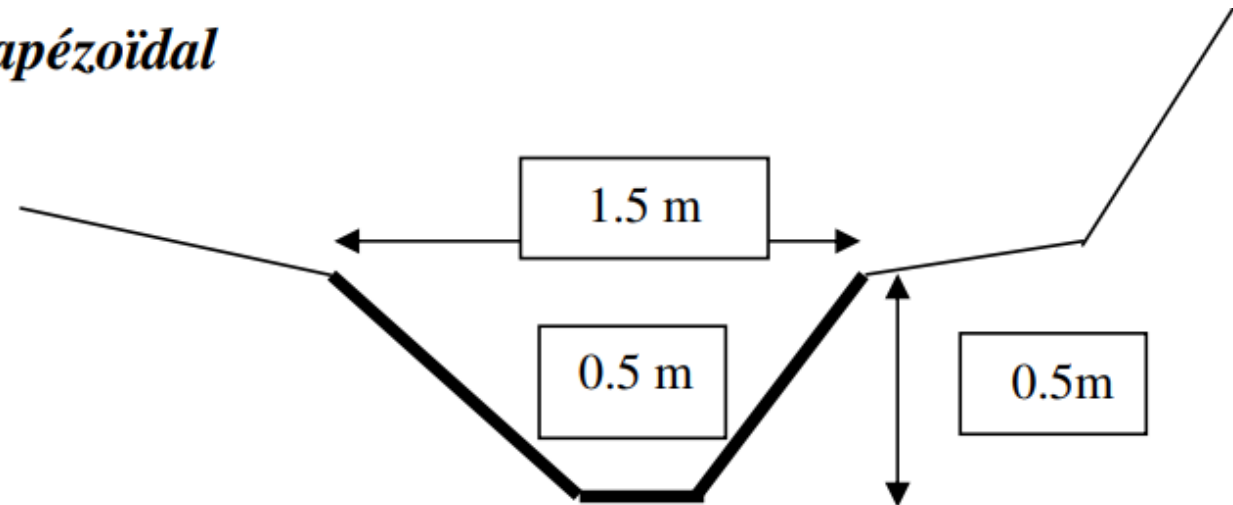
I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

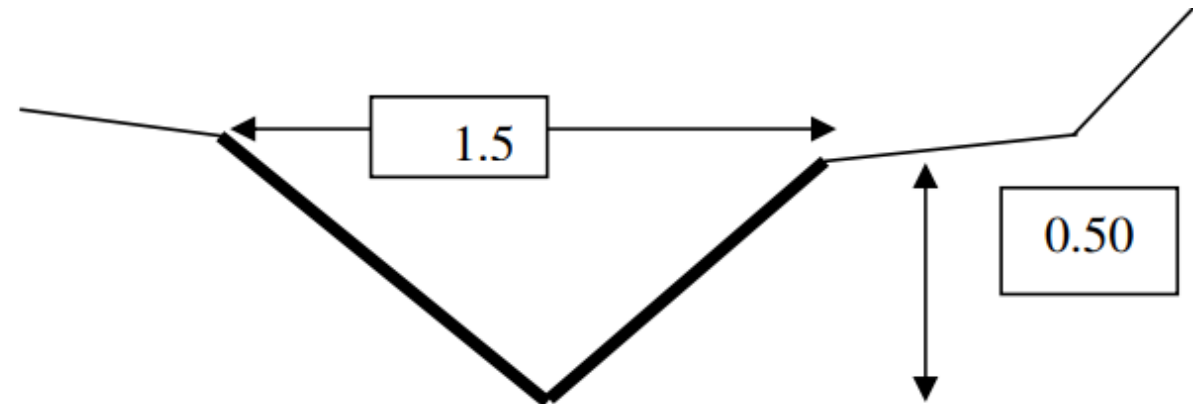
On distingue :

NB : Les dimensions mentionnées ci-dessus sont fournies à titre indicatif.

Fossé trapézoïdal



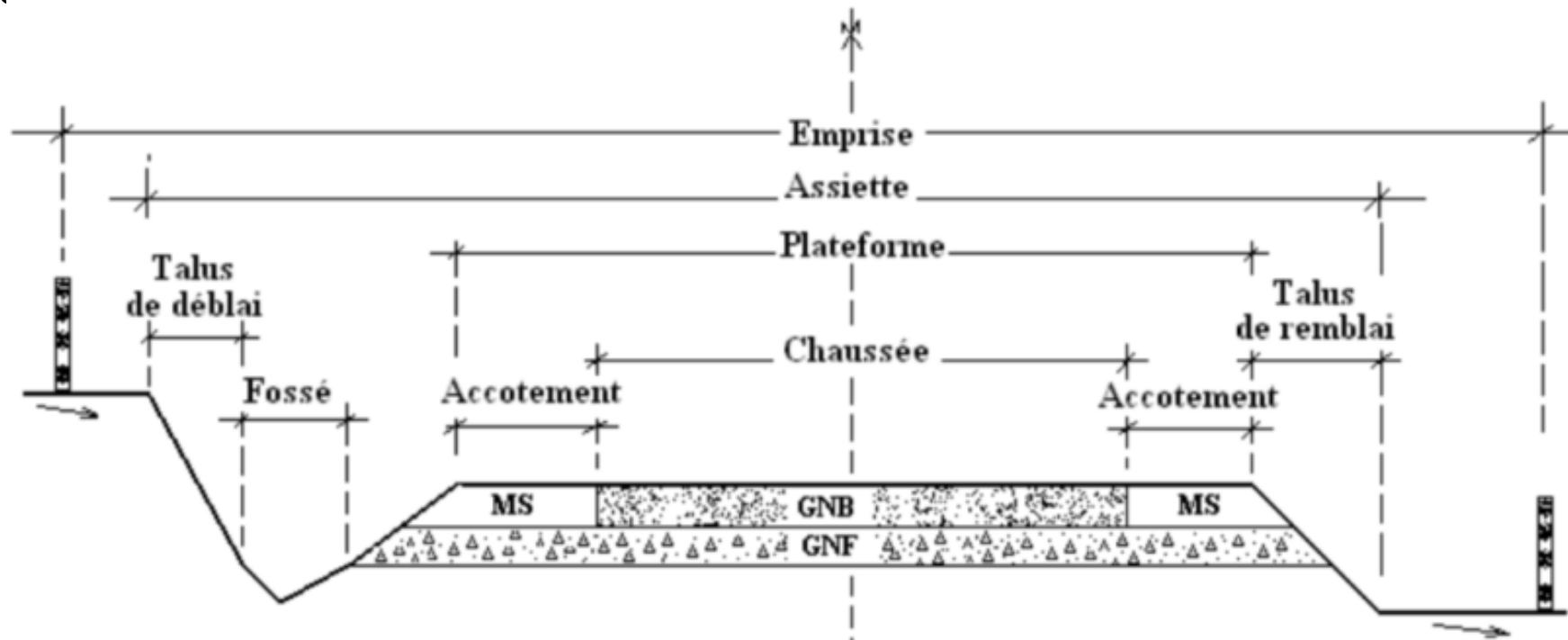
Fossé triangulaire



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

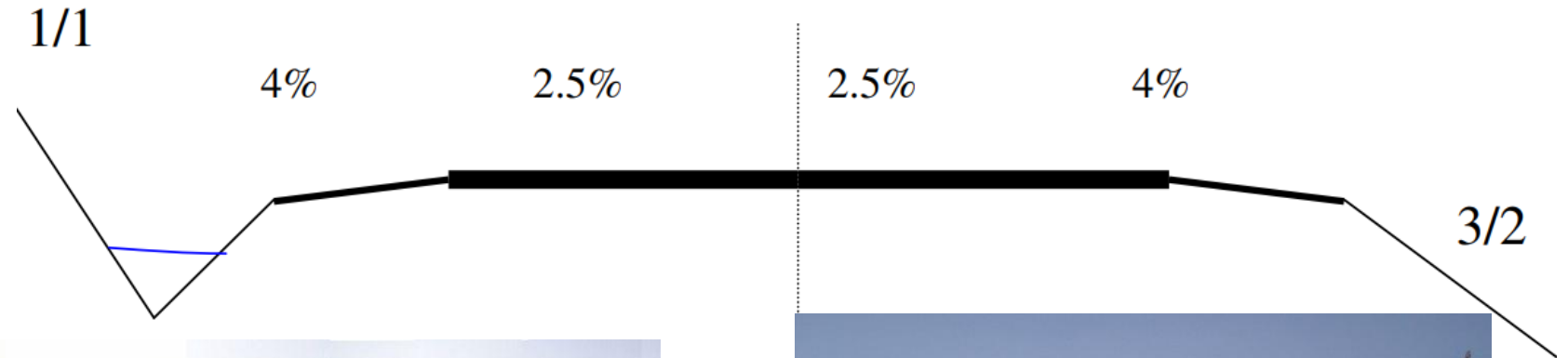
Talus : Partie de route comprise entre l'accotement et le fossé ou au-delà du fossé. On distingue les talus de remblais et les talus de déblais, sa pente est définie en fonction de la stabilité des matériaux le constituant



II. Terminologie routière :

2. Assiette : fossé et talus :

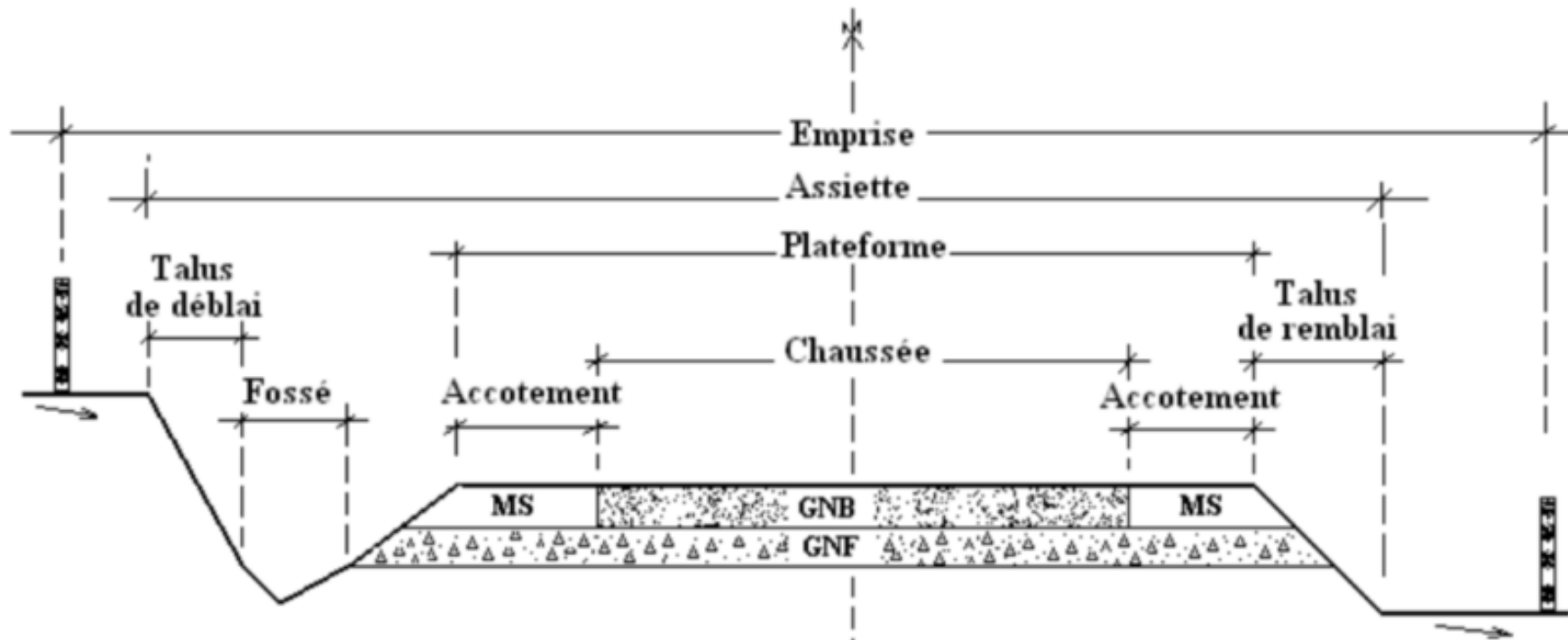
- Les talus de remblais sont généralement réglés à une pente de 3/2.
- Les talus de déblais sont généralement réglés à une pente de 1/1.



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Assiette : C'est la surface de terrain réellement occupée par la route et ses annexes Plateforme, Fossés, Talus, toute dépendance et ouvrages affectés au domaine public (DP).



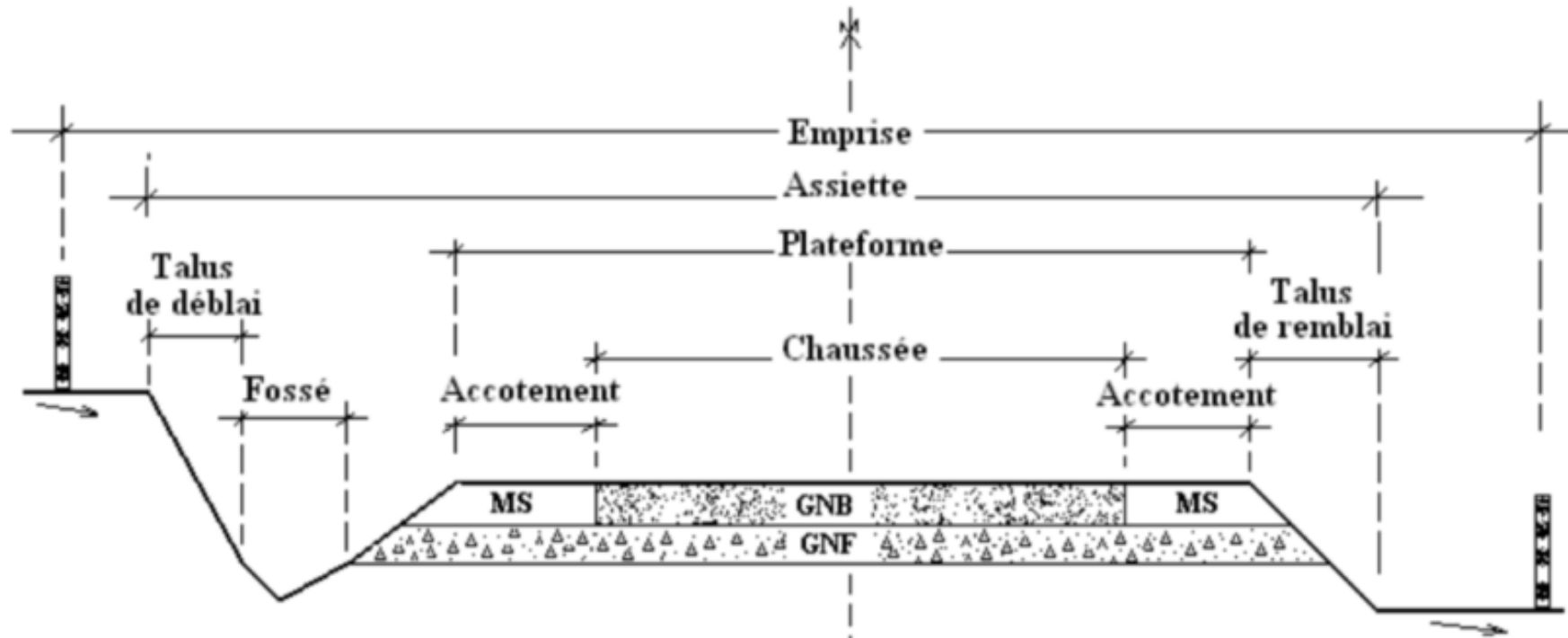
I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Emprise : C'est la surface de terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes. Elle est au moins égale à l'assiette.

Elle est généralement de :

- 30 m pour les routes nationales ;
- 70 à 100 m pour les autoroutes.



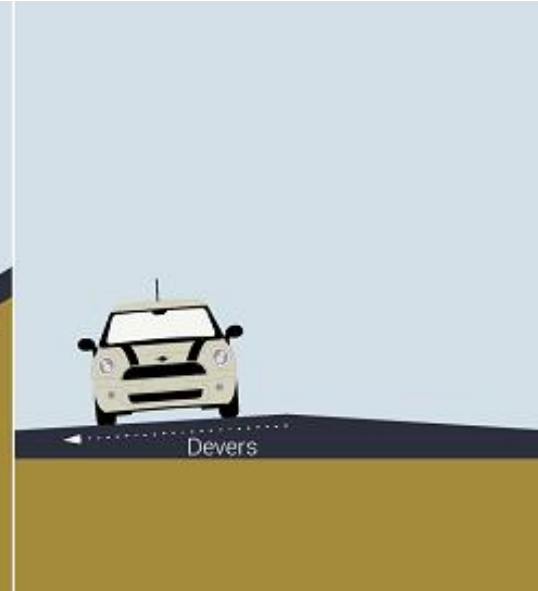
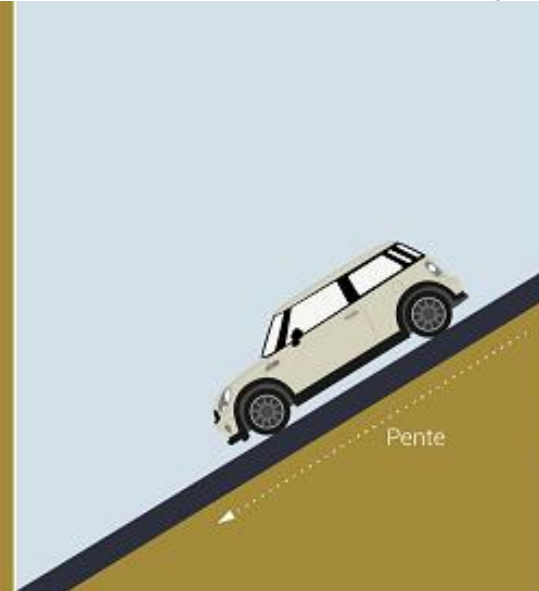
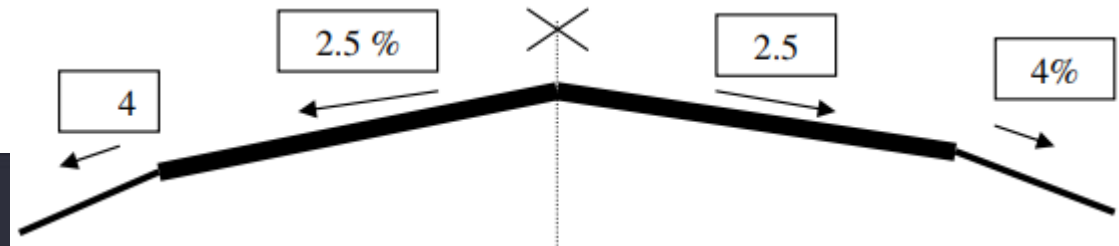
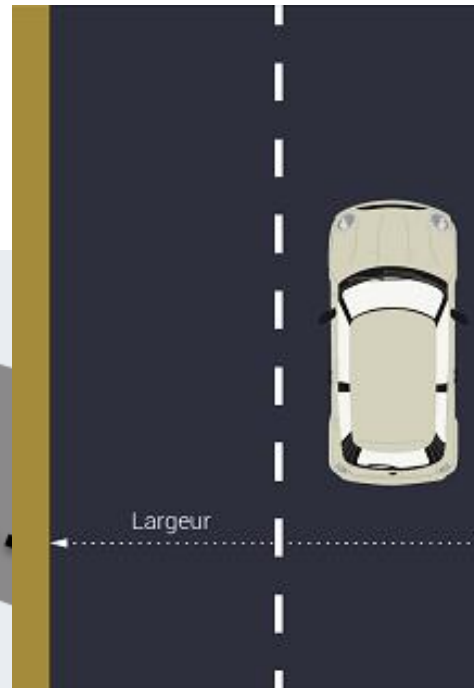
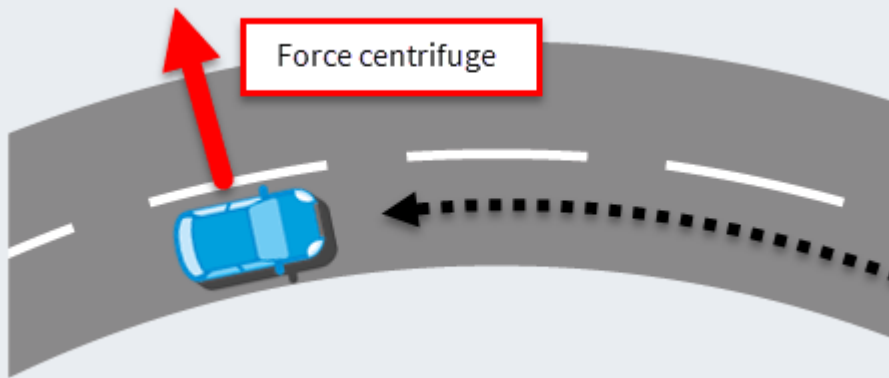
I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Dévers : C'est l'inclinaison transversale de la route, en alignement droit le dévers est destiné à évacuer les eaux superficielles.

En courbe les dévers permettent à la fois d'évacuer les eaux de ruissellement et de compenser une partie de la force centrifuge.

N.B : En courbe la valeur du dévers dépend de la valeur du rayon en plan.



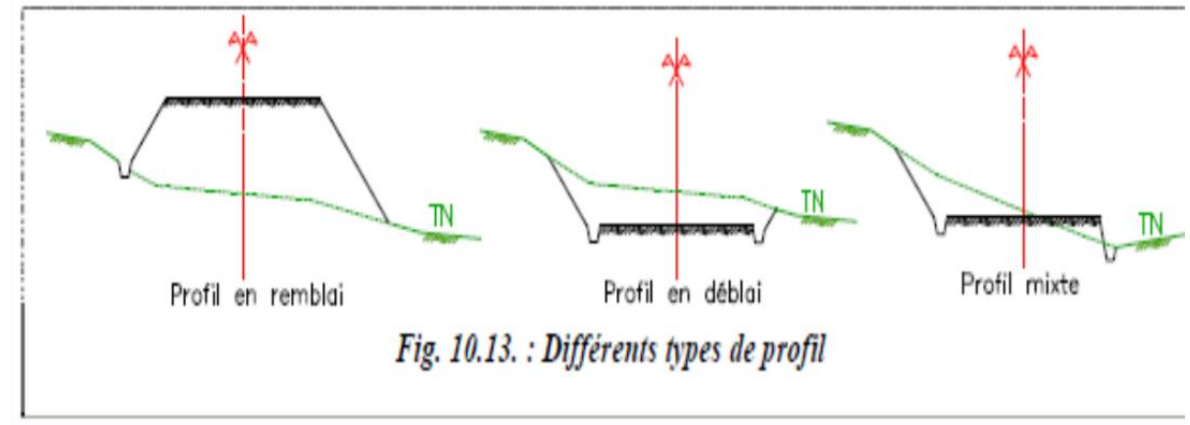
I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :

Remblais – Déblais :

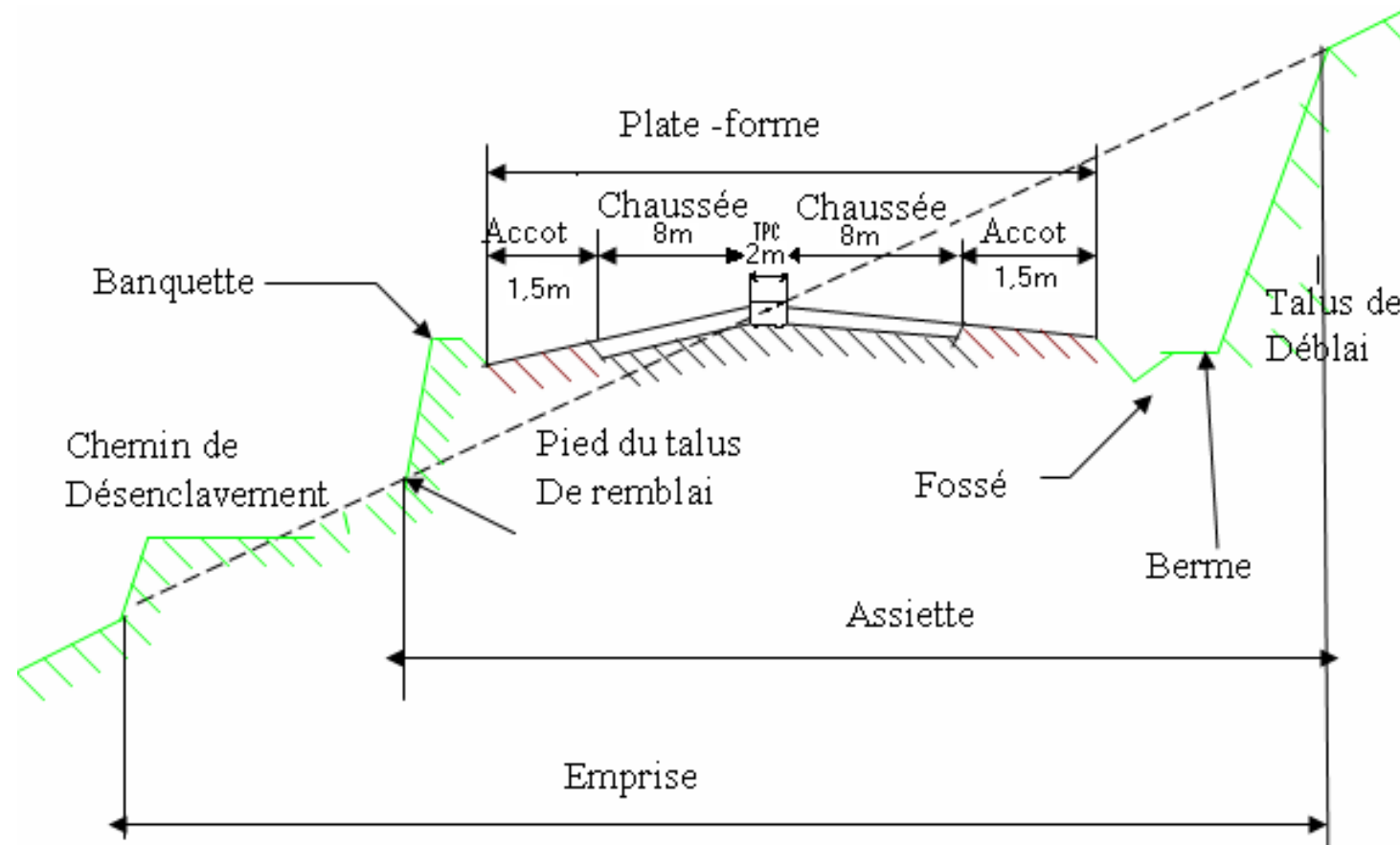
Quand la route est construite au-dessus du terrain naturel, on dit qu'elle est en remblais.

Quant elle est construite au-dessous du terrain naturel, on dit qu'elle est en déblais.



I. Rappel des notions de base sur les routes

3. Terminologie routière :



I. Rappel des notions de base sur les routes

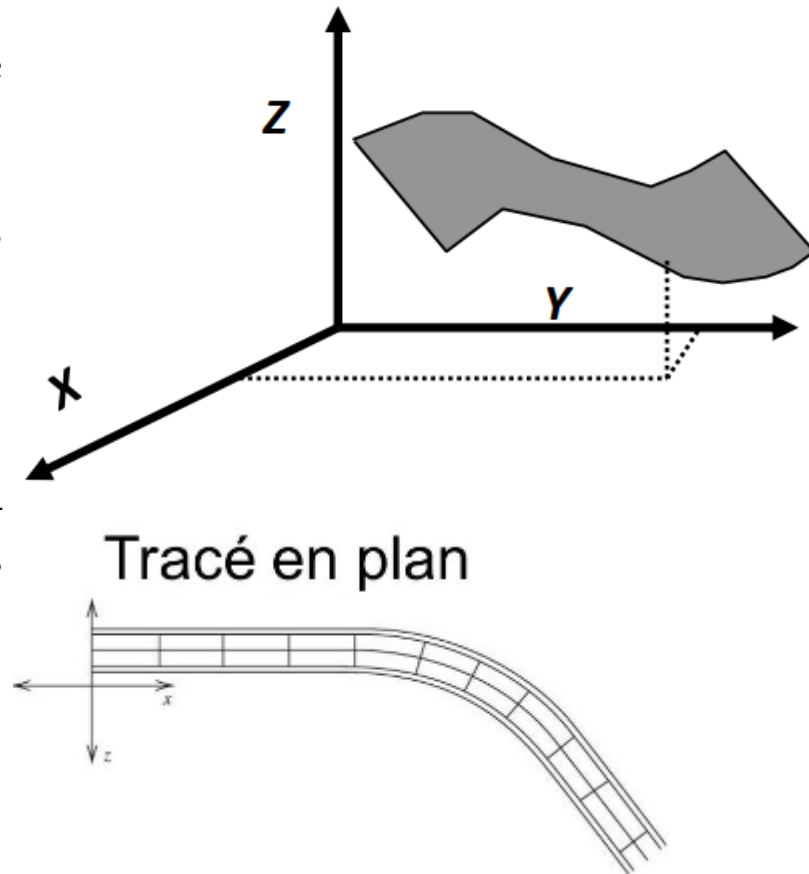
4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

Une **route** est une surface. Dans un repère orthonormé, cette surface peut être définie par une équation de type $f(x,y,z)=0$.

Une route est représenté géométriquement par les éléments suivants :

Tracé en plan :

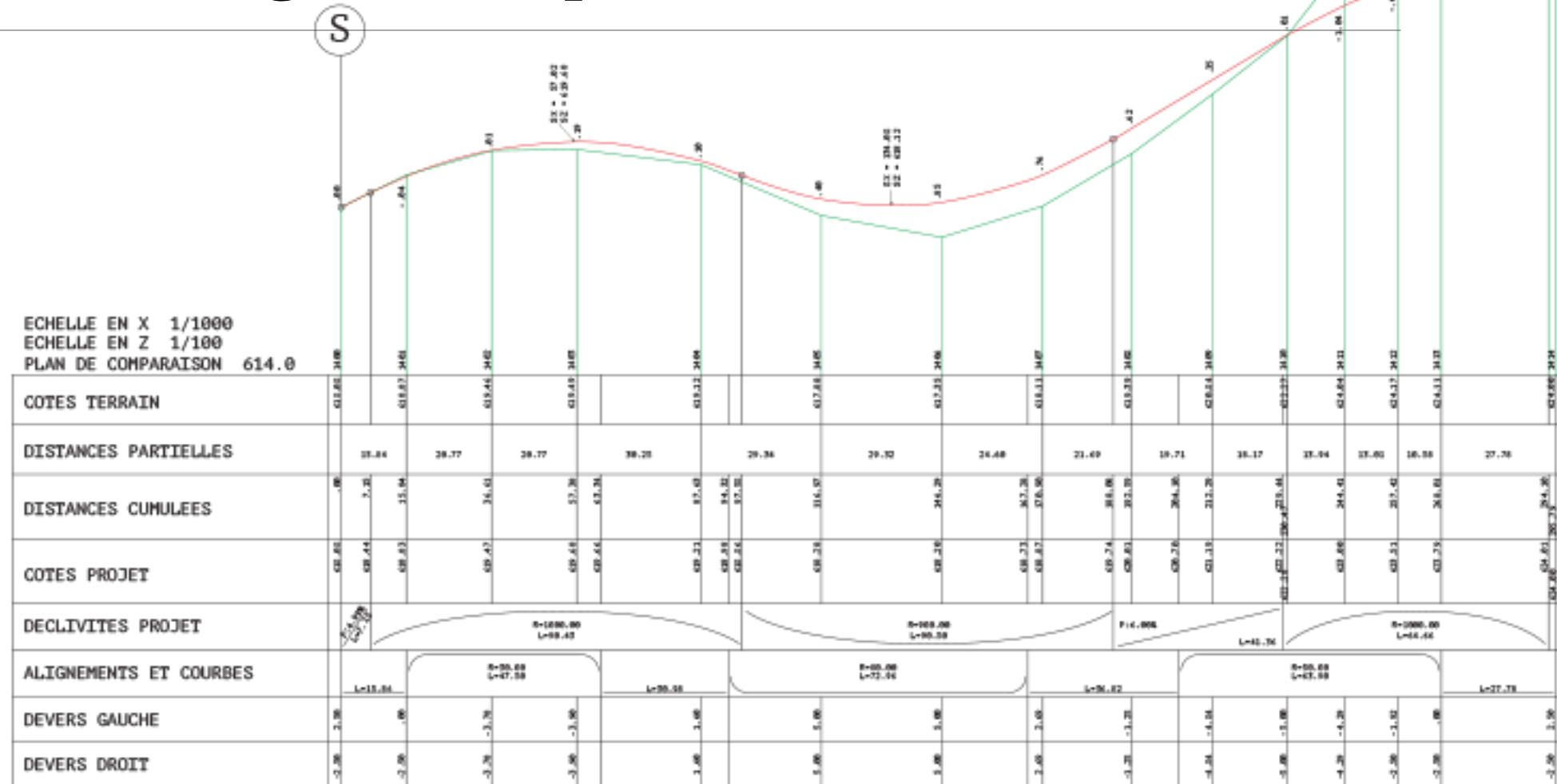
c'est la projection de l'axe de la route sur un plan horizontal . Il permet de définir et implanter les sections régulières (les parties rectilignes de la route) et les sections singulières (virages , ouvrage , intersection avec autre voie...).



I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

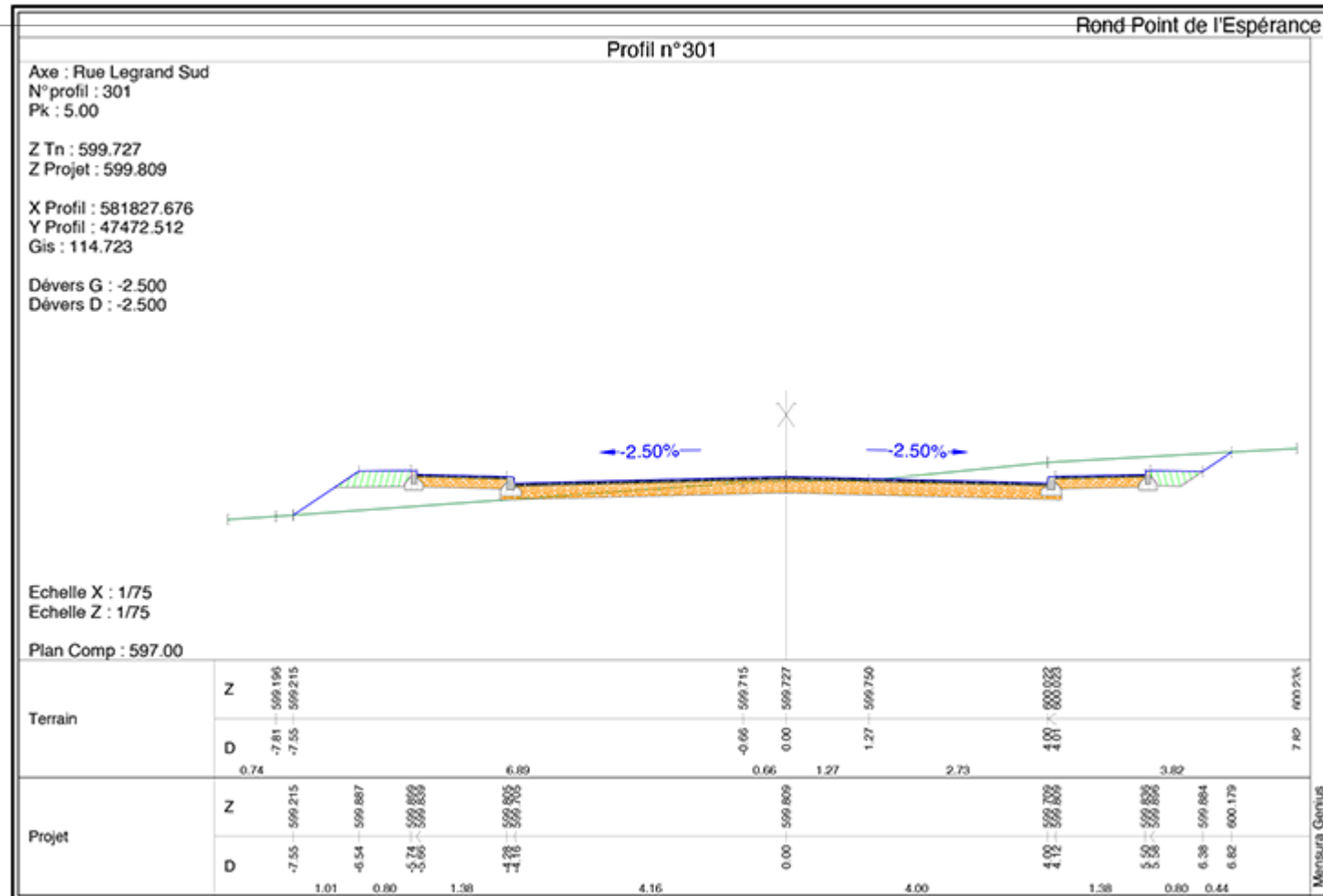
Profil en long : C'est la coupe longitudinale de la route suivant l'axe de la route (projection de l'axe de la route sur un plan vertical selon le long de la route). Il permet de définir les caractéristiques des pentes et des rampes et leurs raccordements.



I. Rappel des notions de base sur les routes

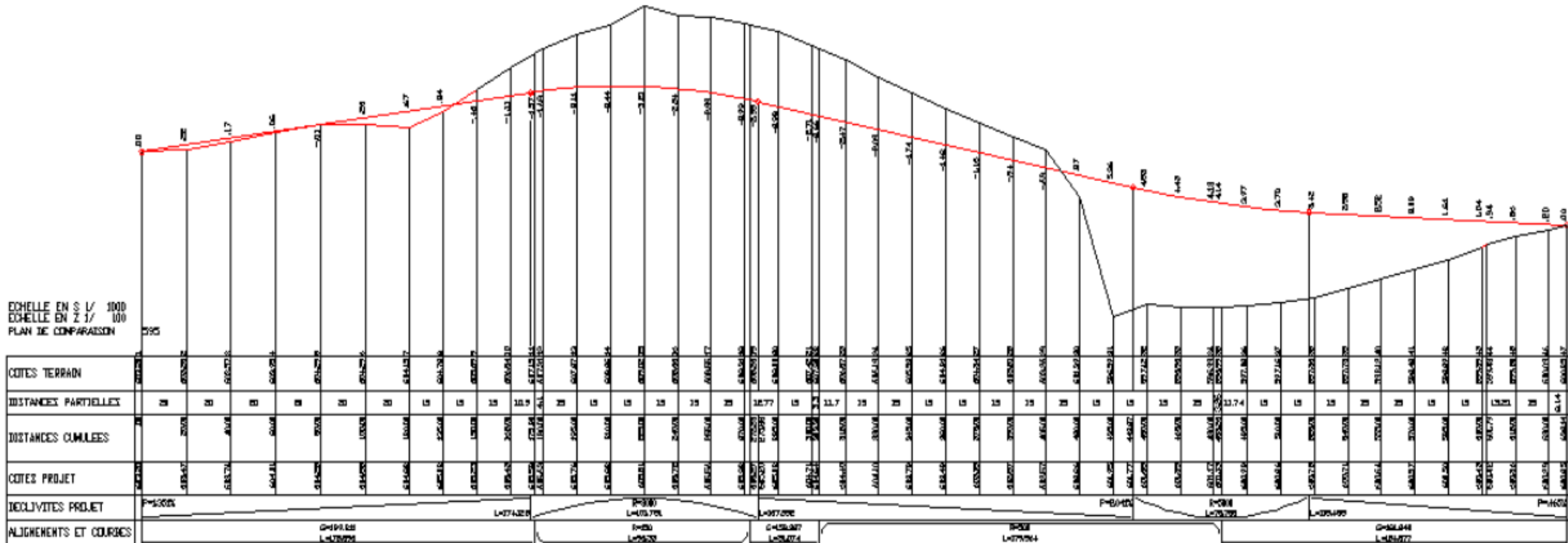
4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

C'est une coupe suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe. Il permet de définir la largeur de la chaussée, largeur de la plate-forme et les pentes des talus.



I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :



I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

1. Largeur de chaussée :

Type de chaussée		Voies
Chaussées Bidirectionnelles	3m	1 voie
	4m	1 voie
	6m	2 voies
	7m	2 voies
	10,50m	3 voies
	14m	4 voies
Chaussées Unidirectionnelles	5m	
	7m	
	10,50m	

NB : la largeur standard d'une voie est 3.50 m (standard international).

I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

1. Largeur de chaussée :

- Les chaussées de 3m sont réservées aux routes à très faible trafic (moins de 50 véh/j escomptés à échéance de 10 ans) ;
- Les chaussées de 10m 50 et 14m sont déconseillées en raison de leur particulière insécurité ;
- La chaussée de 10m50 peut toutefois être intéressante lorsque la route projetée est appelée à être intégrée, dans un avenir prévisible, dans une autoroute à 2 x 7m, la surlargeur constituant la bande d'arrêt d'urgence ;
- La chaussée de 14m est en principe réservée aux cas où l'emprise d'une route à 2 chaussées unidirectionnelles de 7m, ne peut-être acquise que moyennant une dépense excessive ;
- Les chaussées unidirectionnelles de 5m sont réservées aux voies à sens unique, c'est à dire en général aux bretelles de raccordement des carrefours dénivelés.

I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

2. Surlargeur :

L'inscription de véhicule long dans les courbes à faible rayon est difficile, c'est pourquoi une surlargeur au niveau de ces courbes est préconisée ; surlargeur S donnée par la formule :

$$S = 50 / R$$

- S et R en mètres, les surlargeurs sont dédiés pour les courbes de rayon inférieur à 250 m.
- Surlargeur généralement portée par moitié de part et d'autre de l'axe de la route. Constante sur toute la longueur de la courbe, elle sera introduite progressivement en même temps que le dévers.



I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

3. Accotements :

Ces largeurs peuvent être réduites notamment en zone aride lorsque l'entretien d'accotements aptes à supporter le stationnement et le roulage occasionnel des véhicules est difficile ou impossible, ou bien par souci d'économie, sur les sections en déblai ou remblai de plus de 7m de hauteur, ou en profil mixte, lorsque la pente transversale du terrain naturel atteint ou dépasse 40 %.

Des glissières de sécurité sont alors établies pour autant que besoin, et notamment du côté extérieur de toutes les courbes des routes à chaussée de 7m ou plus.

Type de chaussée		Largeur normale de l'accotement
Chaussées bidirectionnelle	3m	1m
	4m	2m
	6m	2m
	7m ou plus	2,5m
Chaussées unidirectionnelle	5m	1,5m
	7m ou plus	2,5m

I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :

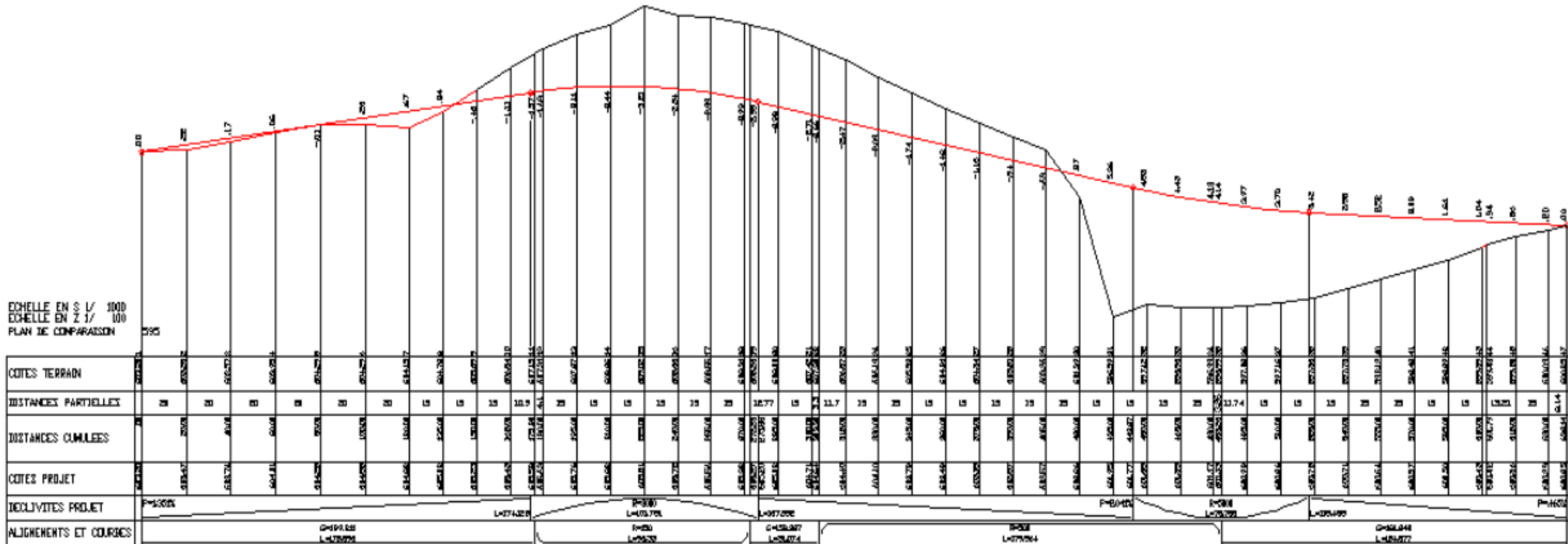
4. Terre-plein central :

Le terre-plein central séparant deux chaussées unidirectionnelles aura :

- Soit une largeur minimale de 6m. Il ne comportera alors pas de glissière de sécurité en section courante, et sera planté de haies basses destinées à prévenir l'éblouissement, et à s'opposer au franchissement irrégulier ou accidentel du terre-plein. Les haies peuvent être remplacées, si les conditions climatiques s'opposent à leur croissance, par des clôtures grillagées spécialement conçues pour limiter les risques d'éblouissement ;
- Soit une largeur de 3m ; une double glissière de sécurité sera alors implantée dans l'axe du terre-plein ; elle sera interrompue périodiquement pour faciliter l'entretien ;
- Les largeurs de terre-plein inférieures à 3m ou intermédiaires entre 3 et 6 m sont interdites.

I. Rappel des notions de base sur les routes

4. Les éléments géométriques d'un tracé routier :



II. Rappel sur la géotechnique routière

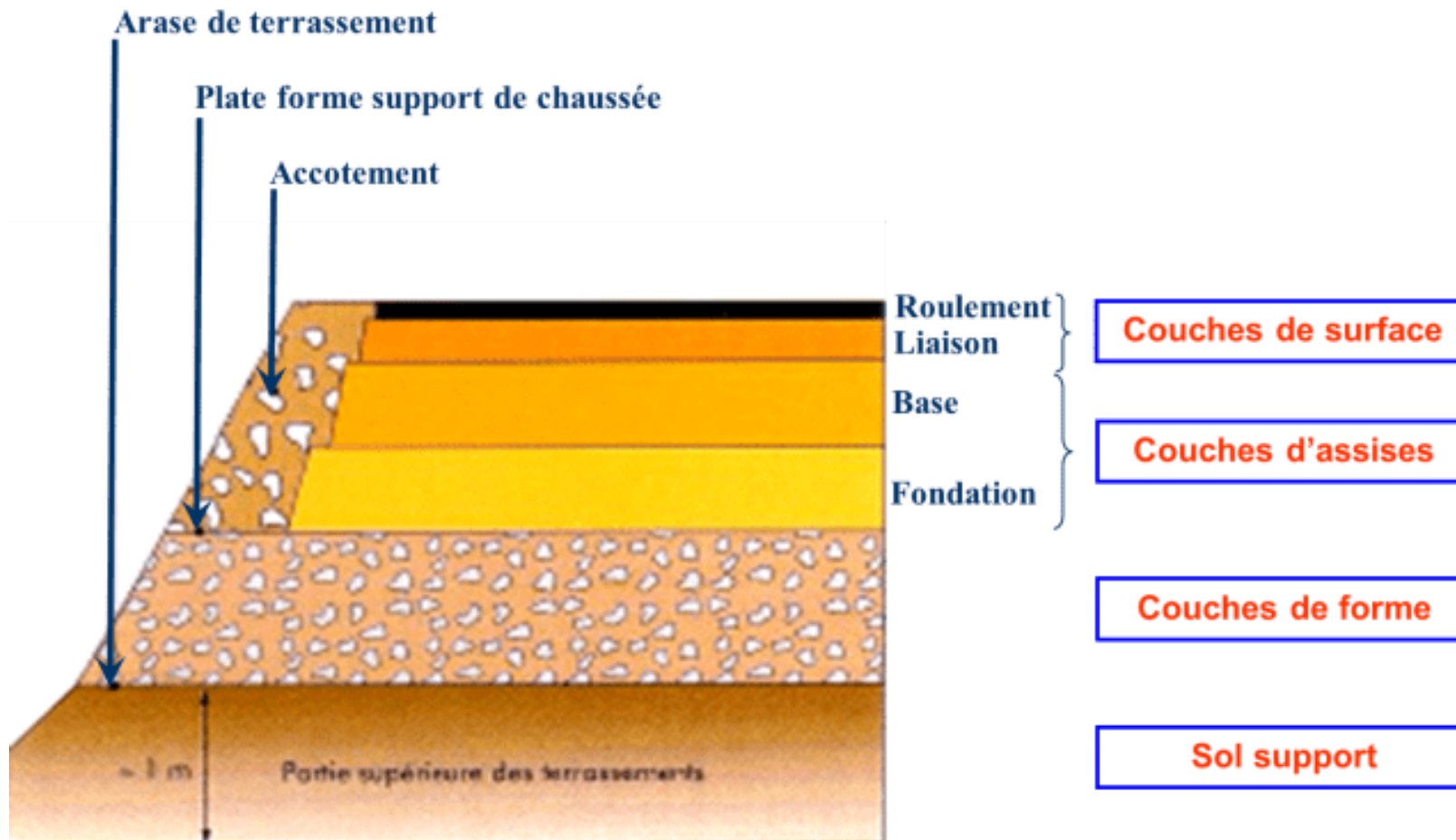
1. Définition :

La géotechnique routière est définie comme étant une science qui étudie d'une part , les sols sur lesquels reposent les chaussées , et d'autre part , les matériaux qui constituent les différentes couches de ces chaussées sans autant oublier la fiabilité des ouvrages construits. Elle représente 95% de la réussite d'un projet routier ou de travaux publique.



II. Rappel sur la géotechnique routière

1. Définition :



II. Rappel sur la géotechnique routière

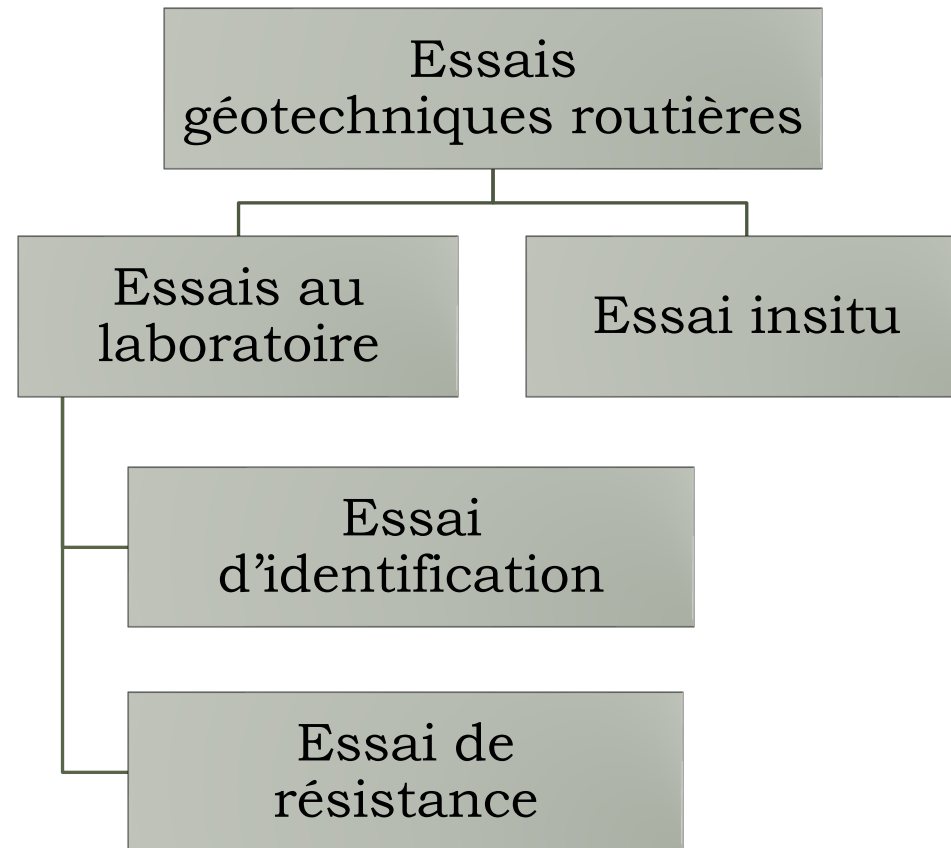
1. Définition :

Le terrassement est la phase primordiale lors d'exécution d'un projet routier et sa réalisation devra être bien étudié. L'objectif de l'étude géotechnique est de minimiser les coûts de terrassement par un choix judicieux du tracé et de la ligne rouge qui prend en compte la nature et l'état des sols à terrasser ainsi que leur emplacement.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

Les paramètres de nature se rapportent à des caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire qui ne varient pas ou peu, ni dans le temps ni au cours des différentes manipulations qui subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

- 1 • Analyse granulométrique
- 2 • Equivalent sable
- 3 • Teneur en eau
- 4 • Limite d'Atterberg
- 5 • Essai valeur au bleu du sol (VBS)

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

- But de l'essai :

Déterminer la répartition des tailles des particules dans un matériau granulaire (sol ou gravier). L'analyse granulométrique permet de classer les matériaux selon la proportion de différentes tailles de particules, des fines (argiles et limons) aux plus grosses particules (graviers).

- Domaine d'application :

Utilisée pour évaluer la qualité des matériaux granulaires destinés aux couches de fondation, de base et de surface des routes. Elle permet de choisir des matériaux adaptés pour garantir une bonne compaction et une résistance optimale sous les charges routières.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

- Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

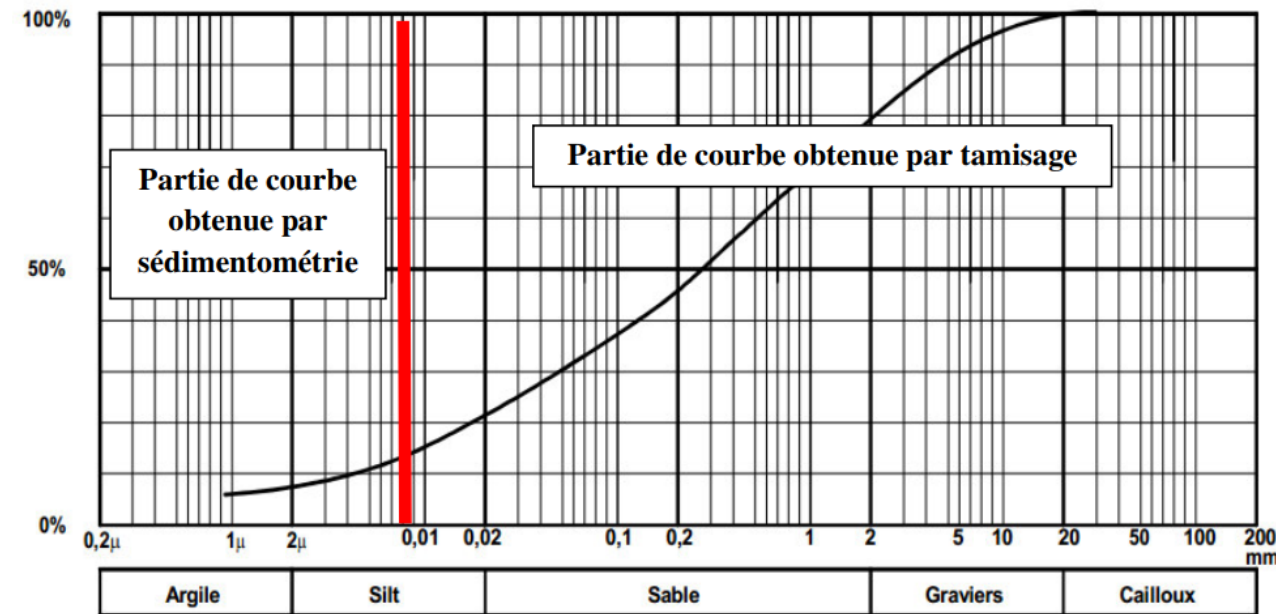
2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

• Résultats et interprétations :

Tracé de la courbe granulométrique : Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- En abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique ;
- En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

- Résultats et interprétations :

Coefficient d'uniformité C_u :

Il est défini par : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Il sert à la description de la granulométrie.

D_x est par définition le diamètre du tamis dont le tamisât cumulé est égal à x %.

Coefficient de courbure C_c :

Il est défini par : $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

On le considère que lorsque C_u est supérieur à 4 pour les graviers, et supérieur à 6 pour les sables, alors $1 < C_c < 3$ donne une granulométrie bien étalée (faible porosité).

C_u	Granulométrie
1	A une seule grosseur
1 – 2	Très uniforme
2 – 5	Uniforme
5 – 20	Peu uniforme
> 20	Très étalée

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

• Résultats et interprétations :

Type de matériau	Facteur Cu (Coefficient d'uniformité)	Description granulométrique	Utilisation dans le domaine routier
Bien gradué	$Cu > 6$: Matériau bien gradué, bonne distribution des tailles de particules.	Distribution équilibrée des tailles de particules, allant des fines aux grosses.	Matériau optimal pour les couches de fondation et de base. Bonne compaction, stabilité et densité maximales.
Mal gradué (ou mal classé)	$Cu < 4$: Matériau mal gradué, manque de diversité dans les tailles de particules.	Prédominance de particules de tailles similaires (fines ou grosses).	Compaction difficile, présence de vides excessifs. Nécessite un mélange avec d'autres matériaux pour améliorer la stabilité.
Sableux	$Cu \sim 2-6$: Matériau peu varié en taille de particules, souvent utilisé pour le drainage.	Forte proportion de particules sableuses, peu de fines ou de graviers.	Adapté aux couches de surface ou de drainage, mais moins efficace pour les couches de fondation si utilisé seul.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.1. Analyse granulométrique :

• Résultats et interprétations :

Type de matériau	Facteur Cu (Coefficient d'uniformité)	Description granulométrique	Utilisation dans le domaine routier
Argileux/ Limoneux	$Cu < 2$: Matériau homogène, avec trop de fines, qualité médiocre pour les routes.	Forte proportion de fines (argiles ou limons).	Matériau inadéquat pour les couches routières sans traitement. Risque de mauvaise portance et de sensibilité à l'eau.
Graveleux	$Cu > 6$: Bonne variation des tailles de particules, mais peut nécessiter des fines pour une bonne compaction.	Forte proportion de particules grossières (graviers).	Bon pour les couches de fondation, mais nécessite des particules plus fines pour un bon interverrouillage et compaction.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.2. Equivalent sable :

- But de l'essai :

L'objectif de l'essai est de quantifier le rapport entre les particules fines argileuses et les particules sableuses dans un échantillon de sol ou de granulat. Cet essai est essentiel pour s'assurer que les granulats utilisés dans les couches routières ne contiennent pas une quantité excessive de fines, qui pourraient affecter la compaction et la stabilité des matériaux.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

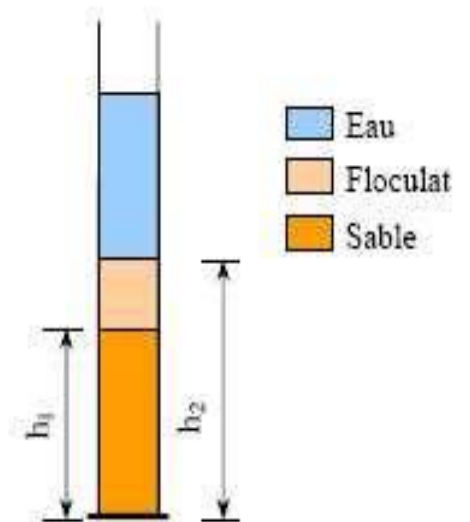
2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.2. Equivalent sable :

- Principe de l'essai :

Un échantillon de sable (tamisé à 2 mm) est agité dans une solution, puis laissé au repos. On mesure la hauteur du sable décanté et la hauteur totale du mélange (sable + fines).

- L'essai se fait sur deux échantillons et l'équivalent de sable est la moyenne des deux résultats ;
- La valeur de l'équivalent de sable chute très rapidement dès qu'il y a un faible pourcentage de limon ou d'argile dans le sol pulvérulent.



$$ES = (H1 / H2) \cdot 100$$

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.2. Equivalent sable :

• Résultats et interprétations :

Équivalent de sable (ES)	Interprétations	Utilisation dans le domaine routier
ES > 70%	Matériau de très bonne qualité, très propre, faible proportion de fines argileuses.	Utilisé pour les couches de fondation, de base et de surface. Bonne compaction et stabilité garanties.
50% < ES < 70%	Matériau propre avec une proportion modérée de fines argileuses.	Acceptable pour les couches de base et de fondation. Offre une portance et une compaction satisfaisantes.
30% < ES < 50%	Matériau avec une quantité significative de fines argileuses, limite en qualité.	Utilisable pour les couches de fondation avec précautions, nécessite un contrôle ou un traitement.
ES < 30%	Matériau inadéquat, trop de fines argileuses, faible stabilité.	Inadapté pour la construction routière sans traitement, peut provoquer des problèmes de déformation.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

- But de l'essai :

L'essai vise à mesurer la teneur en eau d'un matériau, exprimée en pourcentage par rapport à sa masse sèche. Cela permet d'évaluer l'humidité du sol ou des matériaux utilisés dans la construction des routes, un facteur important pour leur stabilité et leur compaction.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

- Domaine d'application :

Cet essai est appliqué dans les études de conception et de construction des routes, notamment lors de la préparation du sol pour les couches de fondation, de base, ou de surface. Il est également utilisé pour le contrôle de la qualité des matériaux avant leur mise en œuvre et lors de la vérification de la conformité des travaux.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

• Résultats et interprétations :

$$w = \frac{m_h - m_s}{m_s} \cdot 100$$

w : Teneur en eau (%) ;

m_h : Masse humide de l'échantillon ;

m_s: Masse sèche de l'échantillon après séchage.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

• Résultats et interprétations :

Teneur en eau (%)	Interprétation pour sol graveleux
0 - 4%	Sol trop sec, difficile à compacter, tendance à se désagréger.
4 - 8%	Teneur en eau idéale pour une bonne compaction.
8 - 12%	Sol un peu trop humide, compactable mais risque d'affaissement si chargé.
> 12%	Sol trop humide, diminution significative de la capacité portante, nécessite drainage.

<https://www.youtube.com/watch?v=hzUHbRiy1DE>

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

• Résultats et interprétations :

Interprétation de la teneur en eau varie selon la nature du sol. Chaque type de sol a une plage optimale de teneur en eau pour la compaction et la stabilité des couches routières.

Teneur en eau (%)	Interprétation pour sol sableux
0 - 5%	Sol très sec, peu de cohésion, difficile à compacter.
5 - 10%	Teneur en eau optimale pour la compaction du sable, bon taux de compactage.
> 10%	Sol trop humide, peut entraîner un affaissement lors du compactage.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

• Résultats et interprétations :

Teneur en eau (%)	Interprétation pour sol limoneux
0 - 8%	Sol trop sec, faible cohésion, difficile à compacter.
8 - 18%	Teneur en eau adéquate pour la compaction, bon taux de compactage.
18 - 25%	Sol humide, compaction plus difficile, risque de déformation sous charge.
> 25%	Sol trop humide, faible portance, nécessite un séchage ou drainage.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.3. Teneur en eau :

• Résultats et interprétations :

Teneur en eau (%)	Interprétation pour sol argileux
0 - 15%	Sol très sec, peut être fissuré ou dur, difficile à manipuler ou à compacter.
15 - 25%	Teneur en eau adéquate pour la compaction, bonne densité possible.
25 - 35%	Sol humide, réduction de la capacité portante, pourrait nécessiter un séchage.
> 35%	Sol saturé, problèmes de stabilité, nécessite des mesures correctives comme un drainage.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

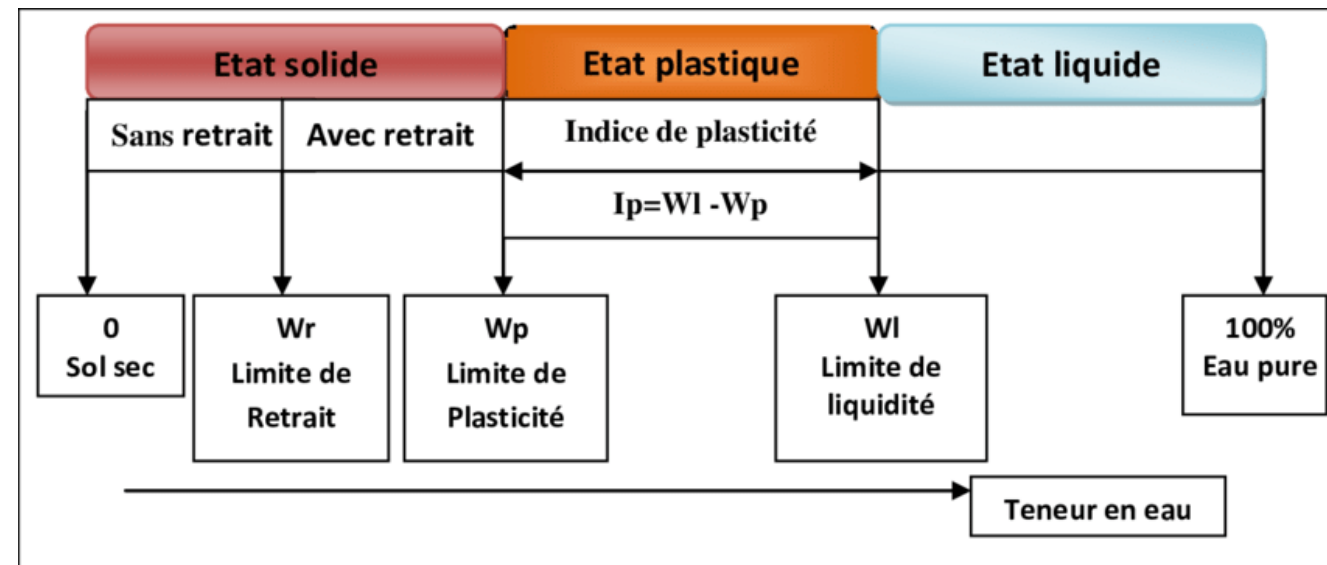
2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

- But de l'essai :

Caractériser l'argilosité d'un sol, et donc déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états sont les « Limites d'Atterberg » :

- Limite de Liquidité : WL (frontière entre état plastique et liquide) ;
- Limite de Plasticité : WP (frontière entre état solide et plastique).



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

- Domaine d'application :

- Cet essai s'applique généralement sur les sols comportant un pourcentage de fines (80 μ m) supérieur à 35%.
- La détermination de l'argilosité d'un sol par les limites d'Atterberg que par l'essai VBS (Valeur de Bleu du sol) est à privilégier dès que le sol est argileux à très argileux.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

• Résultats et interprétations :

Les limites d'Atterberg permettent de calculer l'indice de consistance qui caractérise l'état hydrique d'un sol (80 à 90 % d'éléments < 400µm) :

$$I_P = W_L - W_P$$

$$I_c = (W_L - W_N) / I_P$$

avec W_N : teneur en eau naturelle de la fraction 0/400µm

$I_c = 0$ si matériau à l'état liquide ;

$I_c = 1$ si matériau à l'état solide.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

• Résultats et interprétations :

Classification des sols selon l'indice de plasticité IP :

Indice de plasticité	Type du sol
$IP < 1$	Sol pulvérulents
$1 \leq IP \leq 7$	Sable argileux
$7 \leq IP \leq 17$	Argile sablonneuse
$17 \leq IP$	Argile

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

• Résultats et interprétations :

Valeurs typiques de IP	Interprétation dans le contexte routier
IP < 10 : Faible plasticité	Sol peu plastique, faible sensibilité à l'eau, bon comportement mécanique pour les couches routières.
10 < IP < 20 : Plasticité moyenne	Sol modérément plastique, peut être utilisé avec des précautions dans les couches de fondation avec drainage.
IP > 20 : Forte plasticité	Sol très plastique, haut risque de déformation sous charge et d'expansion à l'humidité. Nécessite un traitement avant utilisation.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

• Résultats et interprétations :

État de consistance du sol en fonction de I_c :

Valeur de I_c	État du sol	Interprétation dans le contexte routier
$I_c < 0$	Sol liquide	Sol trop humide, très instable, inadéquat pour les couches routières. Nécessite un drainage ou un séchage.
$0 < I_c < 0.25$	Sol plastique très mou	Sol faible et compressible, instable sous charge. Inadapté pour les couches de fondation sans traitement.
$0.25 < I_c < 0.5$	Sol plastique mou	Sol moyennement stable, pourrait être utilisé dans les couches de remblai avec des précautions.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.4. Limites d'Atterberg :

• Résultats et interprétations :

État de consistance du sol en fonction de I_c :

Valeur de I_c	État du sol	Interprétation dans le contexte routier
$0.5 < I_c < 0.75$	Sol plastique ferme	Sol stable avec une bonne portance. Adapté pour les couches de fondation sous des conditions contrôlées.
$0.75 < I_c < 1$	Sol plastique rigide	Sol bien compacté, adapté pour les couches de base et de fondation des routes. Bonne résistance sous charge.
$I_c > 1$	Sol solide, rigide	Sol très compact, excellent pour les couches de fondation. Stabilité élevée, faible déformation sous charge.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.5. Essai de la valeur au bleu du sol (VBS):

- But de l'essai :

La valeur au bleu du sol (VBS) permet de quantifier la proportion de fines argileuses dans un sol ou un granulat. L'objectif est de s'assurer que le matériau est adéquat pour être utilisé dans les couches de fondation ou de base d'une chaussée, en évaluant l'impact des fines sur la compaction et la stabilité.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.5. Essai de la valeur au bleu du sol (VBS):

- Domaine d'application :

Cet essai est utilisé pour contrôler la qualité des sols et granulats utilisés en construction routière, principalement dans les couches de fondation, de base, et les remblais. Il aide à évaluer si la teneur en fines argileuses est acceptable selon les normes routières.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.5. Essai de la valeur au bleu du sol (VBS):

• Résultats et interprétations :

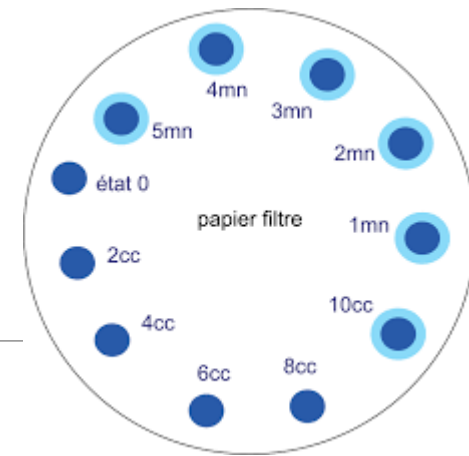
Les résultats sont exprimés en grammes de bleu de méthylène par 100 grammes de sol.

- ✓ VBS faible (< 0.5 g/100g) : Matériau de bonne qualité, adapté aux couches routières ;
- ✓ VBS modéré ($0.5 - 1.5$ g/100g) : Matériau acceptable, mais attention à la compaction ;
- ✓ VBS élevé (> 1.5 g/100g) : Matériau inapproprié, risque de mauvaise portance et de déformation sous charge.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :



2.1. Essais au laboratoire : Essai d'identification

2.1.5. Essai de la valeur au bleu du sol (VBS):

• Résultats et interprétations :

Si la VBS est élevée, il peut être utile de réaliser l'**essai au bleu de méthylène** pour mieux comprendre la nature et l'activité des argiles présentes dans le sol. Cet essai permet d'évaluer la capacité d'adsorption des argiles (gonflement), notamment leur activité chimique et leur impact potentiel sur la stabilité du sol à long terme.

Refuser le sol : Dans ce cas, il est possible de refuser le sol ou le matériau, surtout si les solutions de traitement (comme la stabilisation à la chaux ou au ciment) ne sont pas envisageables ou économiquement viables.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

Les essais de résistance permettent d'évaluer la capacité des matériaux à supporter les charges et les déformations, garantissant ainsi la durabilité et la stabilité des structures routières face aux contraintes mécaniques et aux conditions environnementales.

- 1 • Essai de la boîte de cisaillement
- 2 • Essai Triaxial
- 3 • Essai œdométrique
- 4 • Essai CBR
- 5 • Essai Proctor
- 6 • Essai Los Angeles
- 7 • Essai Micro-Deval

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

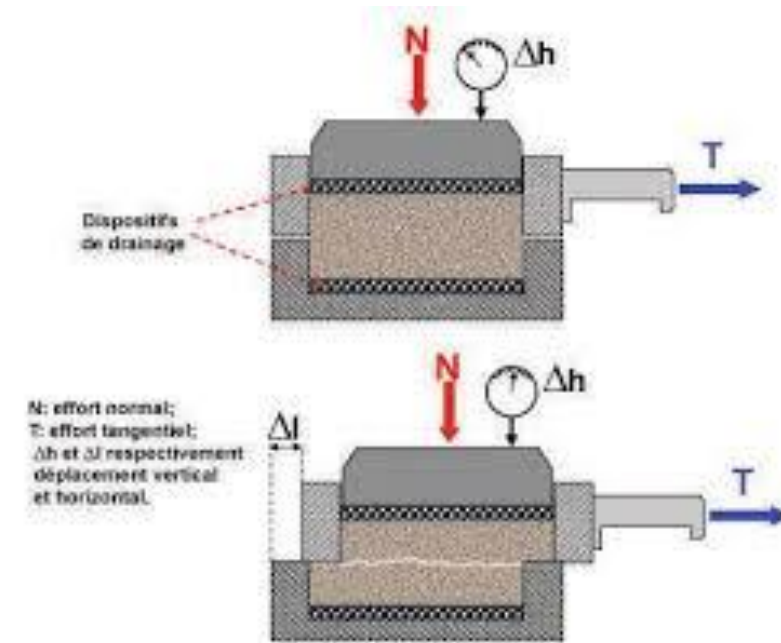
2.2.1. Boîte de cisaillement :

- But de l'essai :

Cet essai vise à évaluer la capacité d'un sol à résister aux forces de cisaillement, une donnée cruciale pour la conception et la stabilité des structures routières, notamment pour les fondations et les talus.

- Principe de l'essai :

Le sol est placé dans une boîte divisée en deux parties. Une charge normale est appliquée à la surface du sol, et une force horizontale est progressivement exercée pour cisainer l'échantillon. L'objectif est de mesurer la résistance maximale au cisaillement avant la rupture.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

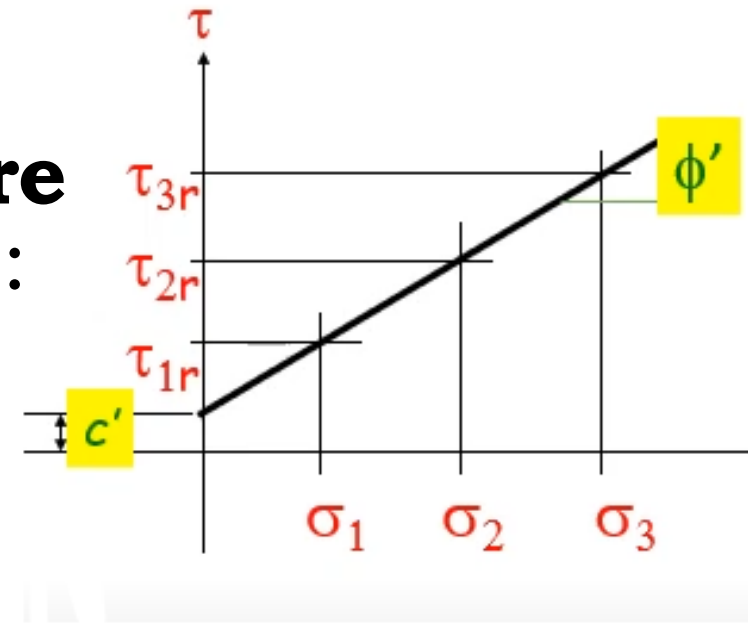
2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.1. Boîte de cisaillement :

• Résultats et interprétations :

Paramètres de frottement et cohésion : L'essai permet de déterminer deux paramètres fondamentaux : l'angle de frottement interne et la cohésion interne du sol.

Ces paramètres sont utilisés dans les calculs de dimensionnement du corps de la chaussée et dans la modélisation du comportement du sol sous différentes charges. En effet, la résistance au cisaillement est un paramètre essentiel pour évaluer la stabilité des talus sous les contraintes dues aux charges routières et aux conditions environnementales. Ce test permet également de déterminer les actions des pressions interstitielles (eau dans les pores du sol) et leur impact sur la stabilité des structures en sol.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.2. Essai triaxial:

- But de l'essai :

Cet essai a pour objectif de mesurer la résistance au cisaillement des sols sous des conditions de contraintes tridimensionnelles, en prenant en compte les pressions interstitielles et les conditions drainées ou non drainées. Ces conditions permettent de simuler les situations réelles que le sol peut rencontrer, notamment sous des charges variables et en fonction de son degré de saturation. Les résultats sont essentiels pour dimensionner précisément les structures routières et garantir la stabilité des talus et des fondations.

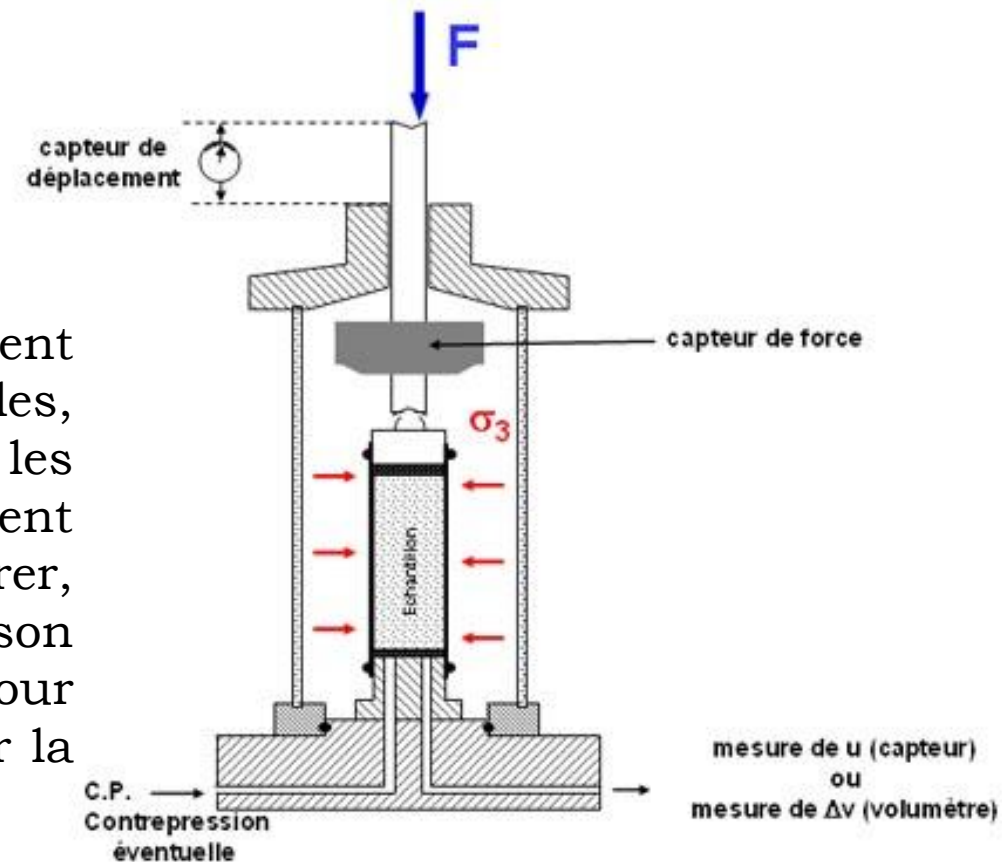


Figure 9.5 : Principe de l'appareil triaxial de révolution

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.2. Essai triaxial:

- Principe de l'essai :

Un échantillon de sol cylindrique est placé dans une cellule triaxiale, où il est soumis à une pression confinement (sur toutes ses faces) et une contrainte axiale. La pression d'eau interstitielle peut également être contrôlée pour simuler des conditions de saturation. La charge axiale est ensuite augmentée progressivement jusqu'à la rupture de l'échantillon.

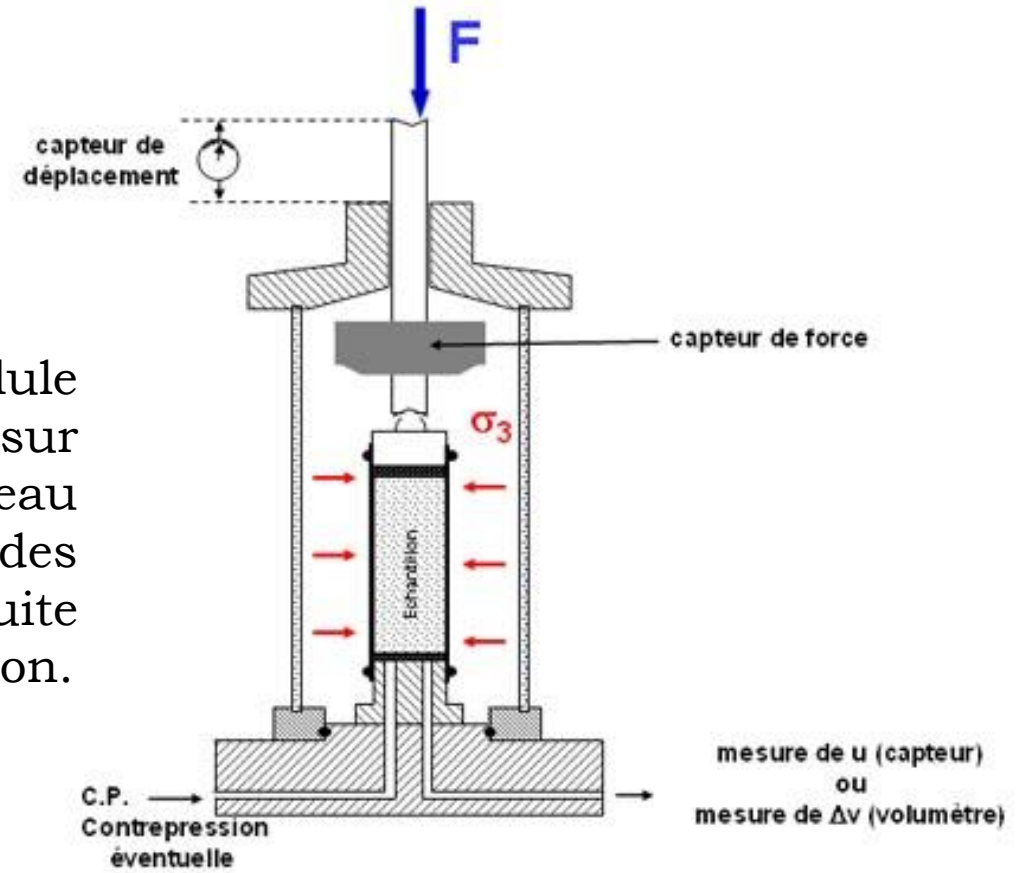


Figure 9.5 : Principe de l'appareil triaxial de révolution

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.2. Essai triaxial:

- Résultats et interprétations :

L'essai triaxial permet de déterminer la résistance au cisaillement, la cohésion et l'angle de frottement interne du sol, des paramètres essentiels pour le dimensionnement des fondations routières et la stabilité des talus. Il aide également à évaluer les coefficients de sécurité face aux risques de rupture, en tenant compte des pressions interstitielles dans les sols saturés. L'essai fournit des informations précieuses sur la déformation des sols sous contraintes, permettant ainsi d'anticiper les tassements et de prévenir les risques de glissement.

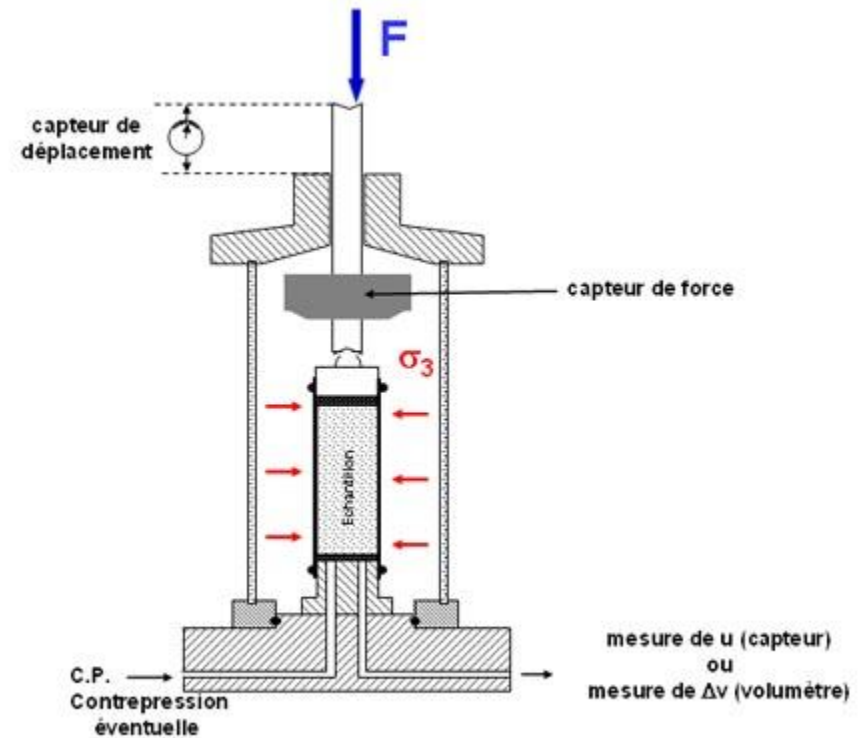


Figure 9.5 : Principe de l'appareil triaxial de révolution

II. Rappel sur la géotechnique routière

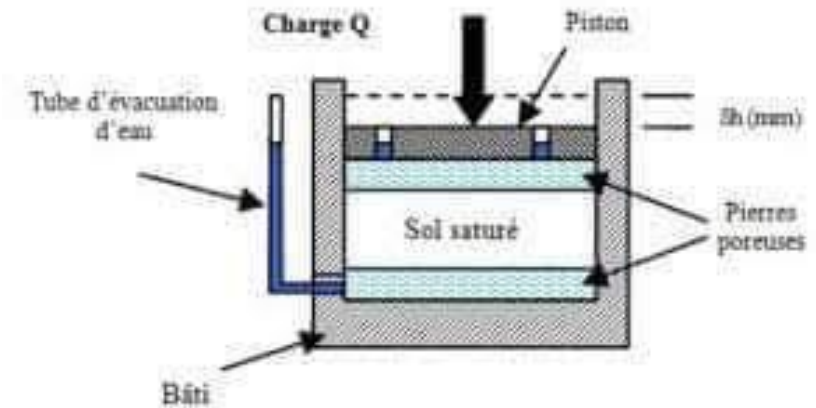
2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.3. Essai œdométrique :

- But de l'essai :

L'essai œdométrique a pour objectif de déterminer la compressibilité et le tassement des sols sous des charges verticales. Cet essai est utilisé principalement pour les sols argileux afin d'évaluer la déformation en fonction du temps sous l'effet d'une surcharge, essentielle dans le dimensionnement des fondations routières.



II. Rappel sur la géotechnique routière

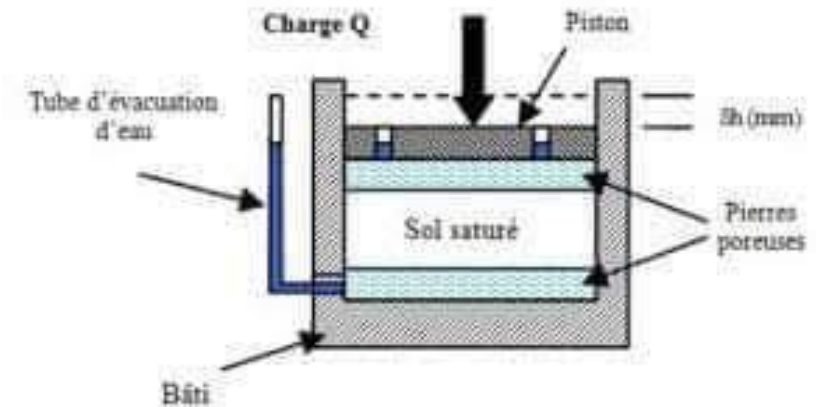
2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.3. Essai œdométrique :

- Principe de l'essai :

Un échantillon de sol cylindrique est placé dans un œdomètre et soumis à des charges verticales croissantes. Les déformations verticales (tassements) sont mesurées en fonction du temps. L'essai est réalisé en conditions drainées, permettant l'évacuation de l'eau interstitielle du sol, ce qui simule le comportement du sol sous des charges réelles.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

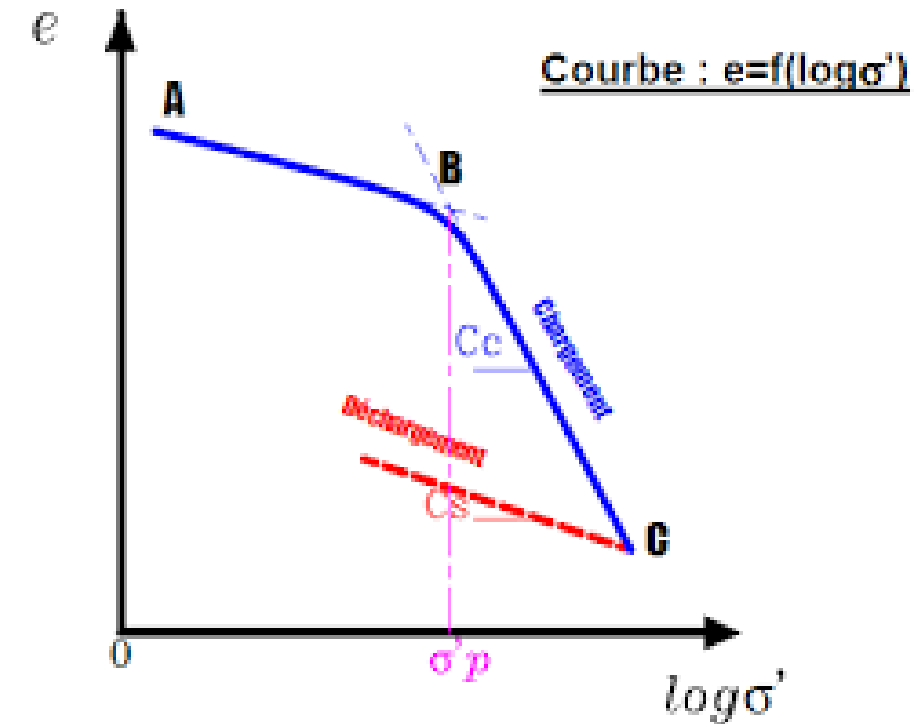
2.2.3. Essai œdométrique :

• Résultats et interprétations :

La formule de calcul de **Cc** est la suivante :

$$• C_c = \frac{e_2 - e_1}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1}$$

- **e₁** et **e₂** : Indices des vides correspondants aux contraintes **σ₁** et **σ₂**, prises dans la partie linéaire de la courbe de consolidation.
- **σ₁** et **σ₂** : Contraintes effectives (souvent mesurées en kPa) entre lesquelles le calcul est effectué.



II. Rappel sur la géotechnique routière

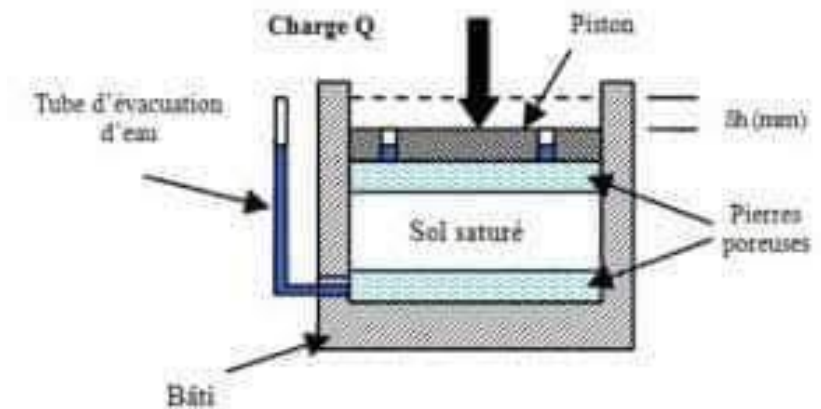
2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.3. Essai œdométrique :

• Résultats et interprétations :

Dans le contexte routier, un C_c (indice de compression) élevé indique un sol très compressible, nécessitant une attention particulière pour éviter des tassements importants sous les fondations routières. Les résultats sont utilisés pour dimensionner correctement les fondations et prédire les tassements à long terme, assurant ainsi la stabilité et la durabilité de la chaussée.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.4. Essai CBR:

- But de l'essai :

L'essai CBR mesure la capacité portante des sols et matériaux routiers pour évaluer leur aptitude à être utilisés dans les couches de fondation et de base des routes. Il permet de dimensionner les structures de chaussée en fonction de la résistance des sols.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.4. Essai CBR:

- Principe de l'essai :

Un piston standard est enfoncé dans un échantillon de sol ou matériau à une vitesse contrôlée, et la force nécessaire est comparée à celle requise pour un matériau de référence (gravier ou roche concassée). Le rapport entre ces forces donne le pourcentage CBR, indiquant la résistance du matériau testé.

Cet essai permet de :

- Établir une classification des sols (GTR) ;
- Évaluer la traficabilité des engins de terrassement ;
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente → épaisseur diminue).



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.4. Essai CBR:

• Résultats et interprétations :

- **CBR > 80%** : Le matériau testé a une très bonne capacité portante, et il peut être utilisé dans les couches supérieures d'une chaussée (par exemple, une couche de base).
- **CBR entre 20% et 80%** : Le matériau est considéré de qualité modérée et est souvent utilisé dans les couches inférieures ou les sous-couches.
- **CBR < 20%** : Le sol ou le matériau a une faible capacité portante et ne convient pas à être utilisé dans les couches de fondation ou de base sans traitement.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.5. Essai PROCTOR :

- Principe de l'essai :

- Le sol est d'abord séché, puis mélangé avec différentes quantités d'eau pour obtenir des teneurs en eau variées.
- L'échantillon de sol est compacté dans un moule cylindrique en plusieurs couches (généralement 3 à 5 couches).
- Chaque couche est compactée en appliquant un nombre fixe de coups avec un marteau standardisé, tombant d'une hauteur fixe.
- Après compactage, le poids et le volume de l'échantillon compacté sont mesurés pour calculer la **densité humide**.
- La **densité sèche** est calculée en tenant compte de la teneur en eau du sol. La formule de la densité sèche est : $\rho_{\text{sec}} = \frac{\rho_{\text{humide}}}{1 + \omega}$
- L'essai est répété avec des teneurs en eau différentes, puis les résultats sont tracés sur un graphique représentant la densité sèche en fonction de la teneur en eau. Cela produit une courbe en cloche.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

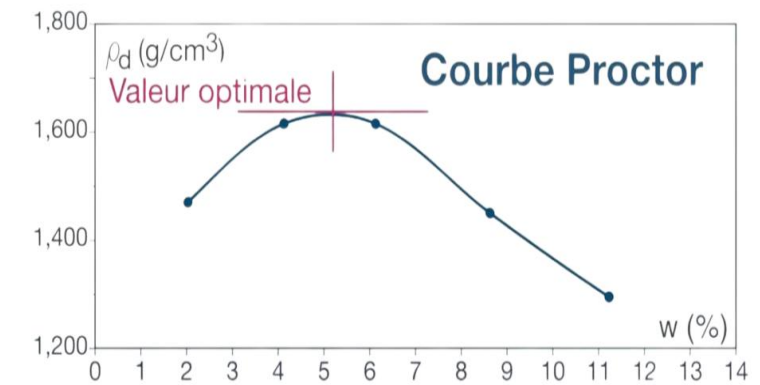
2.2.5. Essai PROCTOR :

•Résultats et interprétations :

Densité sèche élevée : Un sol avec une densité sèche maximale élevée est souvent plus résistant et stable, ce qui est favorable pour les fondations et les couches de chaussée.

Teneur en eau optimale : Sur le chantier, il est essentiel d'ajuster la teneur en eau à cette valeur pour garantir un compactage efficace. Si le sol est trop sec ou trop humide, il ne pourra pas atteindre sa densité maximale.

Impact du compactage sur la portance : Un compactage à la densité sèche maximale réduit les risques de tassement sous les charges des véhicules ou des bâtiments.



II. Rappel sur la géotechnique routière

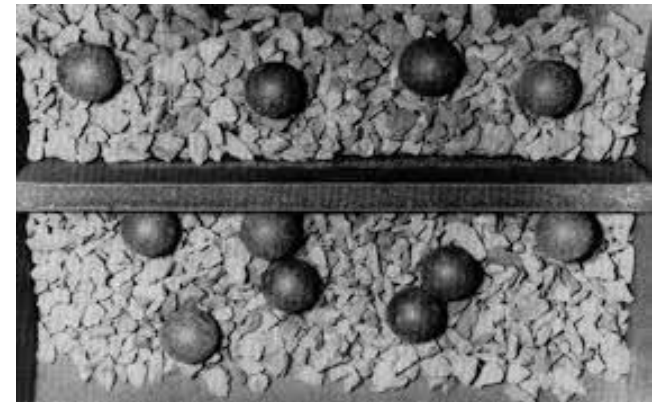
2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.6. Essai Los Angeles :

- But de l'essai :

L'essai Los Angeles a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation des granulats sous l'effet des chocs et des frottements, simulant les conditions auxquelles ils sont soumis sous la charge des véhicules sur une route.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.6. Essai Los Angeles :

- Principe de l'essai :

- Un échantillon de granulats, pesant entre 5 et 10 kg, est placé dans un tambour cylindrique avec un certain nombre de boulets en acier.
- Le tambour est ensuite tourné à une vitesse standardisée (environ 30 à 33 tours par minute) pendant 500 ou 1 000 tours selon le type de granulat.
- Les boulets en acier provoquent des impacts et des frottements sur les granulats, les fragmentant progressivement.
- Après l'essai, les granulats sont tamisés pour séparer les fines générées par la fragmentation.
- Le pourcentage de granulats qui passent au travers d'un tamis de 1,6 mm après l'essai est appelé le coefficient Los Angeles (LA).

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.6. Essai Los Angeles :

• Résultats et interprétations :

Le coefficient Los Angeles (LA) est exprimé en pourcentage de perte de masse des granulats sous l'effet de la fragmentation. Il est calculé selon la formule suivante :

$$LA(\%) = \frac{\text{Masse des fines } (< 1,6 \text{ mm})}{\text{Masse totale initiale}} \times 100$$

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.6. Essai Los Angeles :

• Résultats et interprétations :

LA faible (10-20%) : Les granulats sont très résistants à la fragmentation, ce qui les rend adaptés aux couches de roulement et aux couches de base où la résistance aux chocs est essentielle.

LA élevé (30-50%) : Les granulats sont moins résistants et peuvent ne pas convenir aux couches soumises à de fortes contraintes mécaniques, mais peuvent être utilisés dans des couches de fondation ou dans des conditions de charge moins sévères.

LA très élevé (>50%) : Le risque de désintégration et de production de fines est élevé, ce qui peut compromettre la durabilité de la chaussée. Ces granulats ne sont pas adaptés pour supporter des charges répétées sans se détériorer.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.7. Essai Micro-Deval :

- But de l'essai :

L'essai Micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure par abrasion des granulats en présence d'eau, simulant les effets de l'abrasion sous des conditions humides, comme celles rencontrées dans les chaussées exposées à la pluie.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.7. Essai Micro-Deval :

- Principe de l'essai :

- Un échantillon de granulats d'environ 1,5 à 2 kg est placé dans un tambour rotatif avec des boulets en acier et de l'eau ;
- Le tambour tourne à une vitesse fixe (environ 100 tours par minute) pendant 12 000 tours ;
- Pendant l'essai, les granulats sont soumis à l'abrasion et à l'usure sous l'effet des boulets et de l'eau ;
- Après l'essai, les granulats sont tamisés, et la quantité de particules fines (qui passent à travers un tamis de 1,6 mm) est mesurée pour déterminer la dégradation subie.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.7. Essai Micro-Deval :

•Résultats et interprétations :

Le coefficient Micro-Deval (MD) est exprimé en pourcentage de perte de masse des granulats suite à l'abrasion. Il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{MD}(\%) = \frac{\text{Masse des fines } (<1,6 \text{ mm})}{\text{Masse totale initiale}} \times 100$$

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.7. Essai Micro-Deval :

• Résultats et interprétations :

MD faible ($< 10\%$) : Les granulats sont très résistants à l'usure par abrasion en présence d'eau, ce qui est idéal pour les couches de roulement dans les environnements humides ou les zones de forte circulation.

MD élevé ($> 20\%$) : Les granulats sont moins résistants à l'usure et peuvent ne pas convenir aux couches exposées à de fortes contraintes ou à l'eau. Ils sont plus adaptés aux couches inférieures ou aux routes peu sollicitées.

MD moyen ($10\% < MD < 20\%$) : Les granulats offrent une résistance moyenne à l'usure. Ils peuvent être utilisés dans des couches non critiques dans les routes à fort trafic (couches de base ou sous-base) mais doivent être évités dans les couches de roulement soumises à des contraintes sévères.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.2. Essais au laboratoire : Essai de résistance

2.2.8. Comparaison entre l'essai Los Angeles et l'essai Micro-Deval :

Essai Los Angeles : Évalue la résistance à la **fragmentation des granulats** sous les chocs. Un faible coefficient LA indique des granulats résistants aux impacts.

Essai Micro-Deval : Mesure la résistance à l'**usure des granulats** en présence d'eau. Un faible coefficient MD indique des granulats résistants à l'abrasion sous des conditions humides.

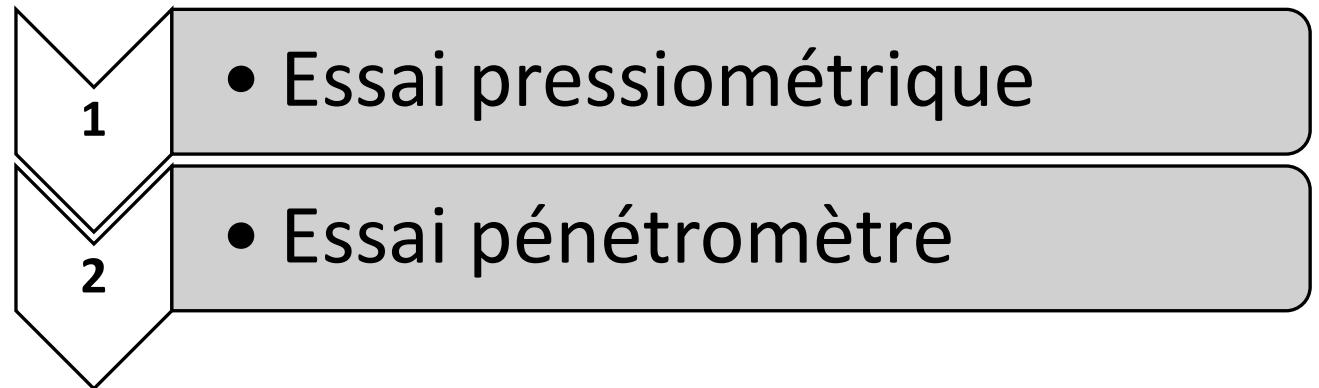
Ces deux essais sont complémentaires pour déterminer la durabilité et la performance des granulats utilisés dans les infrastructures routières

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

Les essais in situ permettent de mesurer directement sur le terrain les caractéristiques mécaniques et physiques des sols et des matériaux dans des conditions réelles respectent les normes de conception.



II. Rappel sur la géotechnique routière

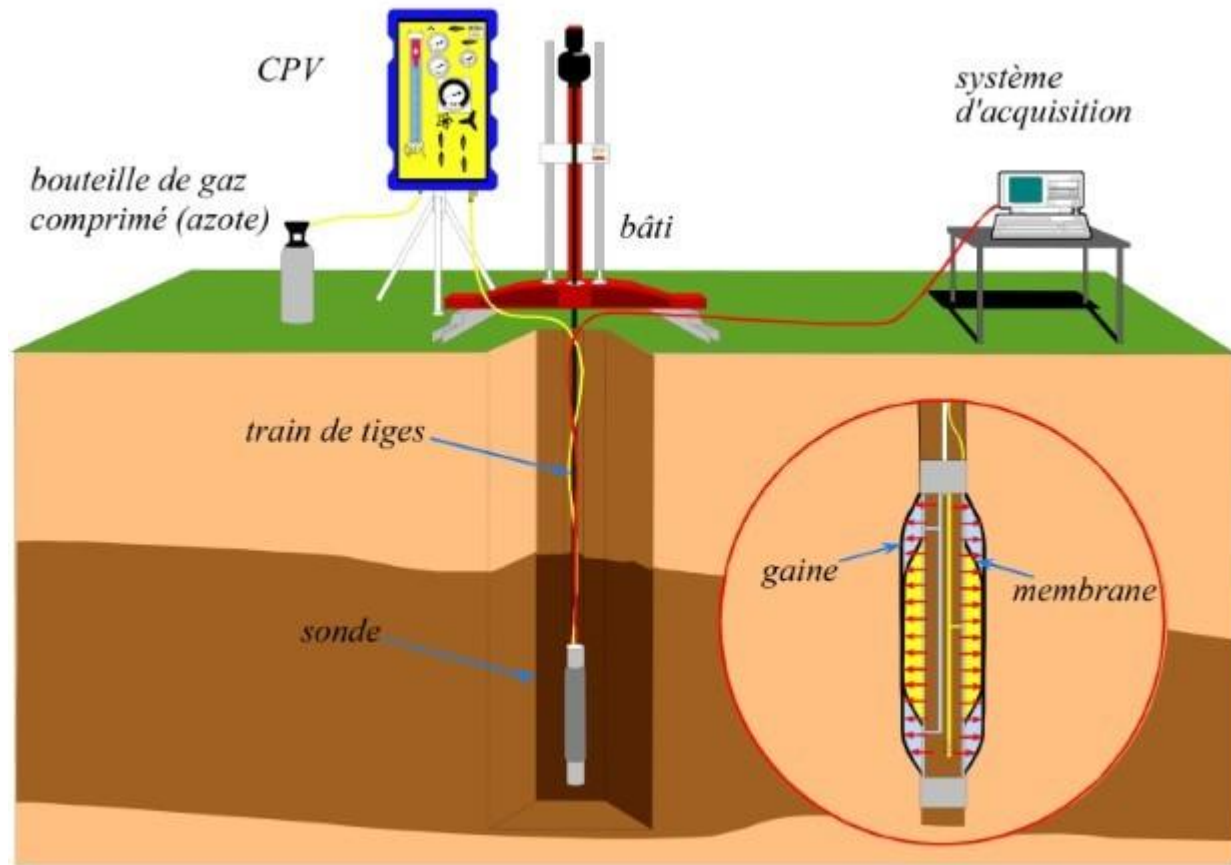
2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.1. Essai pressiométrique :

- But de l'essai :

L'essai pressiométrique a pour objectif de mesurer les caractéristiques mécaniques des sols en place, notamment leur déformabilité et leur résistance. Il est utilisé dans le contexte routier pour évaluer la capacité portante des sols et leur comportement sous charge.



L'essai pressiométrique Ménard (dessin P. Reiffsteck, v. 2004)

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.1. Essai pressiométrique :

- Principe de l'essai :

- Un pressiomètre est un dispositif composé d'une sonde cylindrique gonflable insérée dans un forage réalisé dans le sol ;
- La sonde est ensuite gonflée progressivement, ce qui applique une pression sur les parois du forage, et la déformation du sol est mesurée en fonction de cette pression ;
- L'essai permet d'enregistrer la relation entre la pression appliquée et le volume de la cavité qui se déforme sous cette pression ;
- Deux phases sont distinguées : une phase élastique (réversible) et une phase plastique (permanente).

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

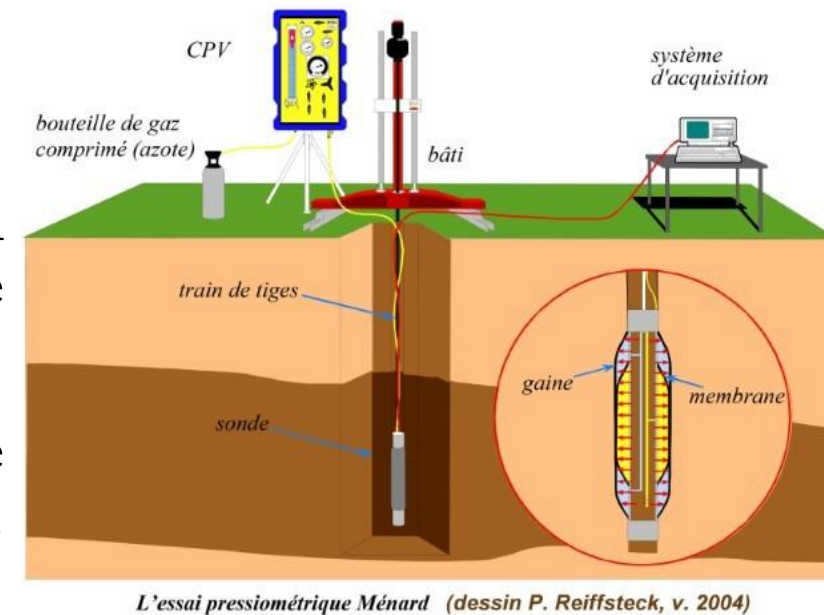
2.3. Essai insitu :

2.3.1. Essai pressiométrique :

• Résultats et interprétations :

L'essai pressiométrique fournit deux paramètres principaux :

1. Pression limite (P_l) : C'est la pression à laquelle le sol atteint une déformation plastique, indiquant la résistance ultime du sol.
2. Module pressiométrique (E_m) : C'est le module de déformation du sol, calculé à partir de la phase élastique, qui indique la déformabilité du sol sous charge.



L'essai pressiométrique Ménard (dessin P. Reiffsteck, v. 2004)

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.1. Essai pressiométrique :

•Résultats et interprétations :

1) Pression limite (P_l) :

- Un **P_l élevé** signifie que le sol a une haute résistance et peut supporter des charges importantes, ce qui est favorable pour les fondations et les couches de chaussée.
- Un **P_l faible** indique une faible résistance, suggérant que le sol pourrait nécessiter un renforcement ou un traitement avant la construction.

2) Module pressiométrique (E_m) :

- Un **E_m élevé** reflète un sol peu compressible et rigide, idéal pour minimiser les tassements sous les charges de trafic routier.
- Un **E_m faible** signifie que le sol est plus compressible et pourrait entraîner des tassements importants, nécessitant des mesures correctives comme le compactage ou l'utilisation de matériaux de renforcement.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.2. Essai pénétromètre :

- But de l'essai :

L'essai au pénétromètre a pour objectif de déterminer la résistance du sol à la pénétration d'une tige ou d'un cône. Cet essai est couramment utilisé pour estimer la capacité portante des sols, leur compacité et leur consistance à différentes profondeurs, dans le but de dimensionner les fondations et les structures de chaussée.



II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.2. Essai pénétromètre :

- Principe de l'essai :

- Le principe de l'essai consiste à enfoncer une pointe conique (ou un autre type de sonde) dans le sol à une vitesse constante et à mesurer la résistance à la pénétration.
- Il existe deux principaux types d'essais de pénétration :
 - Pénétromètre dynamique : La pénétration est obtenue par des coups répétés d'un marteau tombant d'une hauteur déterminée.
 - Pénétromètre statique : La pénétration est effectuée de façon continue avec une vitesse constante, et la résistance à la pénétration est mesurée en fonction de la profondeur.
- L'essai mesure la résistance à la pénétration en kN/m^2 ou en nombre de coups nécessaires pour atteindre une certaine profondeur.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.2. Essai pénétromètre :

•Résultats et interprétations :

- Résistance à la pénétration** : La force ou le nombre de coups nécessaires pour enfoncer la sonde à une certaine profondeur est enregistré. Plus cette résistance est élevée, plus le sol est dense ou cohérent.
- Profil de sol** : L'essai permet de tracer un **profil de résistance du sol** en fonction de la profondeur.

II. Rappel sur la géotechnique routière

2. Les essais géotechniques routières :

2.3. Essai insitu :

2.3.2. Essai pénétromètre :

•Résultats et interprétations :

- Résistance élevée** : Une résistance à la pénétration élevée indique un sol dense et bien compacté, capable de supporter des charges importantes, comme les fondations de routes ou de bâtiments.
- Résistance faible** : Une faible résistance indique un sol meuble ou de faible consistance, ce qui pourrait nécessiter un compactage ou un renforcement avant la construction.
- Cet essai est également utile pour identifier les couches de sol plus faibles ou les zones nécessitant un traitement avant construction.

Type de sol	Classe de sol	Sous-catégorie	Pression limite (P_LM) (MPa)	Résistance à la pénétration (q_c) (MPa)	Interprétation / Type de sol
Argiles, Limons	A	Argiles et limons mous	< 0,7	< 2	Sol très compressible, faible résistance
	B	Argiles et limons fermes	1,2 - 2,5	4 - 10	Sol peu compressible, résistance moyenne
	C	Argiles très fermes et dures	2,5 - 5,0	10 - 20	Sol compact, bonne résistance
Sables, Graves	A	Sables, graves lâches	< 1,0	< 5	Sol lâche, faible résistance
	B	Sables, graves moyennement compacts	1,0 - 2,0	8 - 15	Sol moyennement compact, bonne capacité portante
	C	Sables, graves compacts	2,0 - 5,0	15 - 30	Sol compact, haute capacité portante
Craies	A	Craies molles	< 0,5	< 2	Faible résistance, facilement déformable
	B	Craies altérées	1,0 - 2,5	5 - 6	Craies altérées, résistance modérée
	C	Craies compactes	3,0 - 5,0	6 - 8	Craies compactes, bonne résistance
Marnes	A	Marnes tendres	< 1,5	-	Marnes faiblement résistantes
	B	Marnes compactes	3,0 - 4,0	-	Marnes plus résistantes
Roches fragmentées	C	Roches fragmentées	> 5,0	> 50	Sol très résistant, bonne résistance mécanique

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

1. Terminologie :

Sols : Il s'agit de matériaux naturels, constitués de grains pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ces grains peuvent être de dimensions très variables, allant des argiles aux blocs.

Les sols sont de nature géologique diverse
alluvions, colluvions, matériaux meubles
sédimentaires,... ;

Ils correspondent aux classes **A, B, C et D** définies ci après. **Leur pourcentage de matières organiques est inférieur ou égal à 3 %.**



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

1. Terminologie :

Matériaux rocheux : Il s'agit des matériaux naturels comportant une structure qui ne peut être désagrégée par simple trituration ou sous l'action d'un courant d'eau ; leur utilisation implique une désagrégation mécanique préalable par minage ou emploi d'engin d'extraction de forte puissance.

Les matériaux rocheux correspondent à la classe **R** définie ci-après ; ils ont pour origine l'ensemble des roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques.



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

1. Terminologie :

Sols organiques: Il s'agit de sols ayant un pourcentage de matières organiques supérieur à 3 %.



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

1. Terminologie :

Sous-produits industriels : Il s'agit de matériaux, produits de l'activité humaine, d'origines diverses pouvant être utilisés en remblais et en couches de forme.

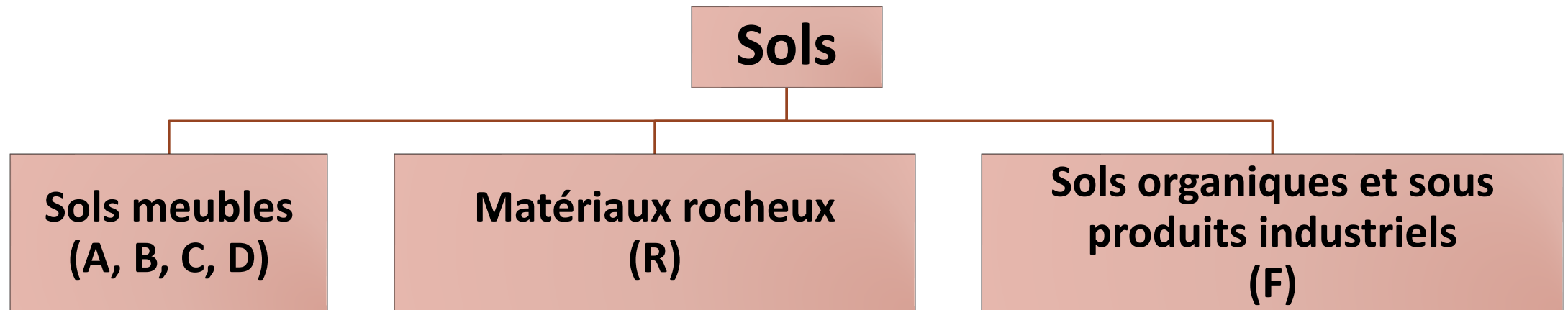
Les sols organiques, les sous-produits industriels correspondent à la classe **F** définie ci-après.



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

1. Terminologie :



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

- 1) Paramètres de nature ;
- 2) Paramètres de comportement mécanique ;
- 3) Paramètres d'état ;
- 4) Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

Ce sont des paramètres intrinsèques ; ils ne varient pas, ou peu, ni dans le temps ni au cours des différentes manipulations que subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

Les paramètres de nature considérés dans la classification des sols sont la granularité (D_{max} , Pourcentage de fines ou tamisat à $80\text{ }\mu\text{m}$ et tamisat à 2 mm) et l'argilosité (Indice de plasticité et Valeur au bleu de méthylène du sol).

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

a. La granularité :

Le Dmax : Dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol
Seuil retenu : 50 mm.

Cette valeur permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux (classe A, B et D) (≤ 50 mm), des sols grossiers comportant des éléments blocailles (Classe C) (> 50 mm).

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

a. La granularité :

Pour les sols de la classe C (sols comportant des fines et des gros éléments), deux sous-classes sont distinguées selon l'importance de la fraction 0/50 mm :

La sous-classe C1 : qui rassemble les matériaux à éléments « anguleux » possédant une importante fraction 0/50 mm (≥ 60 à 80 %) et l'ensemble des matériaux à éléments « roulés ».

La sous-classe C2 : qui comprend les matériaux à éléments anguleux possédant une faible fraction 0/50 mm (≤ 60 à 80 %).

Pour tenir compte des caractéristiques de la fraction 0/50 mm, l'identification des sols de la classe C est précisée à l'aide d'un double symbole du type C1Ai, C1Bi, C2Ai ou C2Bi, Ai ou Bi étant la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

a. La granularité :

Le tamisat à 80 μm (ou pourcentage de fines) :

Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux.

Seuils retenus :

- 35 % : au-delà de 35 % de tamisat à 80 μm , les sols ont un comportement assimilable à celui de leur fraction fine ;
- 12 % : c'est un seuil conventionnel permettant d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fines.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

a. La granularité :

Le tamisat à 2 mm :

Ce paramètre permet d'établir la distinction entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

Seuil retenu :

70 % : Ce seuil permet de distinguer les sols sableux (plus de 70 % de tamisat à 2 mm) des sols graveleux (moins de 70 % de tamisat à 2 mm).

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

b. L'argilosité : L'indice de Plasticité (IP)

Seuils retenus :

- 12 : limite supérieure des sols faiblement argileux ;
- 25 : limite supérieure des sols moyennement argileux ;
- 40 : limite entre les sols argileux et très argileux.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

b. L'argilosité : La Valeur de Bleu de Méthylène (VBS)

Seuils retenus :

0.1 : en dessous duquel sols insensibles à l'eau ;

0.2 : au-dessus duquel apparaît la sensibilité à l'eau ;

1.5 : seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux ;

2.5 : seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux moyennement plastiques ;

6 : seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux ;

8 : seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.2. Paramètres de comportement mécanique :

L'introduction dans la classification de ces paramètres résulte du fait que des sols de nature comparable peuvent se comporter de manière relativement différente sous l'action des sollicitations subies au cours de leur mise en œuvre ou sous la circulation des engins de transport.

Ces paramètres ne sont pris en compte que pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.2. Paramètres de comportement mécanique :

- Los Angeles (LA) ;
- Micro Deval en présence d'Eau (MDE) ;
- Friabilité des Sables (FS).

Seuils retenus :

- 45 pour les valeurs LA et MDE ;
- 60 pour les valeurs FS.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.3. Paramètres d'état :

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Pour les sols, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est l'état hydrique ; son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.3. Paramètres d'état :

L'état hydrique :

- h : état humide ;
- m : état d'humidité moyen ;
- s : état sec ;
- ts : état très sec.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.3. Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique :

- La position de w_n par rapport à W_{OPN} (la teneur en eau optimale déterminée lors de l'essai Proctor normal) : Exprimé par le rapport

$$\frac{w_n}{W_{OPN}}$$

- L'indice de consistance I_c :

$$I_c = \frac{(W_L - w_n)}{I_p}$$

- L'Indice Portant Immédiat IPI :

CBR immédiat sans surcharge ni immersion.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.3. Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique :

La sensibilité à l'eau d'un sol définit l'importance de la variation de la portance de ce sol en fonction de la variation de la teneur en eau. Pour une augmentation donnée de teneur en eau, plus la chute de portance est élevée, plus la sensibilité à l'eau du sol est importante.

Une faible augmentation de la teneur en eau peut engendrer une chute rapide de la portance d'un sol, c'est le cas en général avec les sols peu plastiques ($I_p < 12$) ; cette portance redevient rapidement meilleure si la teneur en eau diminue par évaporation par exemple. Les sols les plus plastiques, quant à eux, mettent plus de temps pour changer de portance.

La notion de sensibilité à l'eau est appréhendée sous deux aspects le premier lié à l'exécution des terrassements et le second à la tenue à long terme une fois l'ouvrage mis en service.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Classe	Type de sol	Sous-classe
La classe A $D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	les sols fins (silts, limons, argiles, etc...)	A1, A2, A3 et A4 Suivant l'importance de la plasticité
La classe B $D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} \leq 35\%$	les sols sableux ou graveleux avec fines	B1, B2 B3, B4, B5, et B6 Suivant l'importance et les caractéristiques des fines et l'importance de la fraction sableuse
La classe C $D_{\max} > 50 \text{ mm}$	Matériaux d'éboulis, TV grossiers...	C1 et C2 CiAi ou CiBi ou CiDi
La classe D $D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ et une VBS < 0.1	Sables et graves propres	D1 (Sables propres) D2 (Graves propres)

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Classe	Type de sol	Sous-classe
Les sols Tirseux	Sols fins caractérisés par un fort gonflement	TxA3 : pour les sols avec $IP \leq 40$ TxA4 : pour les sols avec $IP > 40$
Les sols Tuffacés	Sols calcifiés	Tf : si $50\% \leq Ca CO_3 \leq 70\%$ Tc : si $Ca CO_3 > 70\%$ Soit TfAi ou TfBi Soit TcAi ou TcBi

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe A : Les sols fins (silts, limons, argiles, etc...)

Elle contient les sols fins qui présentent un $D_{\max} \leq 50$ mm et un tamisat à $80 \mu\text{m} > 35 \%$. Elle contient quatre sous-classes A1, A2, A3 et A4 suivant l'importance de la plasticité :

- A1 : sous-classe des sols fins peu plastiques (limons silteux, limons peu plastiques) ;

Les sols avec $VBS \leq 2,5$ ou $IP \leq 12$

- A2 : sous-classe des sols fins moyennement plastiques (limons argileux) ;

Les sols avec $12 < IP \leq 25$ ou $2,5 < VBS \leq 6$

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe A : Les sols fins (silts, limons, argiles, etc...)

- A3 : sous-classe des sols fins plastiques (argiles marneuses, limons plastiques) ;

Les sols avec $25 < IP \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$

- A4 : sous-classe des sols fins très plastiques (argiles et marnes) ;

Les sols avec $IP > 40$ ou $VBS > 8$

NB :

Pour les sols A1, l'essai à privilégier est la VBS.

Pour les A2, A3 et A4, l'essai à privilégier est l'IP.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

Elle contient les sols sableux et graveleux avec fines avec un $D_{max} \leq 50$ mm et un tamisat à 80 μ m inférieur ou égal à 35 %. Elle se subdivise en 6 sous-classes B1, B2, B3, B4, B5, et B6 suivant l'importance et les caractéristiques des fines et l'importance de la fraction sableuse. Ces sous-classes se subdivisent en d'autres sous-classes en fonction de la dureté ou la friabilité. L'ensemble des sous-classes se présentent comme suit :

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B1 : Sous-classe des sables silteux

Tamisat à 2 mm > 70 %

Tamisat à 80 μ m $\leq$ 12 %

$0,1 \leq VBS \leq 0,2$

- Sous-classe : B11 si FS $\leq$ 60
- Sous-classe : B12 si FS > 60

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B2 : Sous-classe des sables peu argileux ;:

Tamisat à 2 mm > 70 %

Tamisat à 80 μ m $\leq$ 12 %

VBS > 0,2

- Sous-classe : B21 si FS $\leq$ 60
- Sous-classe : B22 si FS > 60

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B3 : Sous-classe des graves silteuses :

Tamisat à 2 mm $\leq$ 70 %

Tamisat à 80 μ m $\leq$ 12 %

$0,1 \leq \text{VBS} \leq 0,2$

- Sous-classe : B31 si $\text{LA} \leq 45$ et $\text{MDE} \leq 45$
- Sous-classe : B32 si $\text{LA} > 45$ ou $\text{MDE} > 45$

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B4 : Sous-classe des graves peu argileuses :

Tamisé à 2 mm $\leq$ 70 %

Tamisé à 80 μ m $\leq$ 12 %

VBS $>$ 0,2

- Sous-classe : B41 si LA $\leq$ 45 et MDE $\leq$ 45
- Sous-classe : B42 si LA $>$ 45 ou MDE $>$ 45

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B5 : Sous-classe des sables et graves silteux ou argileux peu plastiques :

Tamisat à 80 μm compris entre 12 % et 35 %

$$\text{VBS} \leq 1,5 \text{ (ou } \text{IP} \leq 12)$$

- Sous-classe : B51 si $\text{LA} \leq 45$ et $\text{MDE} \leq 45$
- Sous-classe : B52 si $\text{LA} > 45$ ou $\text{MDE} > 45$

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe B : Les sols sableux ou graveleux avec fines

- B6 : Sous-classe des sables et graves argileux plastiques :

Tamisat à 80 μm compris entre 12 % et 35 %

$\text{VBS} > 1,5$ (ou $\text{IP} > 12$)

NB : Pour les sols B5 et B6, l'essai à privilégier est la VBS.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe C : Matériaux d'éboulis, Tout-Venants bréchiques, Tout-Venants grossiers

Elle contient les sols comportant des fines et des gros éléments avec un $D_{max} > 50$ mm. Cette classe est subdivisée en deux grandes sous-classes C1 et C2.

- C1 : sous-classe contient :
 - les matériaux roulés
 - les matériaux anguleux peu charpentés (où le 0/50 représente plus de 70 % du 0/D)
- C2 : sous-classe contient :
 - les matériaux anguleux très charpentés ($0/50 \leq 70$ % du 0/D)

Ces deux sous-classes C1 et C2 se subdivisent en d'autres sous-classes C1Ai, C1Bi ou C1Di ou C2Ai, C2Bi ou C2Di avec Ai, Bi ou Di la classe de la fraction 0/50 mm du matériau 0/D.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

La Classe D : Sables et graves propres

Elle contient les sols insensibles à l'eau. Ces sols présentent une $V.B.S \leq 0,1$ et un tamisat à $80 \mu m \leq 12 \%$. Cette classe contient 2 sous-classes qui se présentent comme suit :

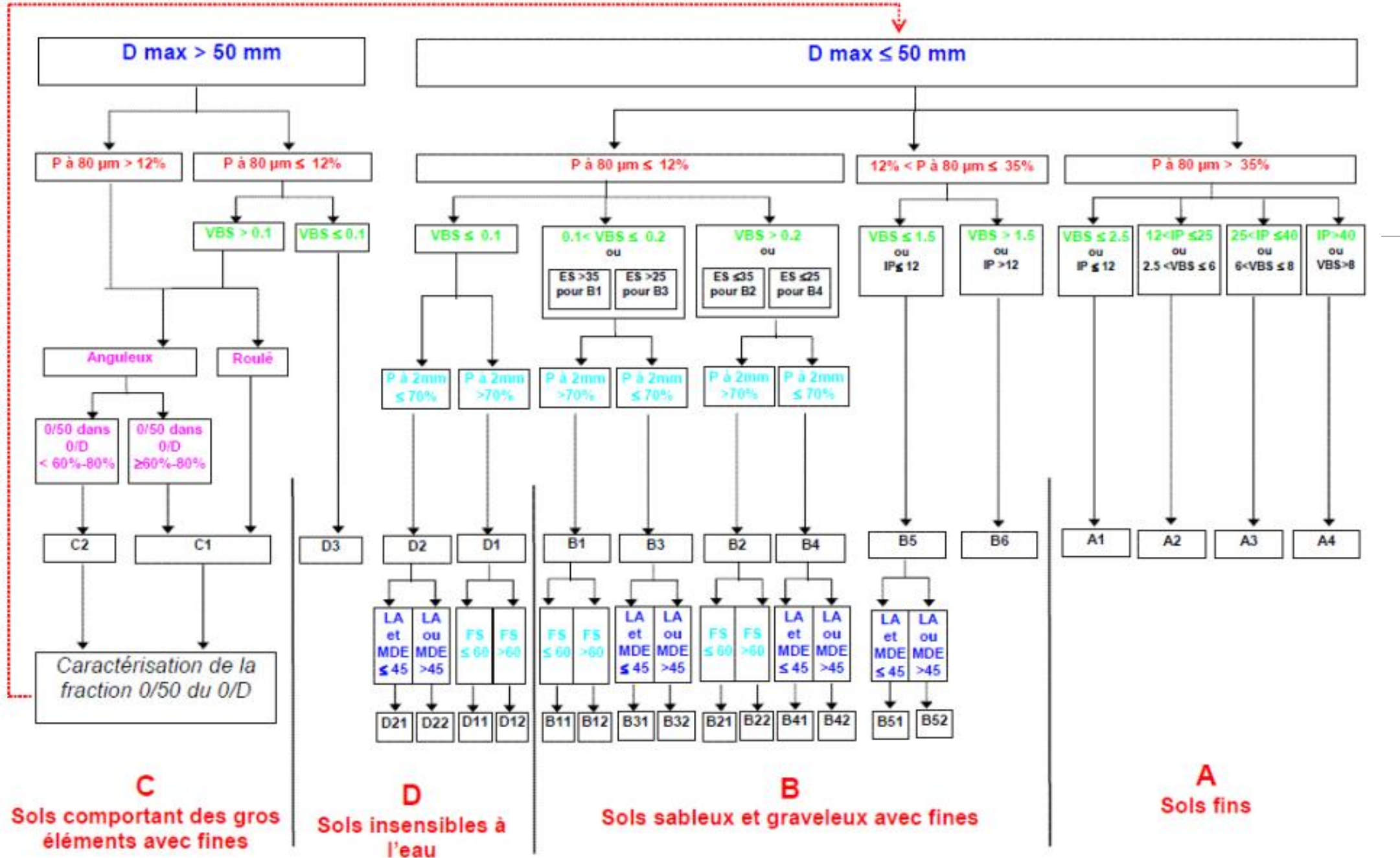
D1 : sous-classe : contient les sables propres (alluvionnaires et autres...)

$D_{max} \leq 50 \text{ mm}$

Et passant à $2 \text{ mm} > 70 \%$

Sous-classe : D11 si $FS \leq 60$

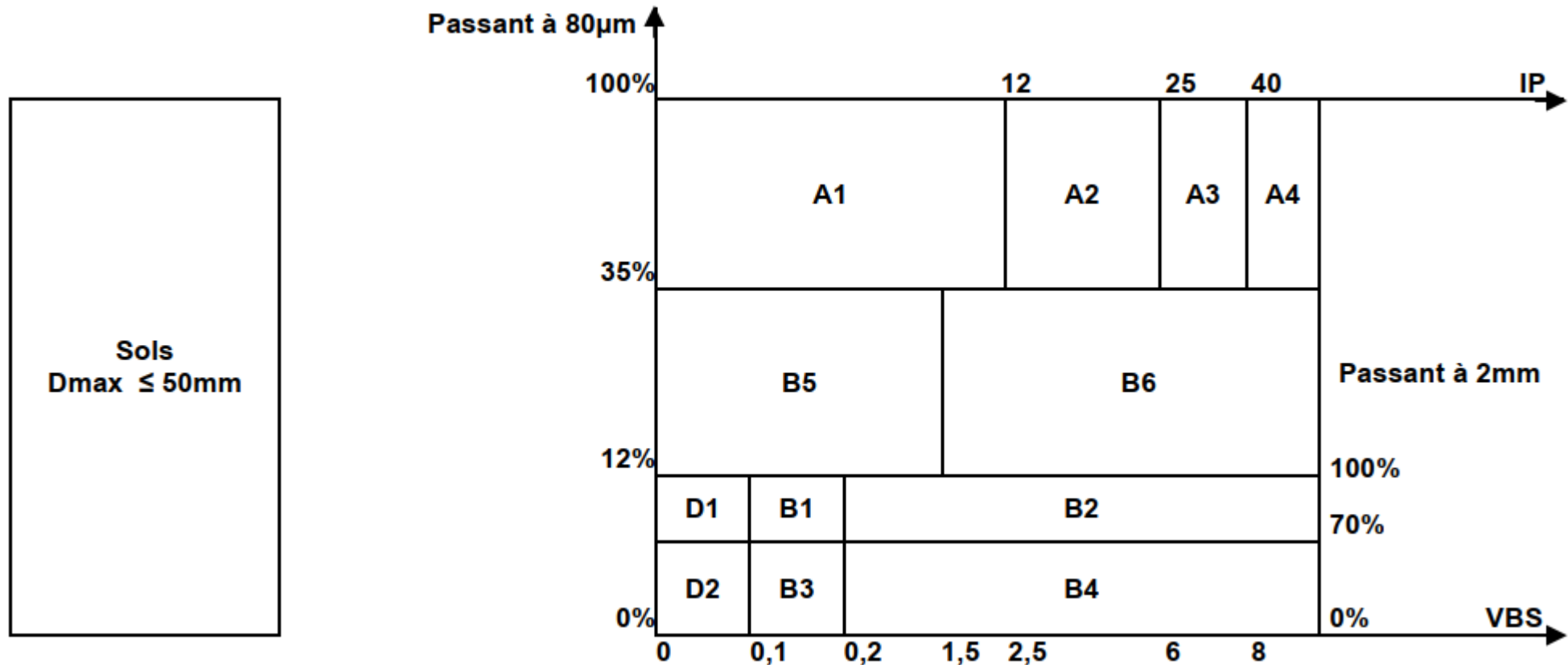
Sous-classe : D12 si $FS > 60$



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :



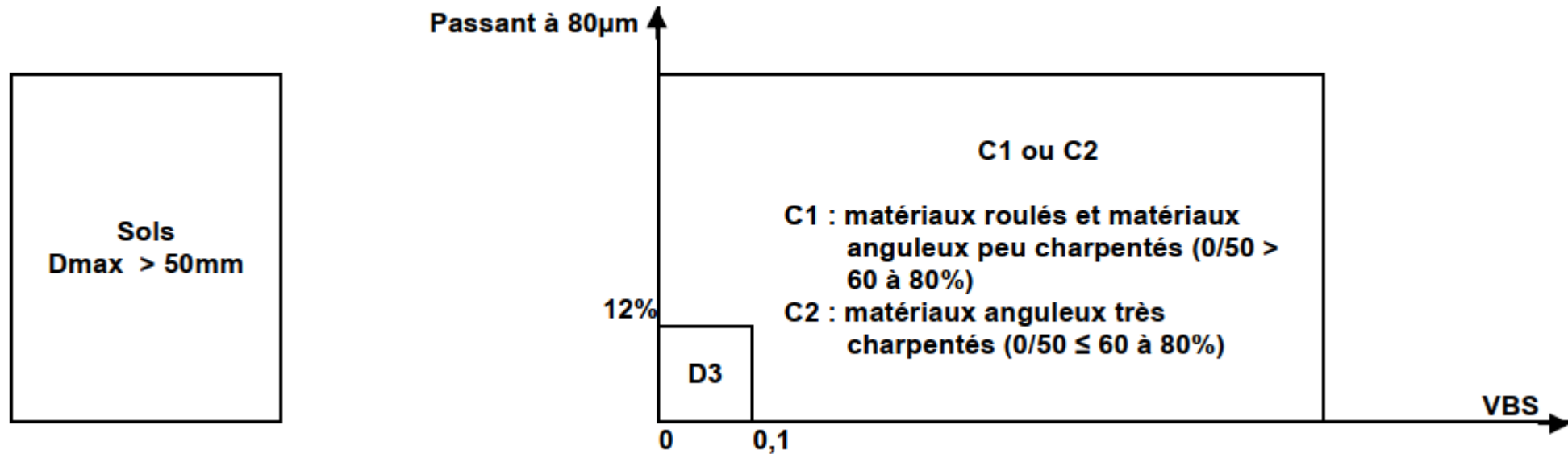
III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

2.1. Paramètres de nature :

a. La granularité :



III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Exemple d'application :

N	Dmax	> 50 mm	> 2mm	< 0,080mm	WL	WP	VBS	w	wopn	IPI	Fs	MDE
1	6.3	0	11	77	32	21		4.5	8.5			
2	100	19	25	8			0.18				70	
3	100	15	23	68	27	13		0.8	9			
4	63.0	35	31	22	30	20	0.16			18		44
5	20	0	22	10			0.08				52	
6	85.0	0	15	28	35	18				8		
7	35.0	0	53	11			1.8	10.3	10.8			68

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Exemple d'application :

Sol n°	Classe
1	A1
2	C1B12
3	C1A1
4	C2B51
5	D11
6	C1B6
7	B42

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Cas des sols tirseux

Les sols tirseux sont des sols fins noirs à gris foncés, généralement situés en couverture, qui présentent une forte instabilité volumétrique. Ces sols se caractérisent par une forte fissuration par retrait en saison sèche et par un fort gonflement à l'état humide. Le catalogue des structures des chaussées neuves les caractérise par les paramètres suivants :

L'indice d'instabilité volumétrique : $Wl - Wr > 42$ avec

- Wl (limite de liquidité) > 53 ;
- Wr (limite de retrait) < 13 .

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Cas des sols tirseux

La plasticité de ces sols permet de définir deux sous-classes :

- TxA3 : pour les sols avec $I_p \leq 40$;
- TxA4 : pour les sols avec $I_p > 40$.

Les sols tirseux sont très présents en couverture dans la plaine du Gharb et dans la plaine de Berrechid. Les épaisseurs peuvent être importantes au niveau de la plaine du Gharb. Ces épaisseurs sont faibles au niveau de la plaine de Berrechid où ces sols reposent en général sur des tufs et des encroûtements calcaires.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Cas des sols tufacés

Les tufs sont des sols calcaires. Ils peuvent se présenter sous forme de sols fins ou de sols graveleux à squelette plus ou moins induré. Ces sols sont fréquemment rencontrés dans les plaines de Chaouia, Doukkala et Abda et sont généralement situés sous les sols de couverture avec ou sans encroûtement en partie supérieure.

Leur comportement dans le long terme et dans les conditions hydriques où ces sols sont rencontrés est nettement supérieur à celui que l'on pourrait prévoir par les seules caractéristiques habituelles d'identification.

L'élément prédominant qui caractérise ce comportement est le taux de carbonate de calcium (CaCO_3).

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Cas des sols tufacés

La classification se fera :

En faisant apparaître le degré de calcification suivant le mode opératoire agréé par l'Administration.

- Si $50 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 70 \%$: tuf faiblement carbonaté Tf
- Si $\text{CaCO}_3 > 70 \%$: tuf fortement carbonaté Tc

En prenant en compte la classification générale pour les sols meubles :

- Soit : TfAi ou TfBi ;
- Soit : TcAi ou TcBi ;
- Selon que le sol est classé en Ai ou Bi.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

Classification des matériaux rocheux d'après la nature pétrographique de la roche ;

Classification d'après les caractéristiques mécaniques : Dureté Los Angeles, Usure MICRO-DEVAL Humide ;

Pour les matériaux évolutifs : classification suivant la fragmentabilité (FR) et la dégradabilité (DG).

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.1. Cas particuliers des roches évolutifs :

Le caractère évolutif des roches est apprécié en laboratoire par :

- Le coefficient de fragmentabilité (FR) pour l'évolution granulométrique ;
- Le coefficient de dégradabilité (DG) pour l'évolution par altérabilité lors de cycles alternés d'humidification séchage ;
- Le degré de dissolution pour les roches salines.

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.1. Cas particuliers des roches évolutifs :

Seuils retenus :

FR = 7

- Si $FR < 7$: peu fragmentable
- Si $FR > 7$: fragmentable

DG = 20 et 5

- $DG > 20$: très dégradable
- $5 < DG < 20$: moyennement dégradable
- $DG < 5$: peu dégradable

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

a) Roches Carbonatées :

Classe R1 : la Craie

Classe R2 : les roches calcaires

- Sous-classe R21 des Calcaires durs avec : $LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$

Ex : calcaires durs, calcaires dolomitiques et calcschistes

- Sous-classe R22 des calcaires de dureté moyenne, avec :

$45 \leq LA < 55$ et $MDE < 55$ ou $45 < MDE \leq 55$ et $LA \leq 55$

Ex : Calcaires gréseux moyennement induré.

- Sous-classe R23 des calcaires tendres, avec : $LA > 55$ ou $MDE > 55$

Ex : Grès calcaires dunaires et Encroûtements calcaires.

- Sous-classe R24 des calcaires marneux

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

b) Roches Argileuses :

Classe R3 :

- Sous-classe R31 des roches argileuses peu fragmentables et très dégradables

$$FR < 7 \text{ et } DG > 20$$

- Sous-classe R32 des roches argileuses peu fragmentables et moyennement dégradables

$$FR < 7 \text{ et } 5 < DG \leq 20$$

- Sous-classe R33 des roches argileuses peu fragmentables et peu dégradables

$$FR < 7 \text{ et } DG \leq 5$$

- Sous-classe R34 des roches argileuses fragmentables

$$FR > 7$$

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

c) Roches Siliceuses :

Classe R4 :

- Sous-classe R41 des roches siliceuses dures
 $LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$
- Sous-classe R42 des roches siliceuses de dureté moyenne
 $LA > 45$ ou $MD > 45$ et $FR \leq 7$
- Sous-classe R43 des roches siliceuses fragmentables
 $FR > 7$

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

d) Roches Salines :

Classe R5 :

- Sous-classe R51 des roches salines peu solubles
Teneur en sel soluble ≤ 30 à 50 %
- Sous-classe R52 des roches salines très solubles
Teneur en sel soluble > 30 à 50 %

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

e) Roches Magmatiques et Métamorphiques :

Classe R6 :

- Sous-classe R61 des roches magmatiques et métamorphiques dures
 $LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$
- Sous-classe R62 des roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne
 $LA > 45$ ou $MDE > 45$ et $FR \leq 7$
- Sous-classe R63 des roches magmatiques et métamorphiques fragmentables
 $FR > 7$

III.

Cha

1.

3. Pa

Roches Sédimentaires

Roches
carbonatées

- Craies
- Grès calcaire
- Calcarénite
- Encroûtements
- Calcaires
- Calcaires marneux
- Calcschistes
- Calcaires durs
- Calcaires
- dolomitiques

R1

R2

Roches argileuses

- Marnes
- Schistes
- Sédimentaires
- Flyschs
- Marneux
- Argilites
- Pelites

R3

Roches siliceuses

- Grès argileux
- Grès siliceux
- Poudingues
- Brèches

R4

Roches salines

- Gypse
- Gypse marneux
- Sel gemme

R5

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

3. Paramètres de classification des matériaux rocheux :

3.2. Classification des Roches :

Roches Magmatiques et Métamorphiques	• Granite • Basalte • Diorite • Quartzite Autres roches éruptives et métamorphiques dures	R6
---	--	----

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R1
			Calcaires	R2
		Roches argileuses	Marne, argilites, pélites	R3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches	R4
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R5
	Roches Magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésite, gniess, schistes métamorphiques et ardoisiers...		R6
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			F

III. Le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (CSTCN) :

1. Classification des sols et des roches:

2. Paramètres de classification des sols meubles :

Exemple d'application :

N	Dmax	> 50mm	> 2mm	< 80µm	WL	WP	Wr	VBS	Type de Roche	% CaCO ₃	MDE	FR	LA	DG
8	10.8	0	11	77	64	34	11	0.12		13				
9								0.18	Argileuse	1		6		3
10									Magmatique	5	49	4	42	
11	35	0	53	11				1.8		87	18		44	
12	45	15	23	68	27	13		0.8		9				
13									Siliceuse	32	32	8	48	
14	35	35	40	9				0.06		63	55		49	
15	75	35	62	8				0.18		3	48		32	
16								0.08	Calcaire	12	52		49	