

Voirie et Réseau Divers

SOMMAIRE

- **Chapitre I** : PRÉPARATIONS POUR PROJET VRD
- **Chapitre II** : VOIRIE
- **Chapitre III** : ALIMENTATION EN EAU POTABLE
- **Chapitre IV** : ASSAINISSEMENT

Chapitre I

PRÉPARATIONS POUR PROJET

VRD

Chapitre I : PRÉPARATIONS POUR PROJET VRD

I-1. INTRODUCTION

I-2. OBJECTIFS DES ÉTUDES VRD

I-3. DOCUMENTS DE BASE POUR LES ÉTUDES VRD

I-4. DÉROULEMENT DES ÉTUDES VRD

I-5. PHASES DES TRAVAUX

I-6. IMPLANTATION DES RÉSEAUX ENTERRES

I-7. PLANS DE RECOLLEMENT

I-1. Introduction

On désigne par le sigle VRD l'ensemble des travaux qui ont pour objet de mettre le terrain en état de recevoir la construction et de raccorder les bâtiments aux réseaux de distribution collectifs de fluides et à la voirie publique. Cela concerne essentiellement les amenées d'eau potable, d'électricité, de téléphone et les évacuations d'eaux usées et pluviales, les voiries et même l'aménagement des espaces verts.

I-2. Objectifs des études VRD

- Les études de VRD sont élaborées dans le but de préparer des plans d'exécution des différents réseaux.
- Les travaux concernent la pose des réseaux qui sont généralement enterrés. La pose des réseaux se fait suivant des plans d'exécution tout en respectant la disposition d'un réseau par rapport aux autres dans le but de faciliter la tâche des différents intervenants au moment de l'entretien.

I-3. Documents de base pour les études VRD

Les études de VRD nécessitent la mise à disposition de plusieurs documents dont principalement :

- Plan de situation du terrain
- Plan de lotissement approuvé et son cahier des charges
- Levé topographique du terrain
- Rapport géotechnique
- Plans directeurs des différents réseaux projetés dans la zone

I-4. Déroulement des études VRD

- Etudes Avant Projet Sommaires (études préliminaires)

Cette phase, très importante, permet de maîtriser l'ensemble des spécificités et des contraintes du projet. Elle permet d'orienter et d'adopter les solutions de base de raccordement du projet aux différents réseaux publics, Aussi elle permet de cerner les composantes du coût du projet.

Dans cette phase sont identifiées et vérifiées les composantes des base à savoir :

✓ **Topographie du terrain :**

Sur place, le projeteur étudie :

- L'état général du terrain ;
- La pente générale et la végétation ;
- Les solutions de calage de la voirie
- L'existence de cours d'eau et de fossés ;
- Les possibilités de raccordement aux routes et réseaux existants ;
- Le voisinage de la zone d'une façon générale .

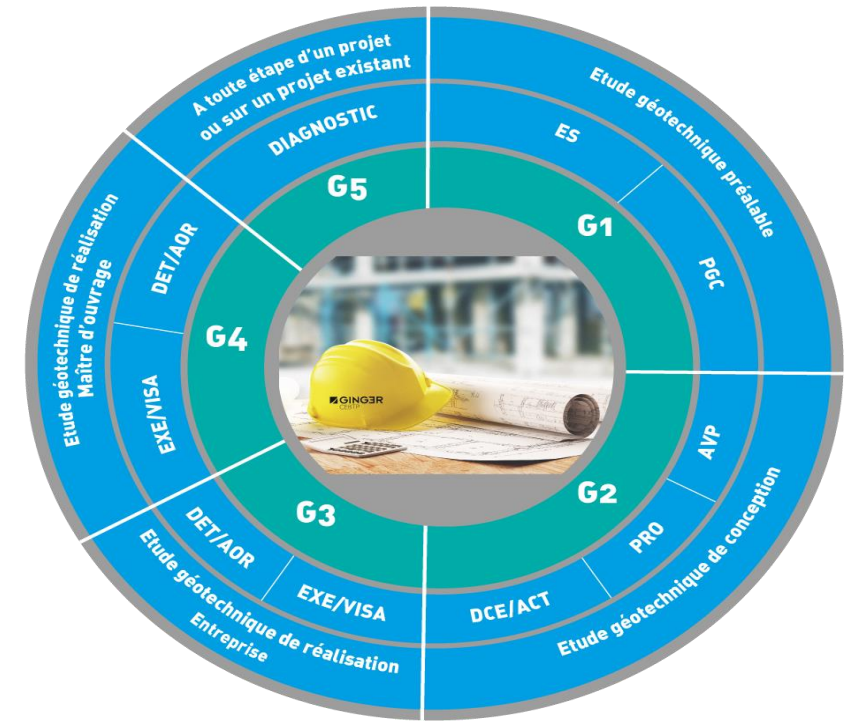
✓ Reconnaissance du sol :

Au niveau des études préliminaires, on procède généralement à un laboratoire géotechnique qui consiste à faire un certain nombre d'essais au laboratoire et in situ afin d'identifier la nature du sol, sa classe, ses caractéristiques physiques et mécaniques et de détecter la présence et le niveau de la nappe.

Les résultats géotechniques obtenus permettent de :

- Dimensionner la chaussée et les ouvrages
- Choisir le procédé d'exécution.
- Choisir le type d'engins à employer, etc..

- L'étude géotechnique est une étape incontournable pour maîtriser les risques des sols.
- La géotechnique, comme de nombreux métiers, est encadrée par une norme précise, NF P 94-500 (version 2013). Cette norme se compose en 5 grandes missions :
 - G1 : Etude géotechnique préalable
 - G2 : Etude géotechnique de conception
 - G3 et G4 : Etude géotechnique de réalisation
 - G5 : Diagnostic géotechnique



✓ Etudes hydrologiques :

L'objectif d'un réseau d'assainissement des eaux pluviales est la protection de l'agglomération contre les inondations. De ce fait, la protection de la zone des eaux de pluie nécessite une connaissance du climat de la zone et sa pluviométrie.

✓ Natures du foncier et du lotissement :

Il y a lieu de s'assurer que l'ensemble des ouvrages à réaliser se trouvent sur des parcelles propriétés du maître d'ouvrage afin d'éviter les problèmes d'opposition des riverains au moment de la réalisation des travaux.

Il est nécessaire de s'informer sur :

- L'objectif du lotissement s'il est industriel, touristique ou d'habitat ;
- Le nombre et le type de la population , ou de l'industrie pour laquelle le projet est conçu ;
- L'enveloppe financière allouée aux travaux de VRD.

- Etudes Avant Projet Détaillé (APD)

✓ Notes de calculs :

- Dimensionnement du corps de chaussée et choix des matériaux ;
- Calcul des débits des eaux usées et dimensionnement du réseau ;
- Calcul des besoins en eau potable et dimensionnement du réseau de distribution ;
- Avant métré des volumes de terrassement ;
- Avant métré des linéaires de conduites d'assainissement et des ouvrages correspondants.

✓ Plans nécessaires :

- Tracé en plan, implantation, profils en long et profils en travers des voies ;
- Tracé en plan et profils en long des réseaux des eaux usées et pluviales ;
- Tracé en plan du réseau de distribution de l'eau potable ;
- Détails d'exécution des différents ouvrages spéciaux.

- L'Appel d'Offres

✓ Les différents modes de passation des marchés sont :

- L'Appel d'Offres ouvert
- L'Appel d'Offres restreint
- L'Appel d'Offres avec présélection
- Le concours
- La procédure négociée
- Le bon de commande

✓ **Dossier d'appel d'offres :**

- **L'avis d'appel d'offres**

- **Le règlement de la consultation :**

 - Le règlement de la consultation – Dispositions Particulières (RCDP)

 - Le règlement de la consultation – Dispositions Générales (RCDG)

- **Modèle de la déclaration sur l'honneur**

- **Modèle de l'acte d'engagement**

- **Cahier des prescriptions spéciales (CPS):**

 - Cahier des Clauses Administratives et Financières Particulières (CCAFP)

 - Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

- **Cahier des prescriptions communes (CPC) :**

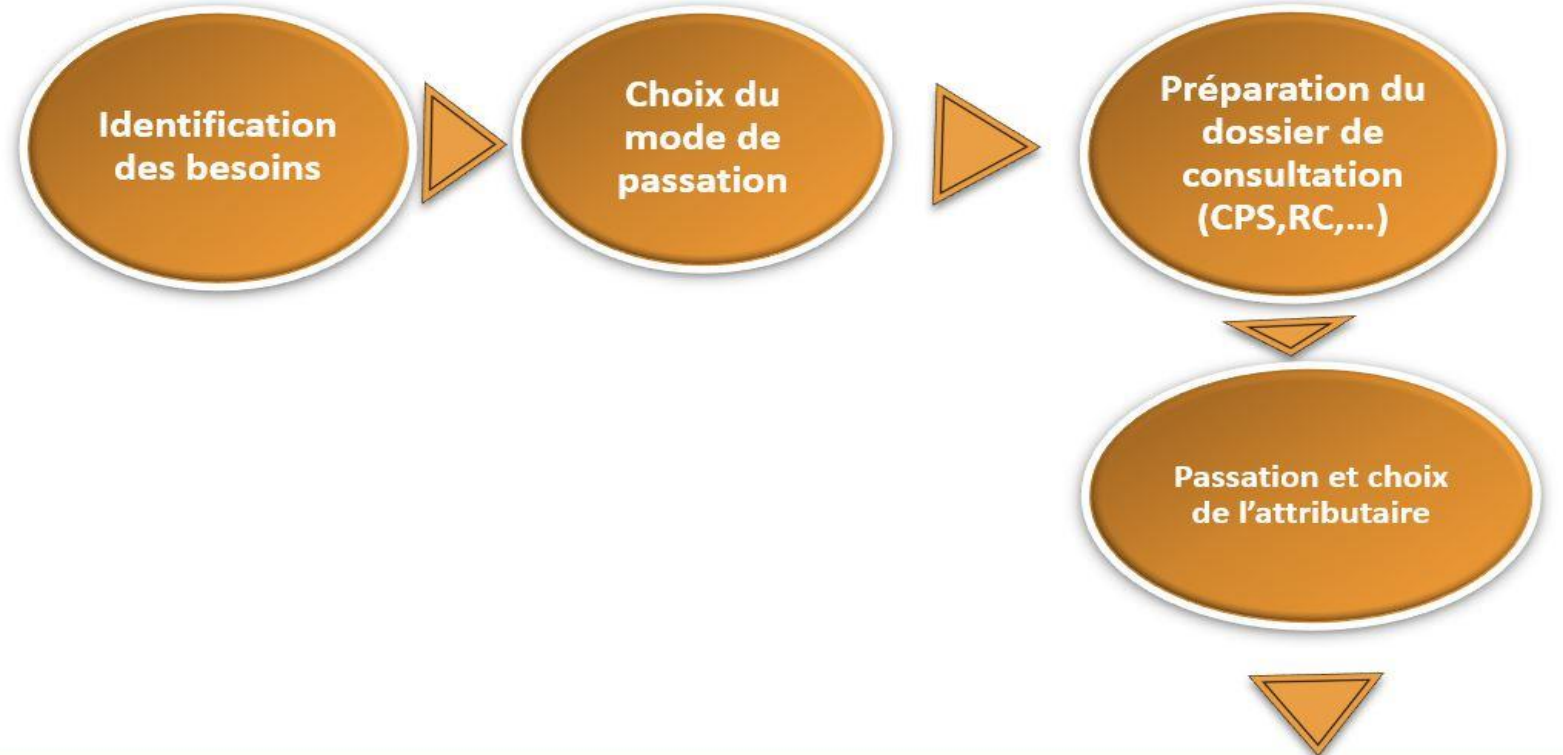
 - Cahier des Clauses Administratives et Financières Générales (CCAFG).

 - Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG)

- **Le bordereau des prix-détail estimatif**

✓ Cycle de vie d'un projet :

Passation



Exécution



I-5. Phases des travaux

- Les travaux d'assainissement consistent à raccorder les réseaux, les conduites et/ou évacuations des eaux aux réseaux publics. Il est nécessaire de prévoir l'emplacement de chaque composante des voiries avant d'entamer les travaux de terrassement. En effet, la mise en œuvre du terrassement et celle de la VRD doivent coïncider car elles sont effectuées en même temps.
- Il existe deux types de travaux de VRD :
 - La viabilisation d'un terrain ou d'un lotissement (Cette étape est à la charge du lotisseur).
 - Les VRD proprement dit (ceux-ci sont à la charge du propriétaire du terrain).

- AVANT CONSTRUCTION DES BATIMENTS :

- Travaux de terrassement et mise à la cote des plates formes de la voirie
- Pose des réseaux d'assainissement des eaux usées et pluviales sous chaussée
- Pose des fourreaux pour le passage des réseaux
- Pose de la bordure de trottoir, des caniveaux et des ouvrages de collecte des eaux pluviales
- Pose de la couche de roulement provisoire
- Réception des travaux



Fourreaux pour le passage des réseaux



Travaux de terrassement

Pose des caniveaux



Pose de la bordure de trottoir



Pose de la couche de roulement

- **APRES CONSTRUCTION DES BATIMENTS (TRAVAUX DE FINITION) :**

- Branchement des bâtiments aux différents réseaux
- Travaux de revêtement des trottoirs
- Travaux d'éclairage public
- Remise en état des chaussées et leurs accessoires et revêtements en enrobé
- Aménagement des espaces verts et mettre en place du mobilier urbain



Travaux d'éclairage public



Travaux de revêtement des trottoirs



Aménagement des espaces verts

I-6. Implantation des réseaux enterrés

Les réseaux possèdent en effet un certain nombre de caractéristiques communes :

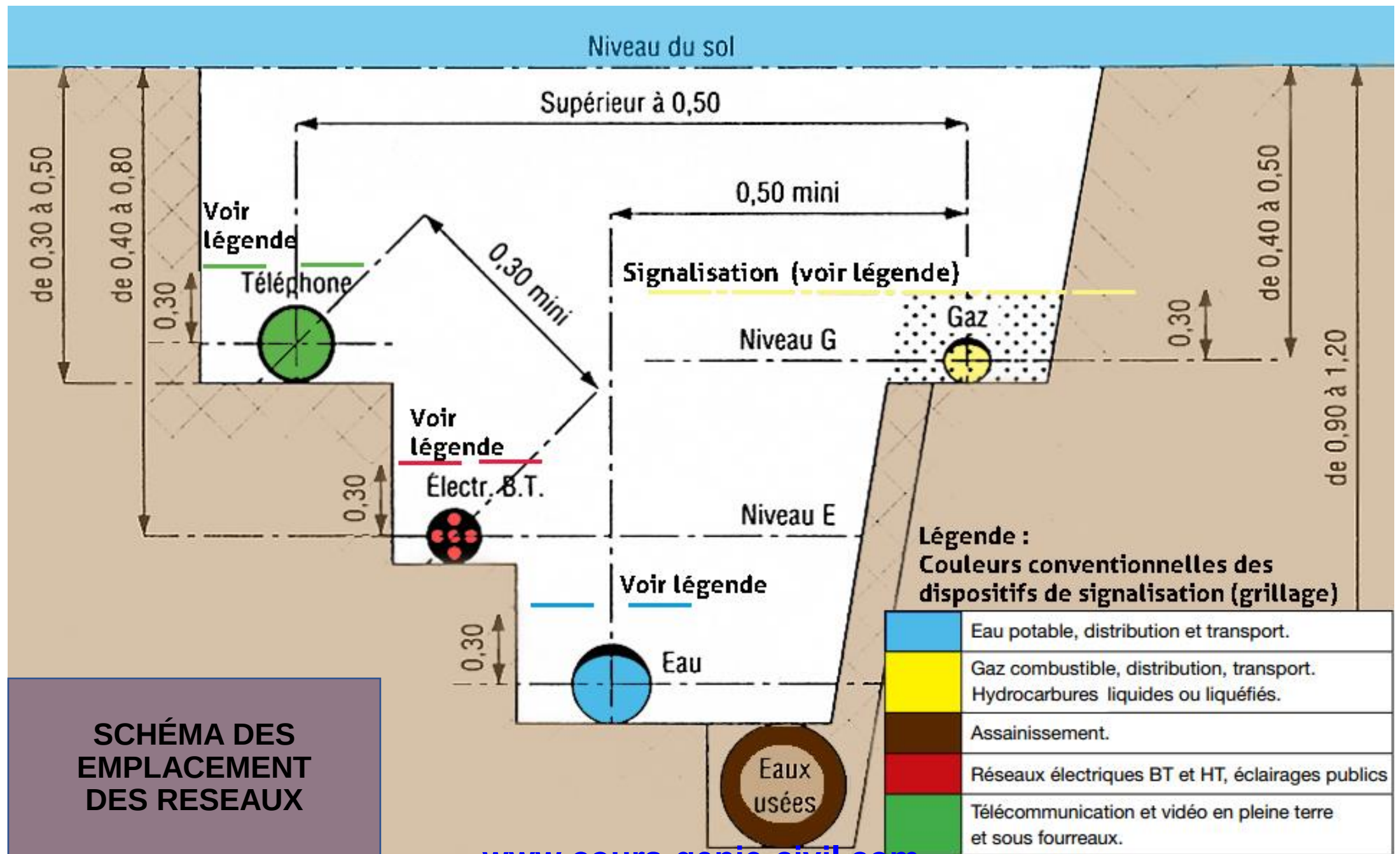
- Ils doivent souvent passer sous les voies de circulation ;
- Ils doivent être soigneusement séparés ;
- Leur encombrement, à l'exception des canalisations d'assainissement, est relativement faible ;
- Ils doivent être accessibles pour les réparations et les entretiens ;
- Les ouvrages de visite et de commande doivent être faciles à manœuvrer et bien éloignés des racines d'arbres qui pourraient les disloquer ;
- Les points d'entrée dans le bâtiment doivent être déterminés avant la construction .

	Profondeur	Grillage (avertisseur)	Chaussée	Trottoir
Eaux usées	1.50 m	Marron	Possible	Déconseillé
Eaux pluviales	1.00 m	Marron	Possible	Déconseillé
Eau potable	0.80 m	Bleu	Déconseillé	Possible
Electricité	0.75 m	Rouge	Déconseillé	Possible
Téléphone	0.50 m	Vert	Déconseillé	Possible

Tableau 1 – EMPLACEMENT DES RESEAUX

	Eaux pluviales Eaux Usées	Eau potable	Electricité	Téléphone
Eaux pluviales Eaux Usées	-	20 cm	20 cm	40 cm
Eau potable	20 cm	-	60 cm HT 20 cm BT	40 cm
Electricité	20 cm	60 cm HT 20 cm BT	-	50cm
Téléphone	40 cm	40 cm	50 cm	-

Tableau 2 – ESPACEMENT ENTRE RESEAUX



I-7. Plans de recollement

Un plan de récolement est un plan qui décrit les travaux réellement réalisés par l'entreprise, à la fin d'un chantier, par opposition aux plans de projet qui décrivent les travaux prévus.

Le plan de récolement est indispensable lors de la construction d'un lotissement.

En effet, il permet de mettre en place les bornes et d'examiner l'endroit exact où se trouvent les réseaux enterrés. Ainsi, il sera plus facile de déterminer et de donner les détails à la voirie en ce qui concerne les types d'installations de l'habitat.

Le prononcé de la réception provisoire du marché est conditionné par la remise des plans de récolement et après accord du maître d'œuvre.

Chapitre II

VOIRIE

Chapitre II : VOIRIE

II-1. DÉFINITION DE LA VOIRIE :

II-2. DIFFÉRENTS RÔLES DE LA VOIRIE :

II-3. TERMINOLOGIE D'UNE VOIRIE

II-4. STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE :

II-5. CARACTÉRISTIQUES DE CHAUSSÉES

II-6. TYPES DE CIRCULATION

II-7. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE RESEAUX :

II-8. CONCEPTION DE LA VOIRIE

II-1. DÉFINITION DE LA VOIRIE

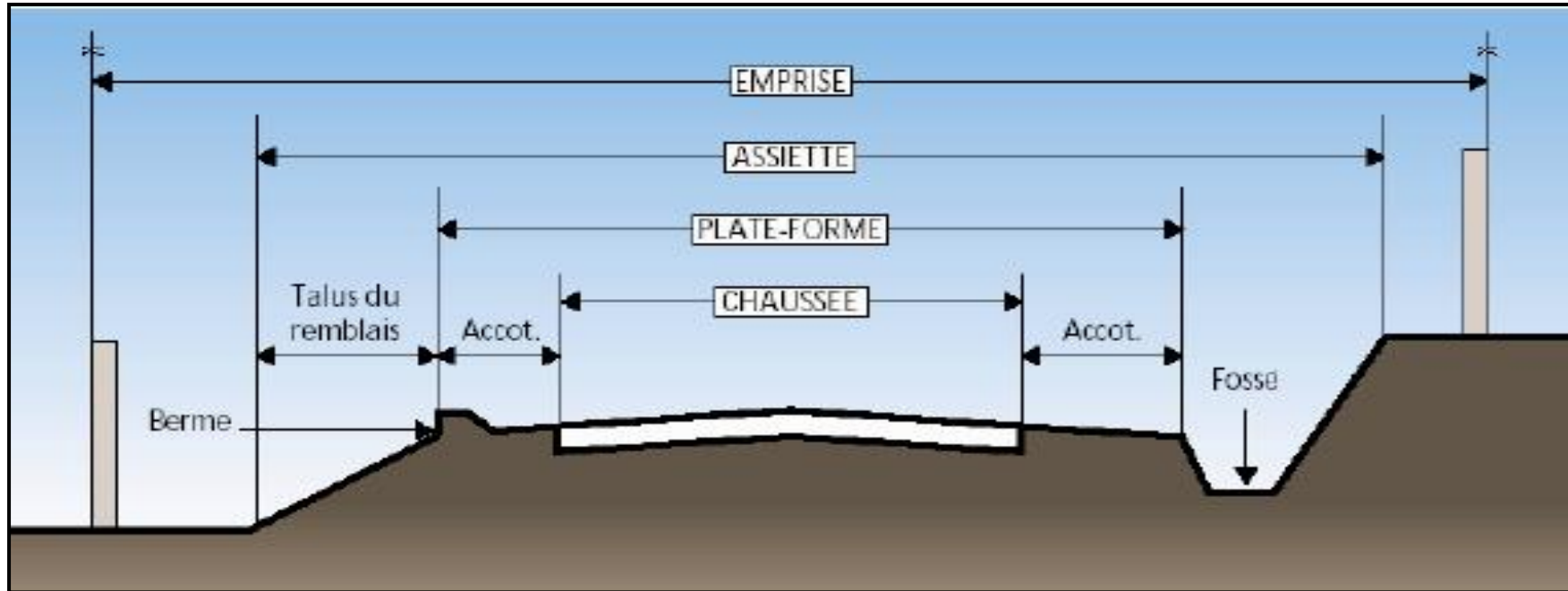
- La voirie porte sur l'ensemble des ouvrages réservés à la circulation de tous les véhicules (voitures, poids lourds, transport en commun, etc.), les piétons, ainsi que les aires de stationnement.
- les routes sont réalisées, pour une durée de vie moyenne de 10 à 20 ans selon le type de circulation et le type de conception.

II-2. DIFFÉRENTS RÔLES DE LA VOIRIE

Les fonctions de la voirie sont de plusieurs ordres :

- Fonction de circulation et de transports de : personnes, véhicules, marchandises, etc.
- Lieu public de communication et de rencontre entre différentes zones
- Éléments de composition et conception urbaine
- Espace d'implantation des réseaux

II-3. TERMINOLOGIE D'UNE VOIRIE

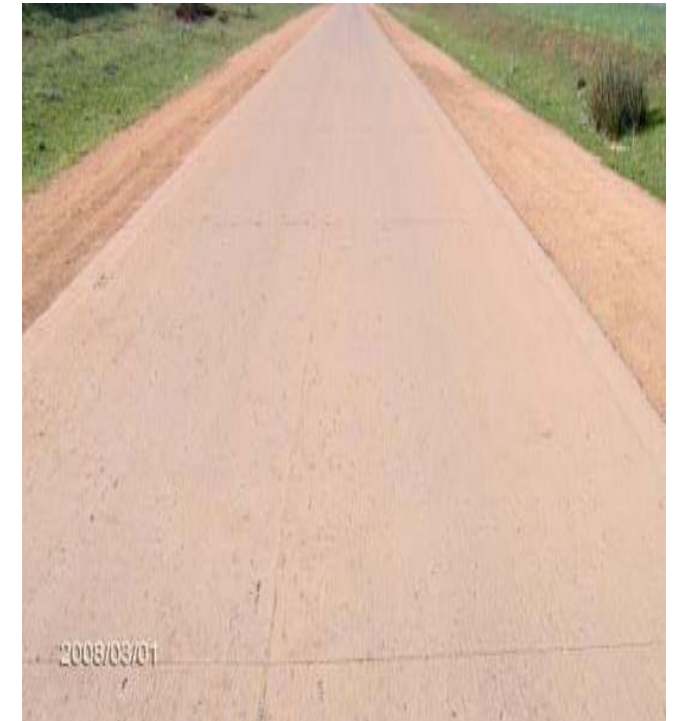


- **Emprise** : est la partie du terrain réservée au domaine public et qu'on doit acquérir pour la réalisation du projet de voirie, celle-ci renferme en plus de l'assiette, une autre partie qui pourra servir le cas échéant à l'élargissement de la route
- **Assiette** : surface de la route occupée par la chaussée et ses accessoires (accotements ou trottoirs, fossés, talus)
- **Plate forme** : surface plane occupée par la chaussée, les accotements ou trottoirs

- **Chaussée** : elle est constituée de bandes de roulement ou de voies proprement dites, ouvertes à la circulation des véhicules
- **Accotement**: c'est un espace qui borne la chaussée de part et d'autre, qui peut être au même niveau que la chaussée, il est fréquent dans la voirie de desserte et sert à la circulation des piétons.
- **Terre-plein Central** : zone non circulaire séparant les trafics lorsque ceux-ci se font sur des chaussées séparées



Terre-plein Central



- **Trottoirs** : espace latéral permettant la circulation des piétons le long des voies urbaines
- **Talus**: est l'inclination qu'on doit donner au terrain de part et d'autre de la plate-forme pour éviter l'éboulement (glissement) du terrain sur la chaussée en période hivernale. Il est selon la configuration du T.N, soit déblai, soit remblai
- **Fossé** : ouvrage de section rectangulaire, trapézoïdale ou triangulaire, sont soit en **terre** ou en **béton**, servant à l'évacuation des eaux de ruissellement quand le drainage se fait par des collecteurs à "ciel ouvert"



Fossé triangulaire en béton



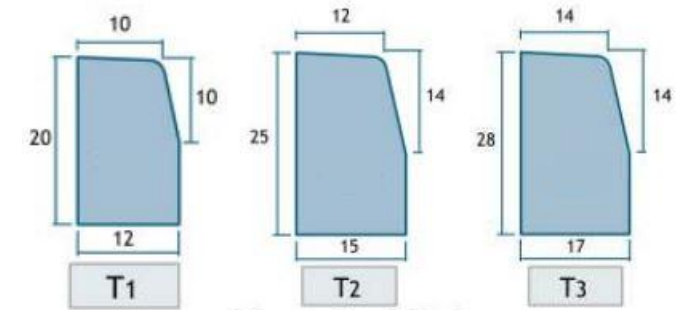
Fossé trapézoïdale en béton



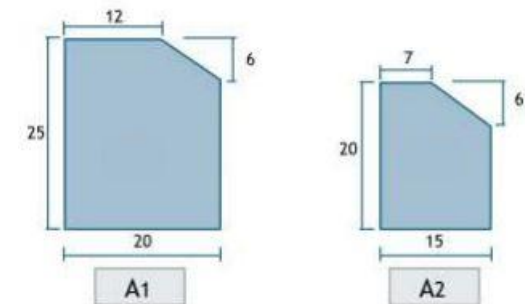
Fossé triangulaire en terre

- **Bordures de trottoir :** La séparation physique entre la chaussée et le trottoir est matérialisée par des bordures qui constituent un obstacle pour l'envahissement du trottoir par les véhicules pendant les manœuvres de stationnement. La hauteur de bordure est fixée selon l'endroit de son implantation.

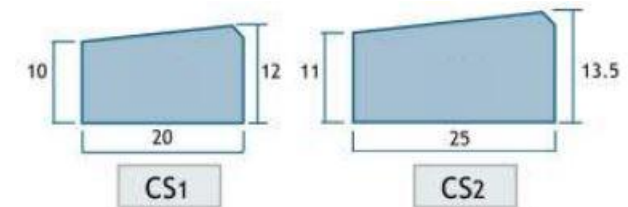
Les bordures de trottoir de type T sont plus spécialement destinées aux voiries urbaines. Les bordures T1 et T2 sont les plus fréquemment utilisées mais il existe également des bordures T3 et même T4, plus hautes.



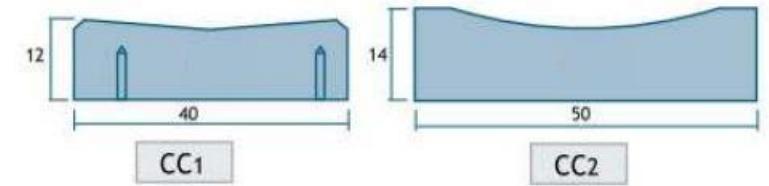
Les bordures de type A1 et A2 sont des bordures d'accotement franchissables.



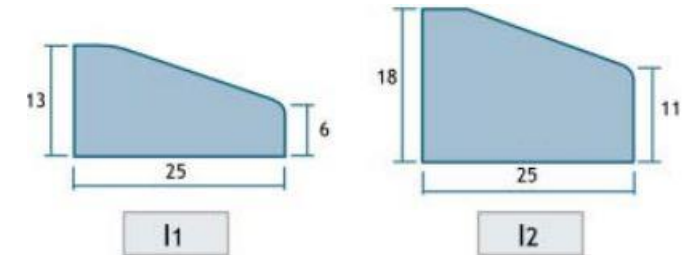
Les bordures CS1 – CS2 – CS3 et CS4 sont des caniveaux à simple pente destinés à être utilisés, soit avec des bordures de type A, soit avec des bordures de type T. Les bordures CS1 et CS2 sont les plus fréquemment utilisées.



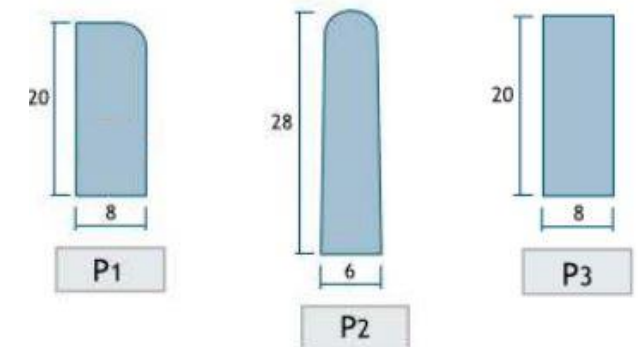
Les bordures CC1 et CC2 sont des caniveaux à double pente.



Les bordures I1 – I2 – I3 et I4 sont des bordures destinées à la délimitation des îlots directionnels. Les bordures I1 et I3 sont simplement posées sur la chaussée alors que les bordures I2 et I4 sont encastrées.



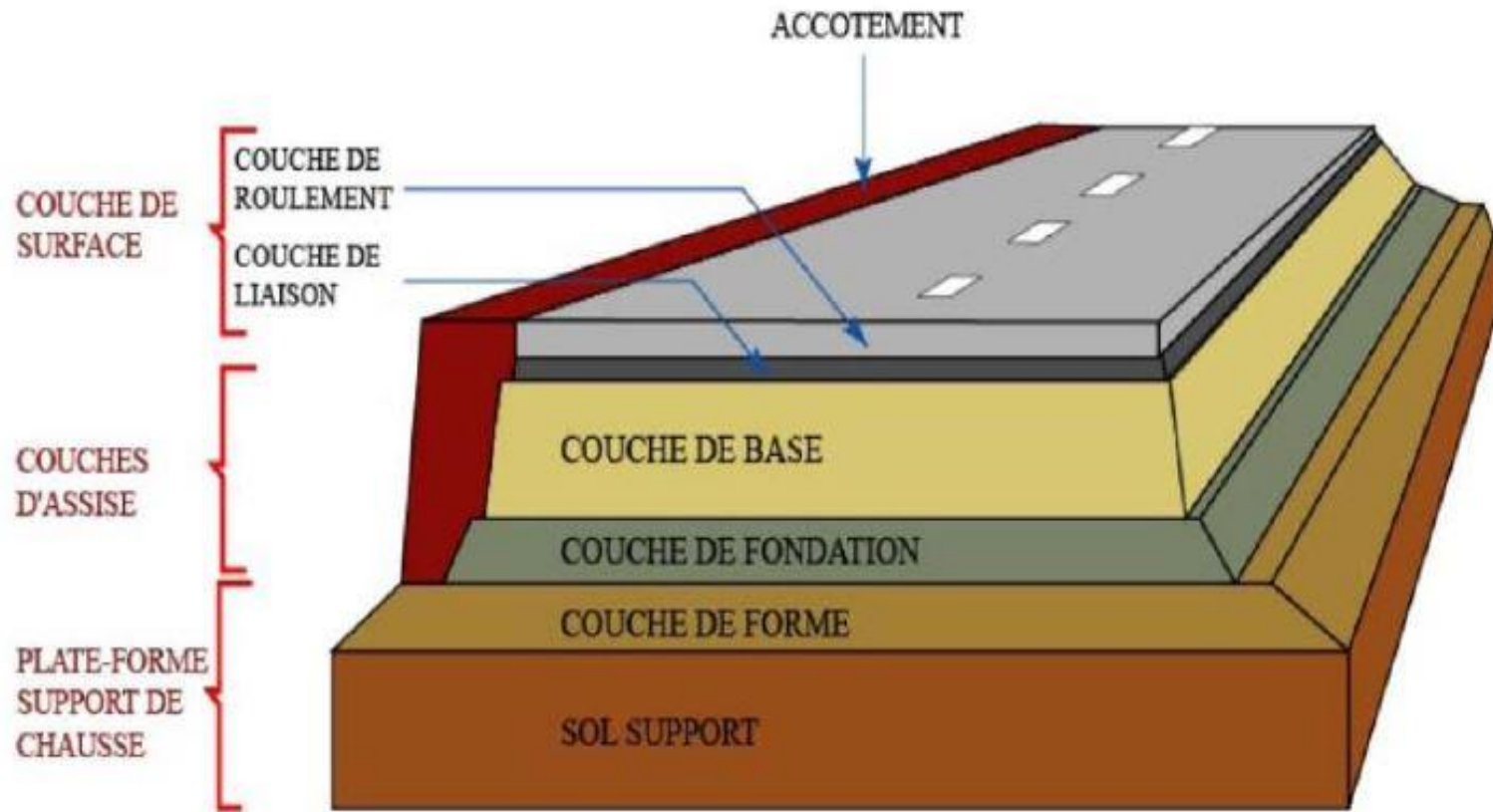
Les bordures P1 – P2 et P3 sont utilisées pour délimiter des espaces de stationnement, des allées piétonnes, des espaces verts, des terrains de loisirs, de sports.



II-4. STRUCTURE DE LA CHAUSSEE

- Les chaussées sont des structures composites, multicouches, conçues pour résister sur une durée de vie relativement longue aux multiples sollicitations mécaniques et climatiques, qui l'une après l'autre dégradent insensiblement les performances initiales des matériaux et de leurs interfaces.
- La construction d'une route passe par les étapes suivantes :
 - Choix de **tracé**,
 - **Terrassement** : préparation du terrain, comblement des trous, planéité de l'arase de terrassement;
 - Mise en œuvre d'une **couche de forme** : participe au fonctionnement mécanique de la chaussée;
 - Mise en œuvre d'une **couche d'assise** : apporte la résistance mécanique aux charges;
 - Mise en œuvre d'une **couche d'accrochage** : liaison entre couche d'assise et couche de roulement, elle est réalisée avec une émulsion de bitume;
 - Et enfin la mise en œuvre de la **couche de roulement**.

- Chaque chaussée est composée par différentes couches de matériaux disposées l'un au-dessus de l'autre, pour supporter la circulation. D'habitude une chaussée comporte les couches suivantes :



1- Constitution d'une chaussée

- Plate de forme :

Plate-forme support de chaussée constituée du sol terrassé (Sol support ou PST) surmonté généralement d'une couche de forme.

Elle protège le corps de chaussée contre :

- Les remontées d'argile : sous couche anti-contaminant en sable fin
- La stagnation de l'eau : sous-couche drainante, mélange gravier et sable
- Les remontées de l'eau du sous-sol : sous-couche anticapillaire, sable ou gravier riche en sable.
- Le gel : sous-couche antigél, gravier ou sol bien compacté

✓ Le sol support ou PST :

La nature géologique des sols permet de les classer dans quatre grandes familles :

- 1. Les sols fins argileux** : Ce sont les sols les plus couramment rencontrés. Il s'agit de limons, argiles à silex ou à meulières, éboulis argilo-sableux et des sables infra-gypseux ;
- 2. Les sols de type marno-calcaires** : Il s'agit de mélanges de marnes et de calcaires se présentant sous de grandes variétés de forme ;
- 3. Les sols de type sables et graves** : Ce sont des sables fins pouvant être propres ou pollués ainsi que des graves alluvionnaires ;
- 4. Les sols remaniés** : Ces sols sont constitués par des matériaux d'apport très divers.

- Le sol support peut être en remblai, qui est un sol surélevé, ou en déblai, qui est un sol enfoncé. La portance des sols, exprimée en MPa, varie selon leur teneur en eau.
- Le sol support est désigné dans sa partie supérieure par le terme « Partie Supérieure des Terrassements » (PST). Sa surface constitue l'arase de terrassement (AR).

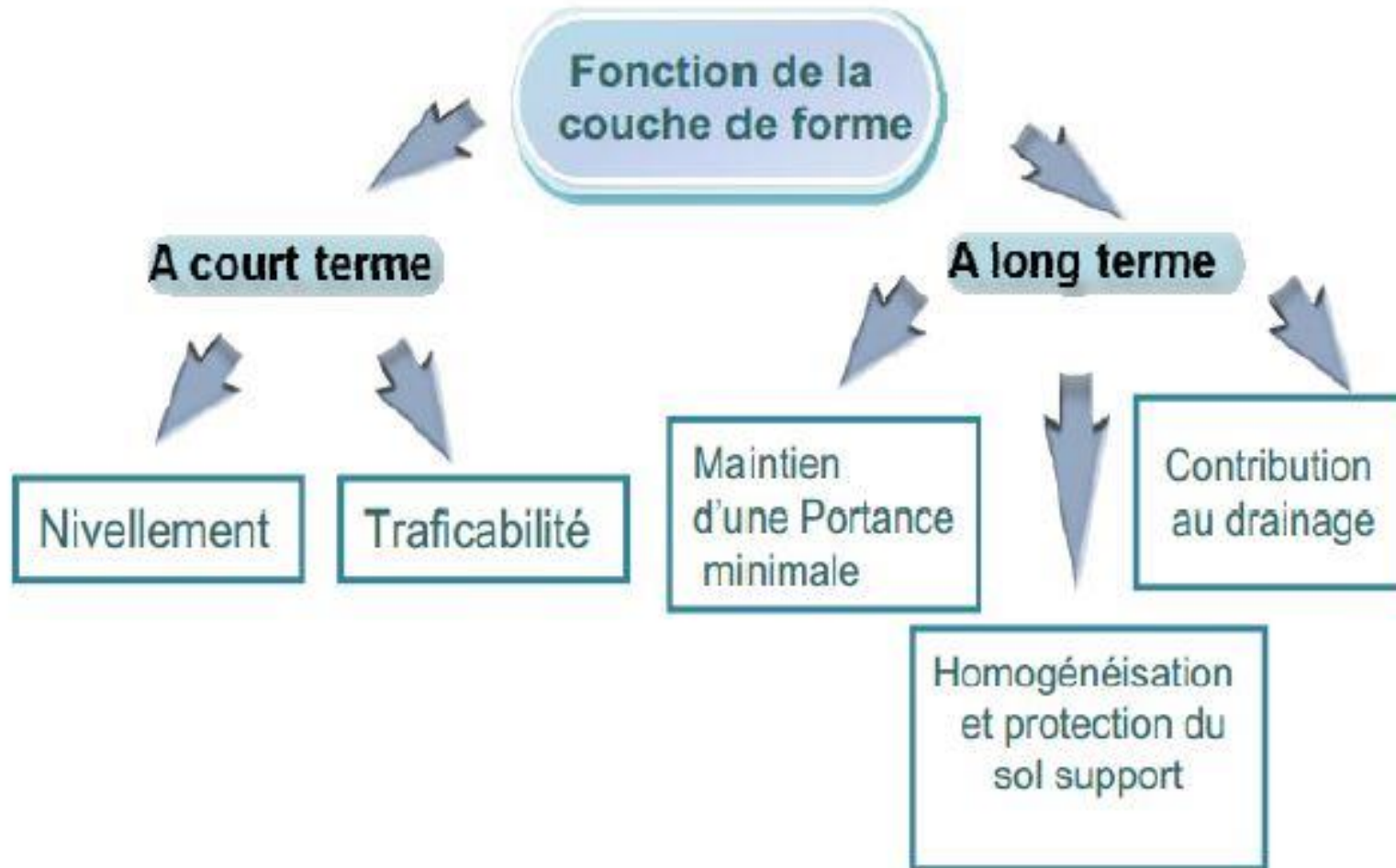
Les techniques pour améliorer la portance sont :

1. Le traitement en place pour les matériaux qui le permettent ;
2. La substitution si le défaut de portance est général et que le traitement en place n'est pas envisageable ;
3. Les purges quand le défaut de portance est localisé.

Couche de
forme

On peut rencontrer dans un même projet des sols de caractéristiques très variables.

Afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol, on est amené à interposer , entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition. Il est appelé **couche de forme**.



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.

- Couche d'assise :

- Les couches d'assise sont généralement constituées d'une **couche de fondation** surmontée d'une **couche de base**. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité .
- Ces couches, généralement constituées de matériaux liés, permettent à la chaussée de résister mécaniquement aux charges induites par le trafic.
- 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.

Ces couches répartissent les charges verticales transmises par la couche de surface sur la plate-forme.

- 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,
- et le cas échéant d'une **couche de liaison**, entre les couches d'assise et la couche de roulement

Il peut être :

Couche d'imprégnation: c'est une couche de liaison entre couche traité et couche non traité.

Couche d'accrochage: c'est une couche de liaison entre deux couches traités.

Couche de
roulement

Couche de
liaison

Couche de
base

Couche
fondation

Sol support



❑ Fonctions:

La couche de surface assure principalement 3 fonctions:

✓ **Fonction structurale de résistance aux charges du trafic:**

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.

✓ **Fonction de 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.

✓ **Fonction de confort:**

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

2. Matériaux utilisés pour chaussées

Couche de fondation :

- ✓ Trois catégories de **graves non traitées (GNT)** pour couche de fondation sont prévues :
GNF 1 – GNF 2 – GNF 3

Le classement de ces GNF selon les critères suivants :

- **GRANULARITE** : essai de l'analyse granulométrique
- **PROPRETE** : essai équivalent de sable, Indice de Plasticité, essai valeur au bleu méthylène...
- **DURETE** : essai Los Angeles (résistance aux chocs)- essai micro deval (résistance à l'usure)
- **ANGULARITE** : -GNf1 IC > 60 - GNf2 IC > 30 - GNf3 IC sans condition

- ✓ **graves traitées** : GBF (grave bitumineux pour couche de fondation)

La couche de base :

Plusieurs catégories de :

✓ **Graves non traitées** pour couche de base :

GNA – GNB – GNC – GND

Le plus utilisé **GNA – GNB** a 0/31,5 mm

Les mêmes critères de classements appliqués sur les graves non traitées pour couche de base.

Ils ont les mêmes caractéristiques sauf ANGULARITE

GNA IC > 100 % GNB IC > 35 %

✓ **Graves traitées :**

GBB : grave bitumineux pour couche de base type B

GAC : Grave Améliorée au Ciment



Production des matériaux GNF - GNB
www.cours-genie-civil.com

les accotements

- Matériaux pour couche supérieure MS1-MS2-MS3
- Matériaux pour sous-couche (Sc)
- Matériaux des couches anti-contaminantes (AC)
- Matériaux Drainants (D).

La couche de forme

La couche de forme peut être constitué soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques.

Généralement elle est formé par des tout venant (F1 et F2 de 0/60 ou 0/80 mm)

Couche de roulement :

Enrobés Bitumineux (EB)

Enrobés Bitumineux Minces (Bm)

Béton de ciment (Bc)

- **Granularité** : $D_{max} < 40 \text{ mm}$
- **Ciment** : - CPJ 45 avec d'autres ajouts
 - Bc 300 à 330 kg/m³ Pour 160 l d'eau
 - Bm 130 kg/m³ Pour 160 l d'eau

Enduit superficiel ou revêtement superficiel (RS) : 10/14, 6.3/10, 4/6.3

3. Dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement d'une chaussée neuve ou l'élargissement d'une voie fait intervenir :

- La vocation de la voie ;
- Le trafic poids lourds (PL) ;
- L'agressivité du trafic PL et le coefficient d'agressivité ;
- La durée de service ;
- Le classement géotechnique des sols naturels ;
- L'état hydrique du sol support sensible à l'eau ;
- L'indice de gel et la vérification au gel/dégel.

L'objectif premier des méthodes de dimensionnement des chaussées est de fixer les règles qualitatives et quantitatives permettant de choisir et concevoir le profil vertical des structures de chaussée, compte tenu des données des projets (durée de vie, trafic annuel, climat, contraintes de réalisation, etc.) et de la politique économique des maîtres d'ouvrage (investissement initial, budget d'entretien/renforcement)

- Paramètres de dimensionnement

✓ Trafic :

- Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. A chaque passage de véhicules, le poids des véhicules est transmis à la chaussée, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.
- Les poids lourds sont les seuls véhicules pris en considération pour décrire et quantifier le trafic dans les opérations de conception et de dimensionnement de la chaussée.
- Le trafic est caractérisé par les paramètres suivants :
 - ✓ **TMJA** (Trafic Moyen Journalier Annuel) : il est égal au trafic total de l'année, par sens de circulation, divisé par 365 ;
 - ✓ **NPL** : Nombre de poids lourds cumulé pendant la durée de service choisie .
 - ✓ **Ti** : classe de trafic déterminée par le TMJA et décomposée en dix classes (t7; t6; t5; t4; t3-; t3+; T3; T2; T1 et T0) ;

Les différentes classes de trafic :

Les classes de trafic sont définies par le trafic moyen journalier des Poids Lourds qui circulent sur la chaussée.

On obtient ainsi :

- Classe t7 : de 00 à 02 PL/j
- Classe t6 : de 03 à 10 PL/j
- Classe t5 : de 11 à 25 PL/j
- Classe t4 : de 26 à 50 PL/j
- Classe t3- : de 51 à 85 PL/j
- Classe t3+ : de 86 à 150 PL/j
- Classe T3 : de 51 à 150 PL/j
- Classe T2 : de 151 à 300 PL/j
- Classe T1 : de 301 à 750 PL/j
- Classe T0 : de 751 à 2 000 PL/j

Ces classes de trafic définissent deux grandes catégories de routes :

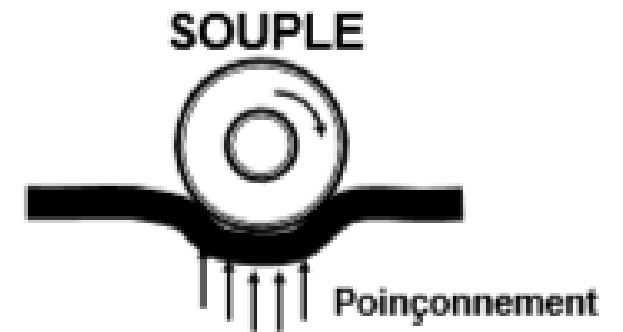
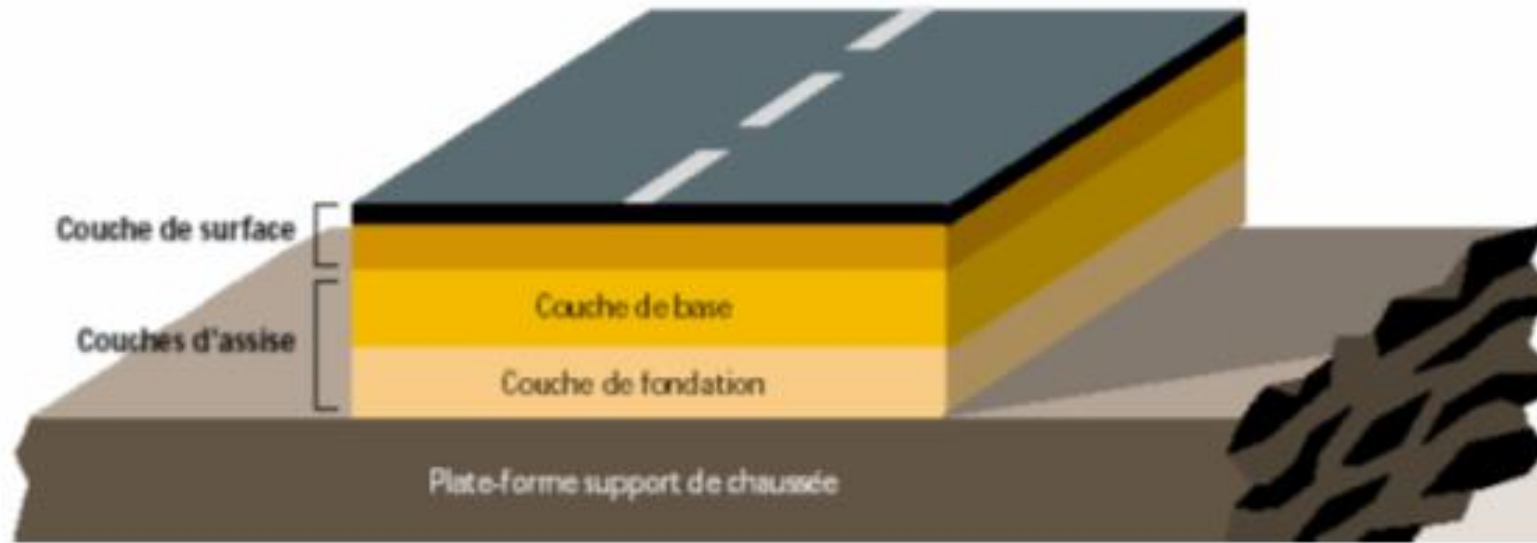
- Les **voiries à faible trafic** regroupant toutes les classes de t7 à t3+ ;
- Les **voiries à moyen et fort trafics** regroupant toutes les classes de T3 à T0.

- L'**état hydrique** du sol support et les **données climatiques** ont aussi une influence sur la résistance, la durabilité, la déformabilité des chaussées et de leur support.
- Le dimensionnement doit subir une vérification au gel/dégel en fonction de la localisation géographique du projet et son exposition aux rigueurs hivernales.
- Le dimensionnement de la chaussée dépend également de la classe de portance exigée au marché pour la plate-forme support.

- Les différents types de chaussées

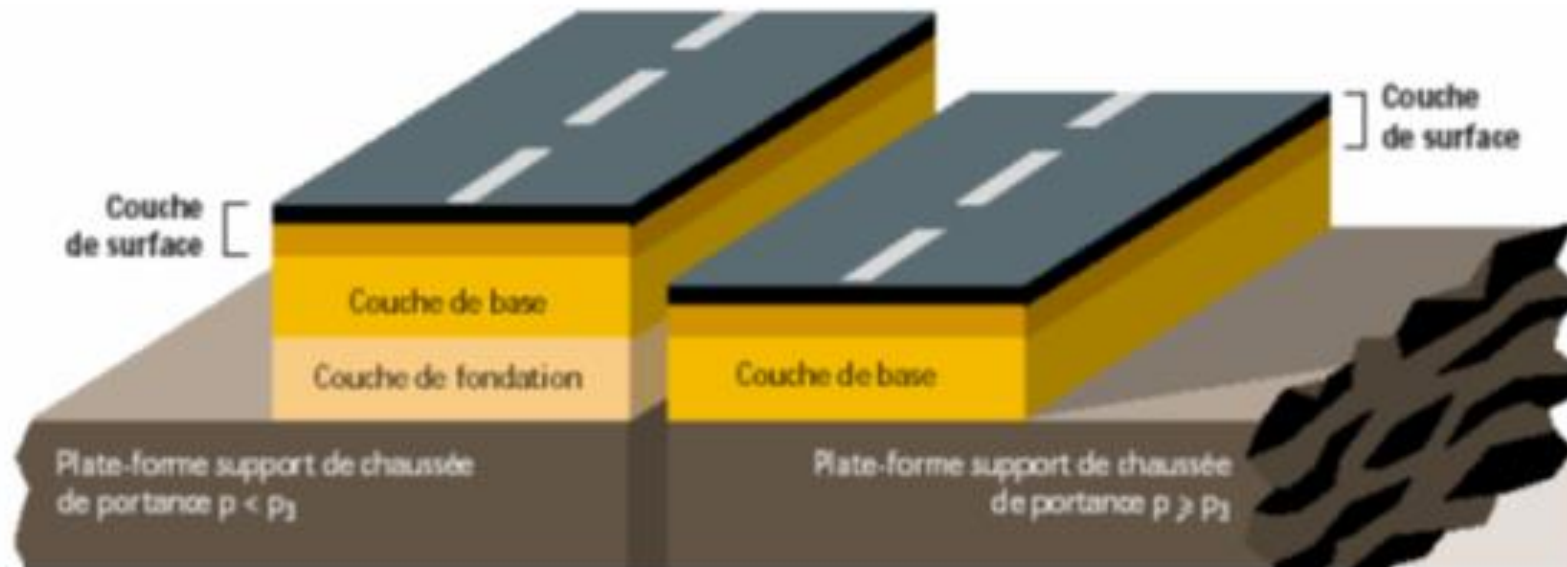
✓ Chaussées souples :

- C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent sont traitées aux liants hydrocarbonés.
- La couche de fondation et/ou la couche de base sont constituées par des matériaux non traités



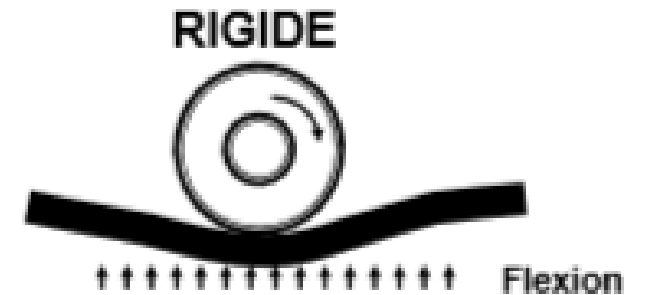
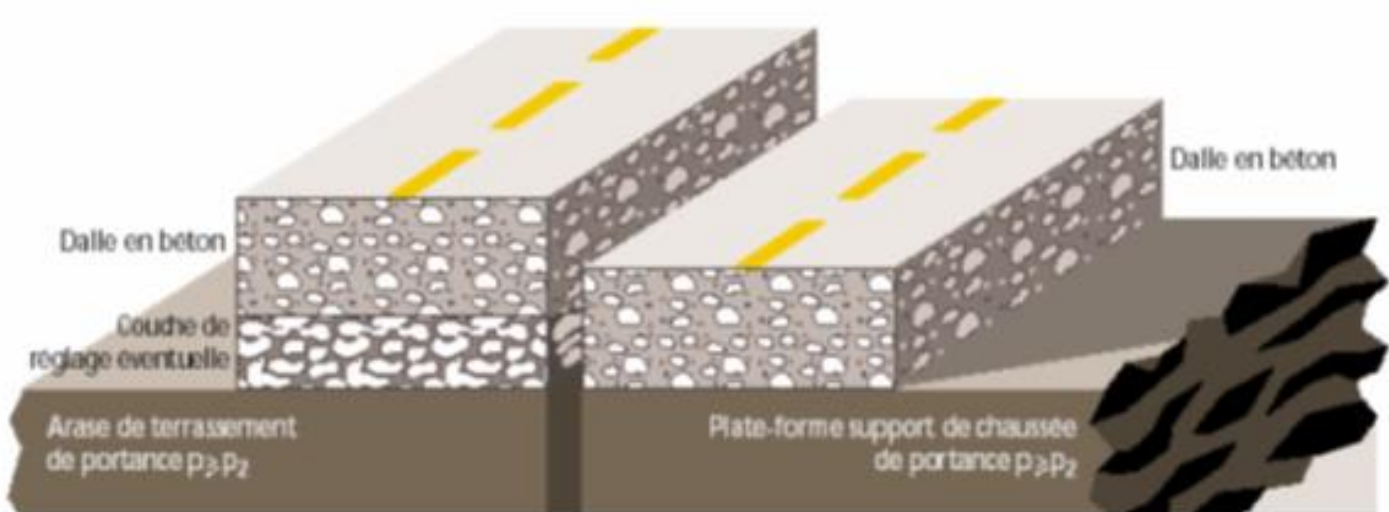
✓ **Chaussées semi-rigides :**

- Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation).

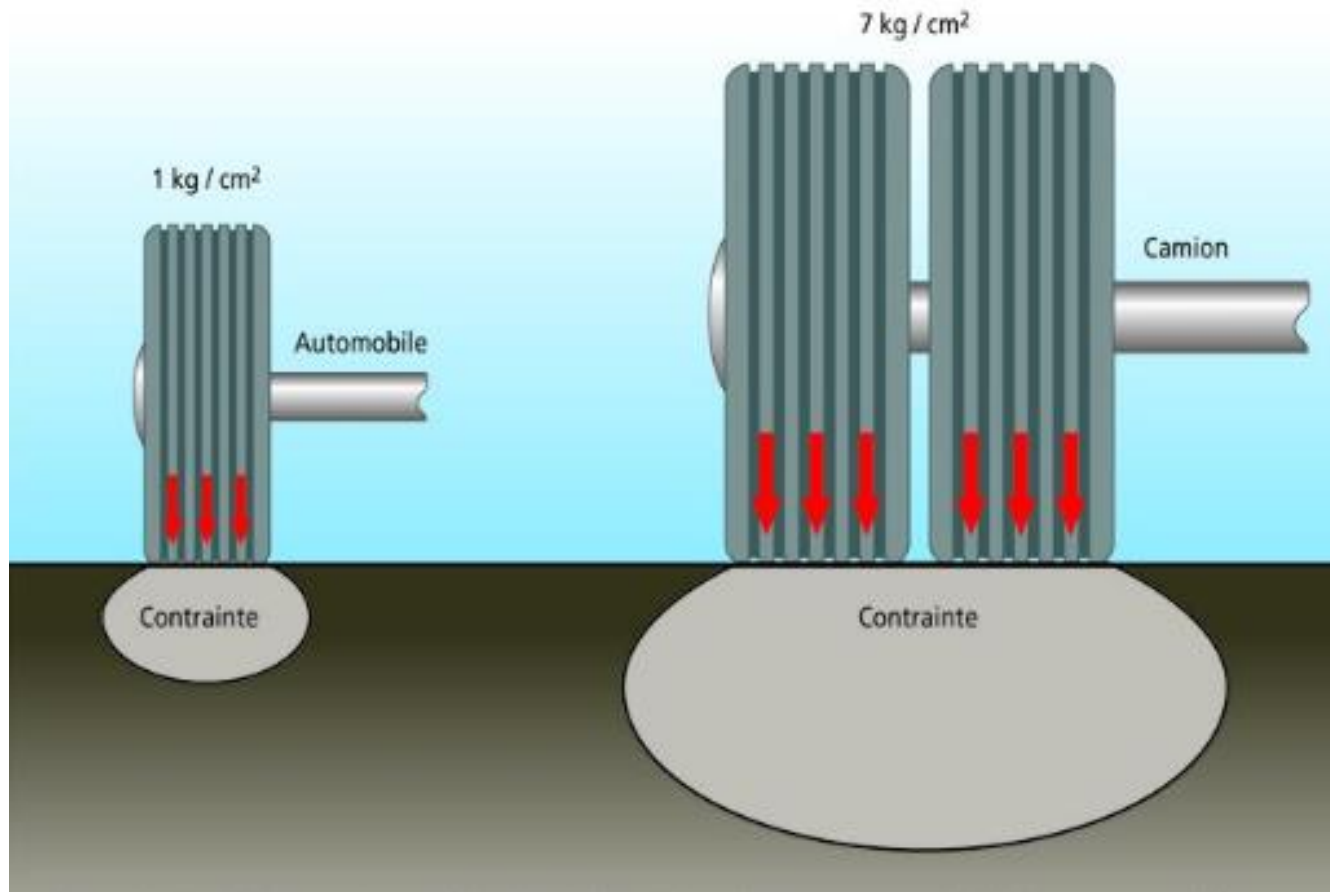


✓ Chaussées rigides :

- 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.



II-5. CARACTÉRISTIQUES DE CHAUSSÉES



Pour une automobile, la pression est de l'ordre de 0,1 MPa ;

Elle est de l'ordre de 0,7 MPa sous une roue de camion.

Les chaussées doivent remplir les conditions suivantes :

- Résistance suffisante aux déformations;
- Réalisation à l'aide de matériaux imperméables, résistant à la chaleur, au gel;
- Largeur permettant la circulation des véhicules dans les deux sens et éventuellement l'arrêt;
- Longue durée avec peu d'entretien.
- Hygiénique, insonore, non glissante...etc.

II-6. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE RESEAUX :

1. Types de circulation

On peut distinguer trois niveaux dans la séparation des circulations :

- **Circulation mêlée** dans laquelle les voitures particulières, les transports en commun circulent sur la même chaussée;
- **Circulation juxtaposée** dans laquelle chaque mode de transport circule sur un support spécifique dans une même emprise;
- **Circulation séparée** dans laquelle chaque mode de transport circule dans son emprise propre.

2. Types de la voirie

On distingue généralement trois niveaux de la voirie :

- **Voie primaire:**

la voie primaire traverse et structure la ville, notamment en reliant différents quartiers entre eux. Elle peut être assimilée à ce qu'on appelle, dans les transports, une artère, c'est-à-dire une voie de transit.

- **Voie secondaire:**

la voie secondaire traverse et structure un quartier ou une de ses parties. Elle peut être assimilée à ce que le domaine des transports appelle une collectrice, soit une voie qui sert à relier un quartier à une artère.

- **Voie tertiaire:**

la voie tertiaire sert uniquement à desservir les bâtiments qui la bordent. En transport, elle peut être assimilée à une voie d'accès.

3. Caractéristiques des réseaux

- Le réseau primaire

Il a pour principale mission d'assurer les fonctions à l'échelle de la ville :

- Vitesse : 60-80-100-120 Km/h
- Largeur des voies : 7,00 m - 10,5 m - 14 m
- Chaussée généralement revêtue
- Capacité de la voie : fonction des caractéristiques géométriques
- Circulation séparée ou juxtaposée
- Débit : 1600 UVP/h

Le réseau secondaire

C'est un réseau intermédiaire, dont les services rendus sont à l'échelle de la zone, du quartier :

- Vitesse..... : 40 - 60 Km/h
- Largeur..... : 7,00 m
- Chaussée revêtue
- Capacité : liée aux conditions d'exploitation de l'environnement
- Débit maxi : 1200 UVP/h
- Circulation juxtaposée ou mêlée

Le réseau tertiaire

- Vitesse : 10 - 40 Km/h
- Largeur..... : 5.00 à 6,00 m
- Circulation automobile faible
- Chaussée généralement revêtue en pavés ou non
- Circulation juxtaposée ou mêlée

II-7. CONCEPTION DE LA VOIRIE

- Débit

C'est le nombre de véhicules par unité de temps :

$$Q = \frac{\text{Nbre véhicules}}{\text{Unité temps}} = \frac{\text{UVP}}{\text{Temps}}$$

Avec : **1 voiture particulière = 1 UVP**

1 poids lourd = 2 UVP

1 ensemble articulé = 3 UVP

- La capacité

- La capacité est le nombre maximal de véhicules qui peuvent raisonnablement passer par une voie ou dans une direction avec des caractéristiques géométriques qui lui sont propres, durant une période de temps déterminée.
- Elle dépend des caractéristiques géométriques et de la répartition du trafic à l'heure de pointe par sens de circulation.

- Vitesse de base

- C'est la vitesse à laquelle un véhicule peut circuler sans contrainte sur la voie. Elle permet de fixer les caractéristiques d'une voie.

CATEGORIES	VITESSE DE BASE	CAPACITE
Voirie primaire	80 -100 Km/h	1600 UVP/h
Voirie secondaire	60 Km/h	1200 UVP/h
Voirie tertiaire	40 Km/h	-

- Caractéristiques géométriques

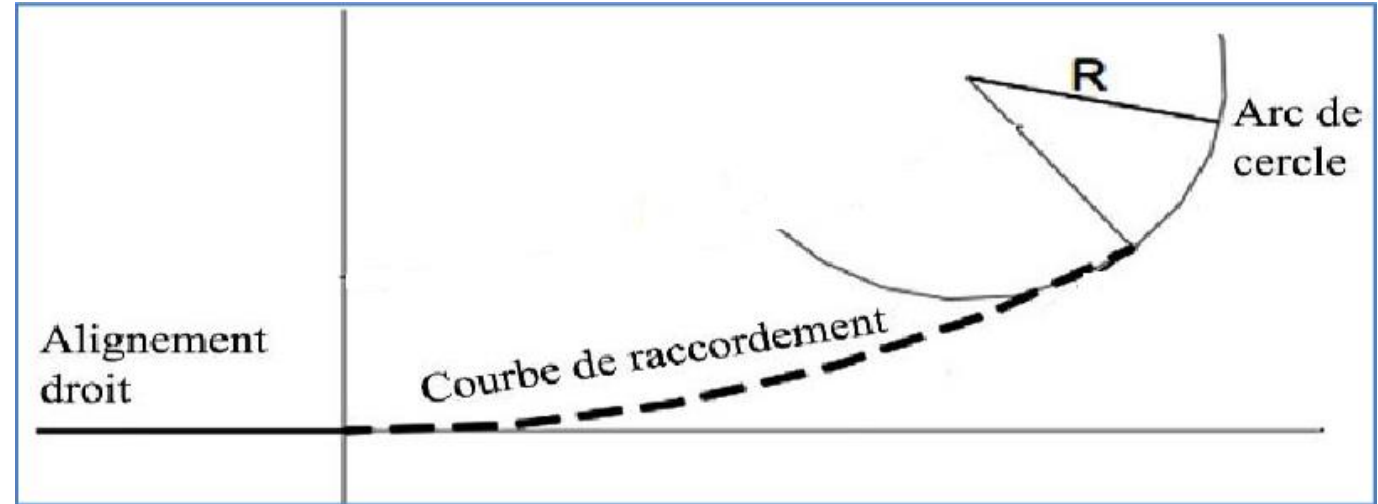
Une route se définit dans les trois dimensions par :

- **Le tracé en plan**
- **Le profil en long**
- **Le profil en travers**

1- Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée.

C'est une succession de droites, de raccordements circulaires (arcs de cercle) et de raccordements progressifs (arcs de clothoïdes)



Alignements droits :

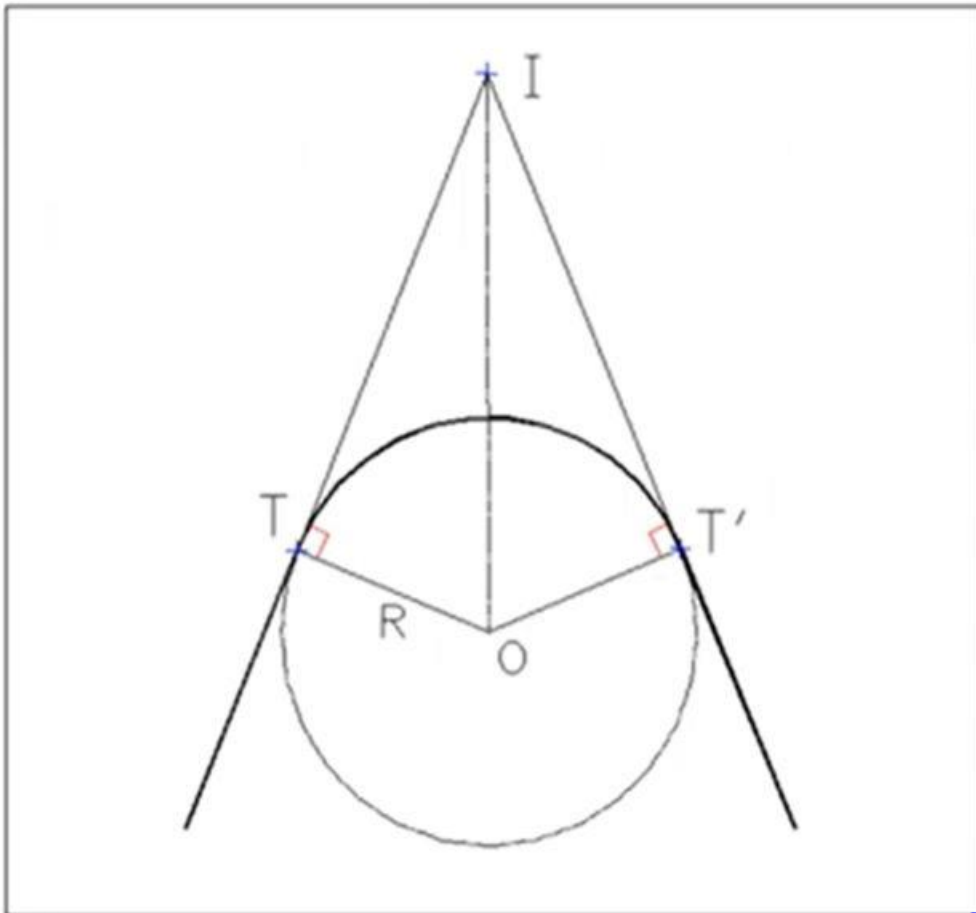
Les alignements droits sont définis par la disposition générale du tracé. Permettent, pour des raisons de sécurité, d'éviter la monotonie source d'accidents et l'éblouissement par les phares.

Il est nécessaire de :

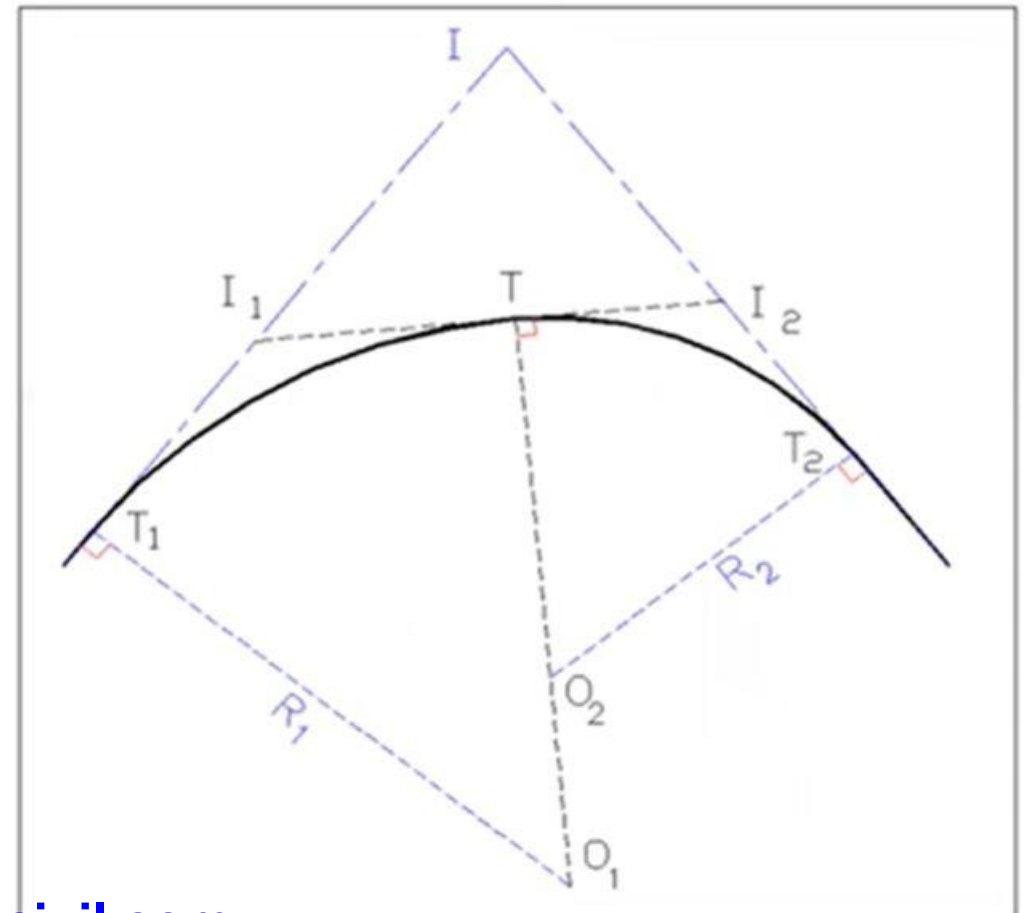
- Permettre l'introduction progressive du dévers;
- Ne pas imposer une variation trop rapide de la sollicitation transversale;
- Respecter la distance minimale entre deux courbes (c'est égale à la distance parcourue pendant 5 secondes par un véhicule roulant à la vitesse maximale permise).

Raccordements circulaires

Simple

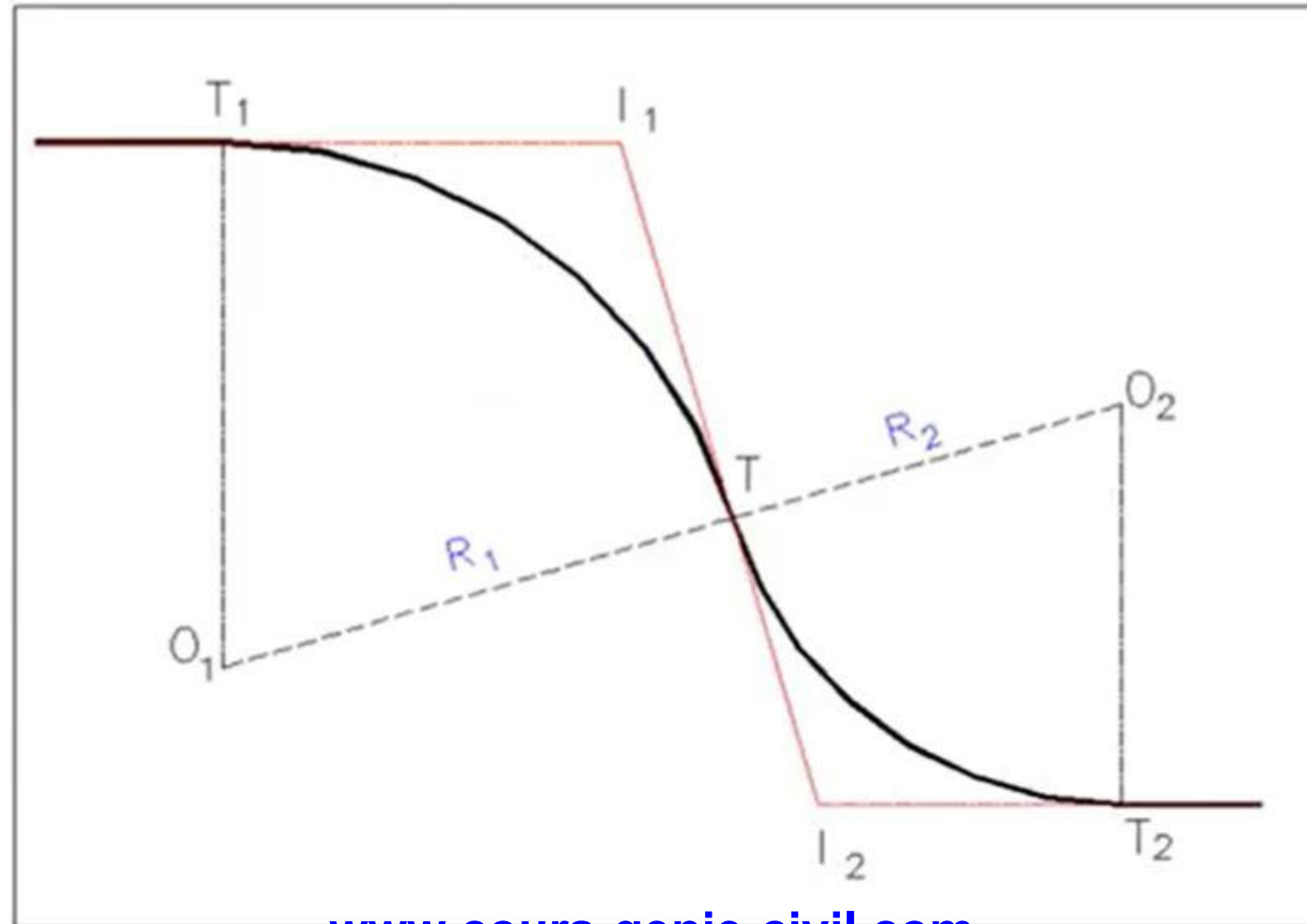


Double



Raccordements circulaires

Double à inflexion



Courbes de raccordement :

Il faut penser :

- Aux problèmes de stabilité dus à l'accélération centrifuge (pour les voies rapides). La stabilité est obtenue en agissant sur le rayon de la courbe et la pente de la chaussée dans les virages;
- Au passage des véhicules longs et même larges;
- Aux problèmes de visibilité dans les virages;

La distance de visibilité, en fonction de la vitesse de base, est définie par :

$$D_v = 2 D_f$$

$$D_f = 0,4 V + 0,01 V^2$$

Avec : D_f : la distance de freinage

V : la vitesse de base (Km/h)

Distance de freinage :

Cette distance est fonction de l'attention du conducteur, selon qu'elle soit **concentrée** ou **diffusée**.

En effet, le temps « t_1 » nécessaire de réflexe d'une attention **diffusée** est plus importante que le temps « t_2 » celui d'une attention **concentrée**.

$$t_1 = 2 t_2$$

Donc pour un véhicule roulant à une vitesse de base V , la **distance d'un arrêt** nécessaire est :

$$D_f = V/5 + V^2/100 \quad \text{pour une attention concentrée}$$

$$D_f = 2(V/5) + V^2/100 \quad \text{pour une attention diffusée}$$

Avec : $V^2/100$: Correspond à la distance nécessaire pour l'arrêt du véhicule. Pendant l'opération du freinage.

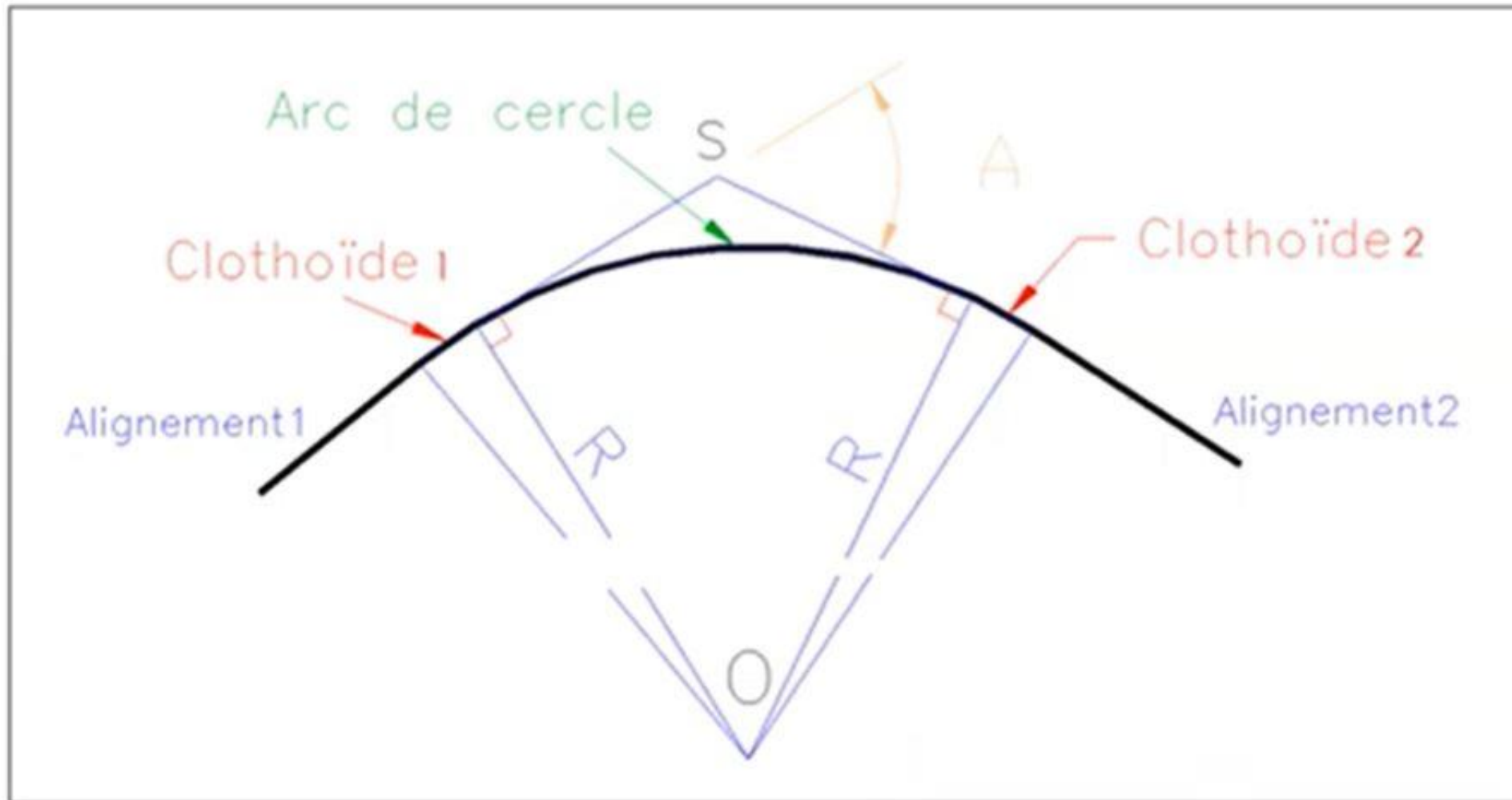
$V/5$ et $2 V/5$: Correspond à la distance parcourue par le véhicule pendant la réflexion du conducteur au freinage, avec une attention concentrée et une attention diffusée.

Norme : $D_f = 15m$ pour une attention concentrée

$D_f = 21m$ pour une attention diffusée

Raccordements progressifs

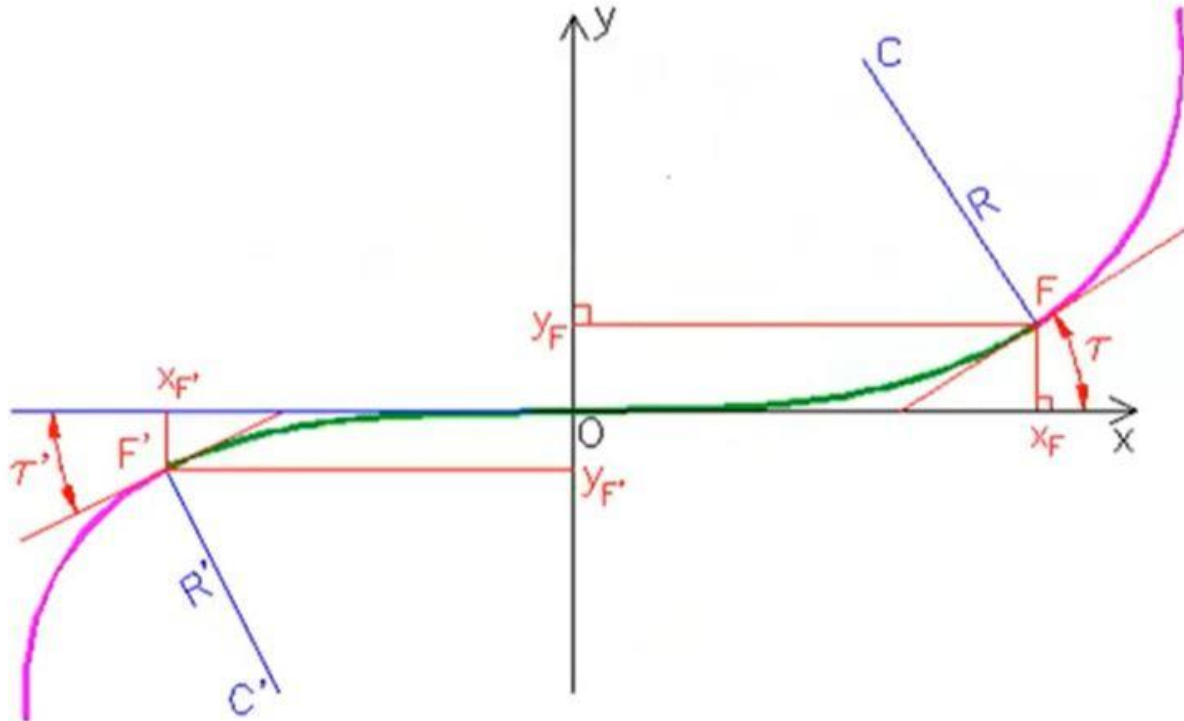
Clothoïde - Cercle - Clothoïde



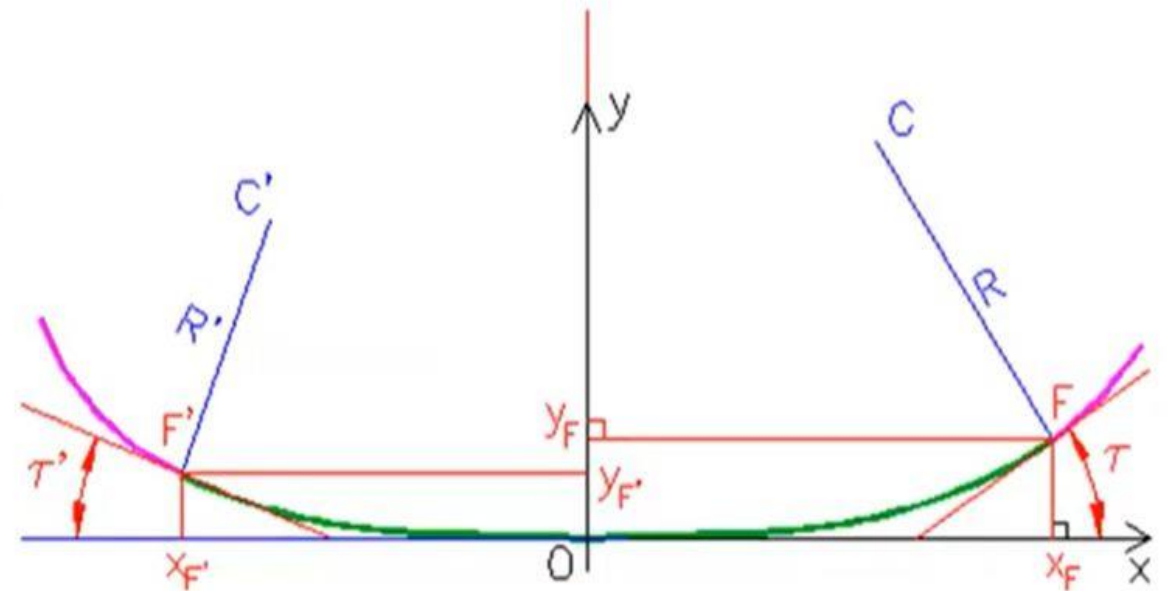
Raccordements progressifs

Cercle - Clothoïde - Cercle

Courbe en "S"

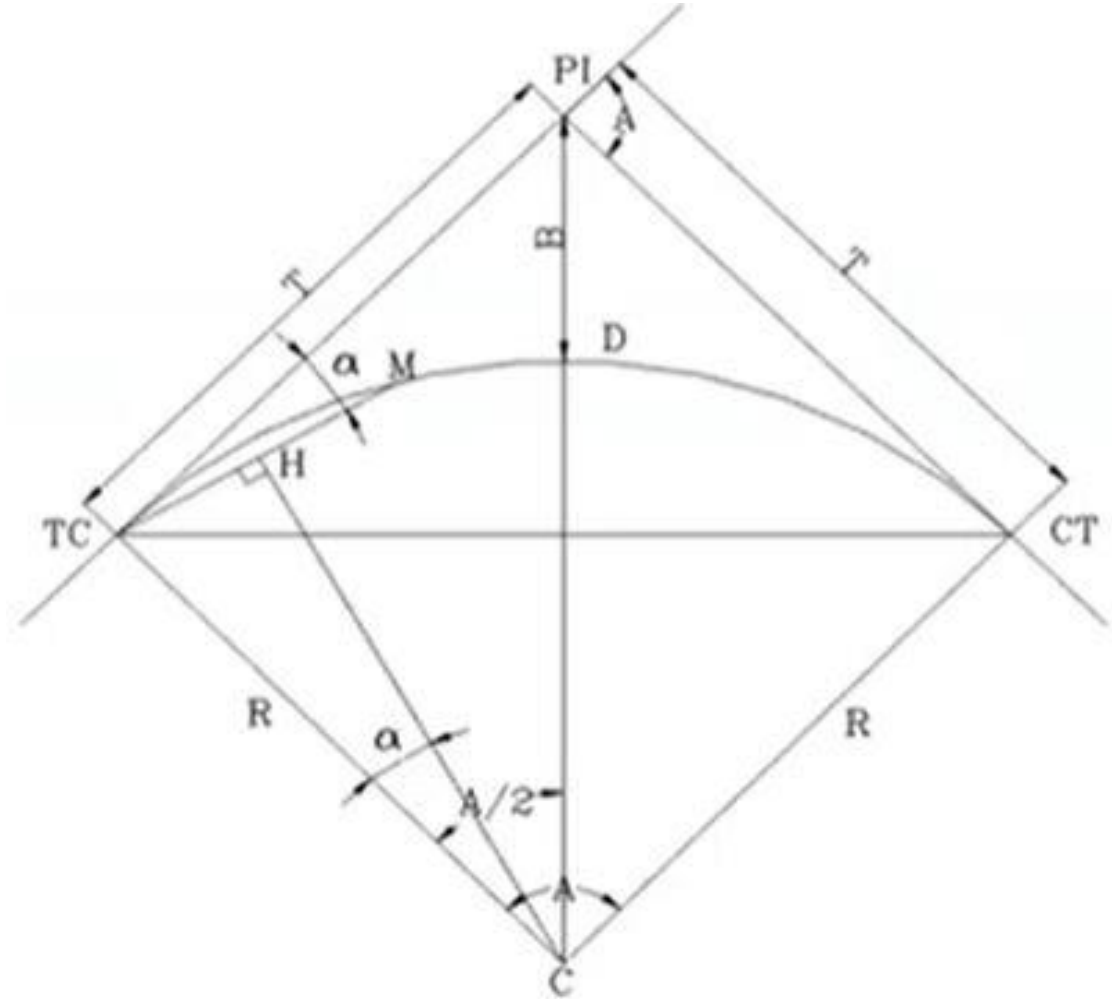


Courbe en "C"



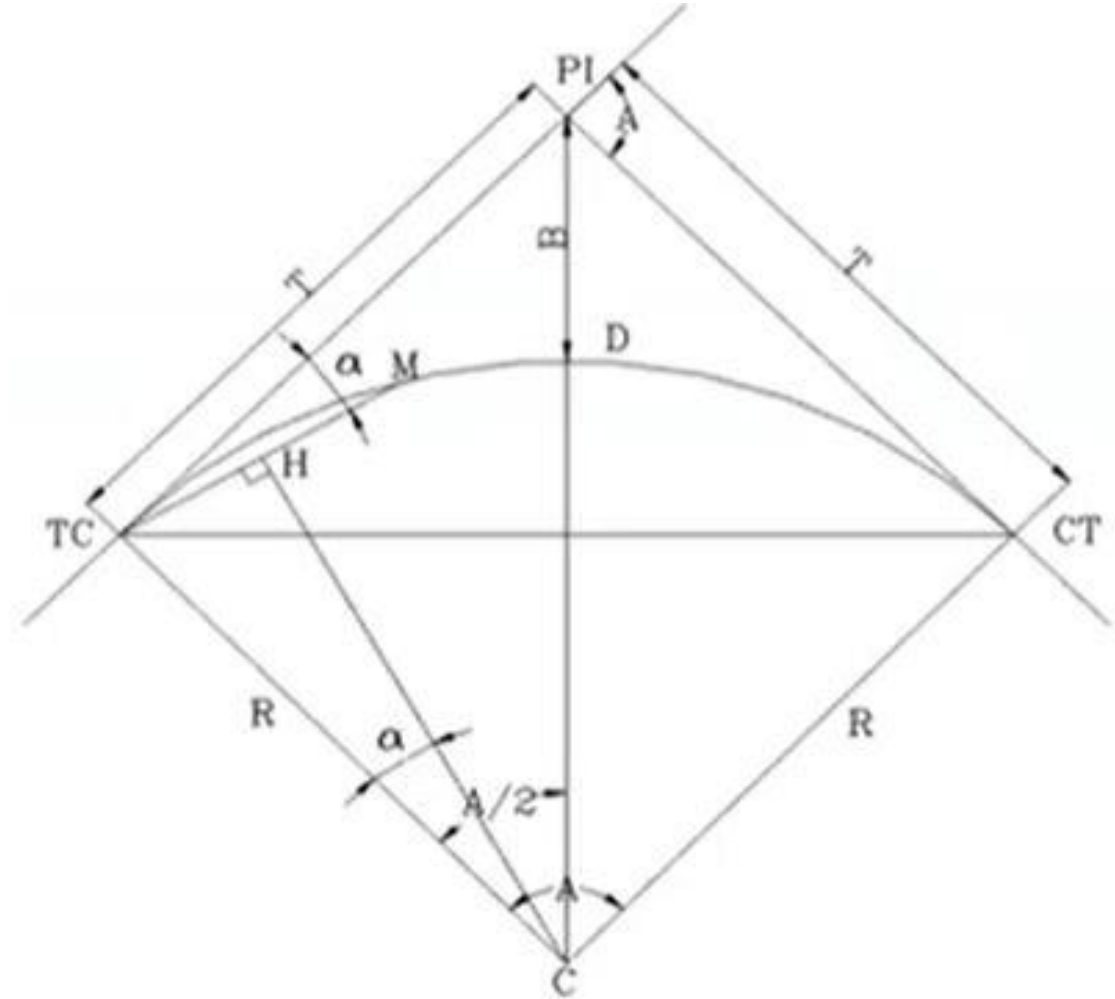
Terminologie :

- **Tangente “ T ”** : c’est la distance sur les deux alignements de part et d’autre du sommet (intersection des 2 alignements) sur laquelle on doit effectuer le raccordement.
- **Angle au sommet “ A’ ”** : C’est l’angle que forme les deux alignements au point d’intersection.
- **Angle au sommet “ A ”** : C’est l’angle formé par l’intersection de deux rayons du même raccordement tracés à partir des points tangence (A, B). Perpendiculairement.
- **Développée “ D ”** : c’est de la longueur totale mesurée sur la corde du raccordement.
- **Longueur du raccordement “ L ”** : C’est la projection sur l’axe horizontal de la longueur total de raccordement mesurée sur les deux a alignement.
- **Bissectrice “ B ”** : c’est la distance entre le point d’intersection des deux alignements droits et l’arc de cercle,



En fonction de R et A

- **Tangente : $T = R \operatorname{tg}(A/2)$**
- **Développée : $D = R A_{\text{rad}}$**
- **Bissectrice : $B = R ((1 / \operatorname{Cos}(A/2)) - 1)$**
- **Corde TC.CT : $L = 2 R \operatorname{Sin}(A/2)$**



Exemple :

$$R = 150 \text{ m}$$

$$A = 140 \text{ gr}$$

Réponse :

$$T = 294,392 \text{ m}$$

$$B = 180,403 \text{ m}$$

$$D = 329,867 \text{ m}$$

$$C_t = 267,302 \text{ m}$$

Tracé en plan

Tracé en plan en 3D



Future route 112

Route 112

enie-civil.com

2- Profil en long

Le profil en long d'une route est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive, donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe routier en fonction de l'abscisse curviligne.

Le but principal du profil en long est d'assurer pour le conducteur une continuité dans l'espace de la route afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers.

Le profil en long doit :

- Suivre le TN si les conditions de circulation sont remplies
- Prévoir les remblais en points bas, les déblais en points hauts
- Prévoir l'écoulement des eaux de ruissellement
- Eviter les pentes inférieures à 0,5 % (sinon autocurage non assuré)
- Varier la déclivité ou le dévers de 4 à 8 %

Le profil en long suivra, dans la mesure du possible, le terrain naturel. Dans le cas contraire, la route sera en remblai (au-dessus du terrain naturel) ou en déblai (en dessous du terrain naturel).

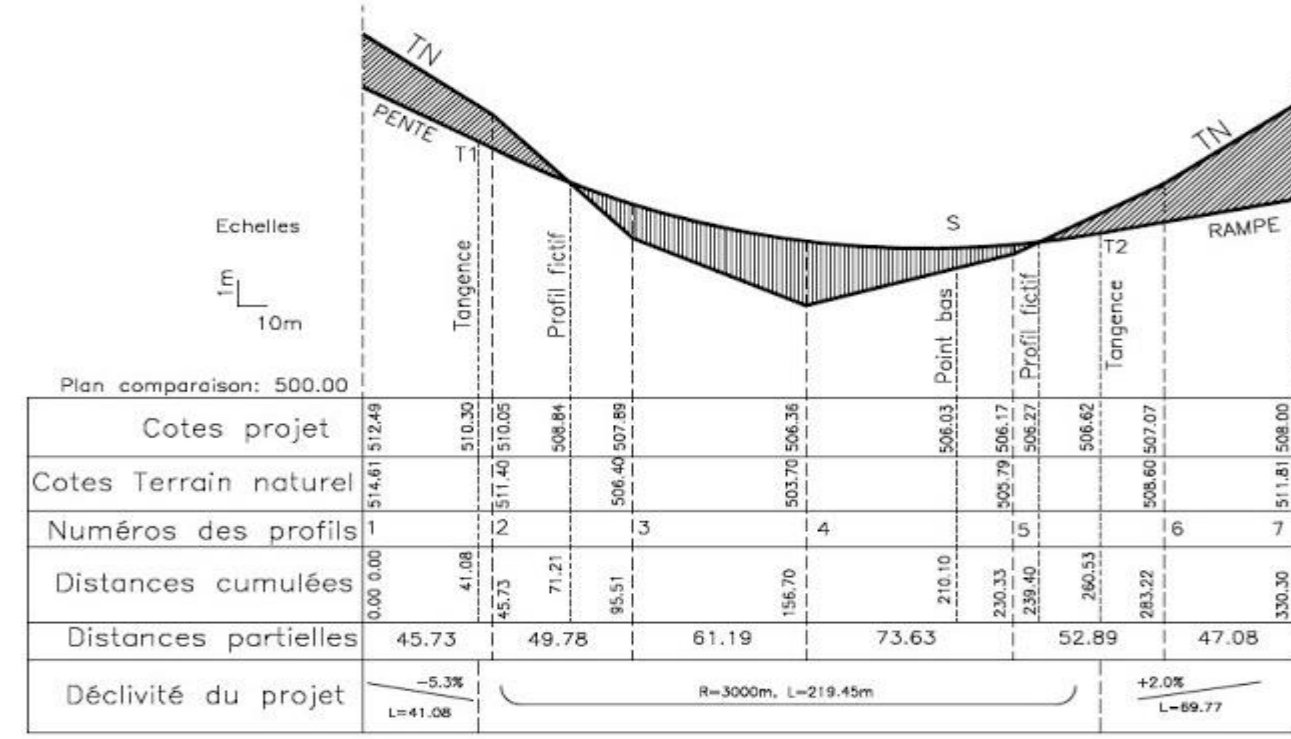


Schéma d'un profil en long

Pour les voies urbaines, le profil en long est souvent soumis à des contraintes plus sévères. Il doit assurer :

- ✓ **Ecoulement des eaux** : Le profil en long des fossés et caniveaux est lié à celui de la route. Il faut éviter les pentes inférieures à 0,5 %

✓ Déclivités :

La déclivité est donnée généralement en %

Selon la catégorie des voies, on peut admettre des pentes de 4 à 8%.

En site urbain, on ne doit pas dépasser ce maximum, sauf en relief difficile, on peut tolérer des pentes de 10 %

- Si d est négative → une pente
- Si d est positive → une rampe
- Si d est nulle → un palier

✓ **Raccordement en angle saillant :**

- En point haut, le rayon de raccordement est fonction de la visibilité et le rayon minimal est tel que $R = 0,1 Dv^2$ (Dv étant la distance de visibilité).
- Pour une chaussée unidirectionnelle, le rayon minimal est compris entre 500 et 1200 m.
- Pour une chaussée bidirectionnelle, ce rayon varie entre 2 500 et 2 800 m.

✓ **Raccordement en angle rentrant :**

- En point bas, ce rayon est lié à une condition de confort et de stabilité. Le rayon minimal est tel que $R = 0,3V^2$ (V étant la vitesse de base en Km/h).
- Pour des vitesses de 40 à 80 Km/h, le rayon minimal sera compris entre 700 et 2 200 m.



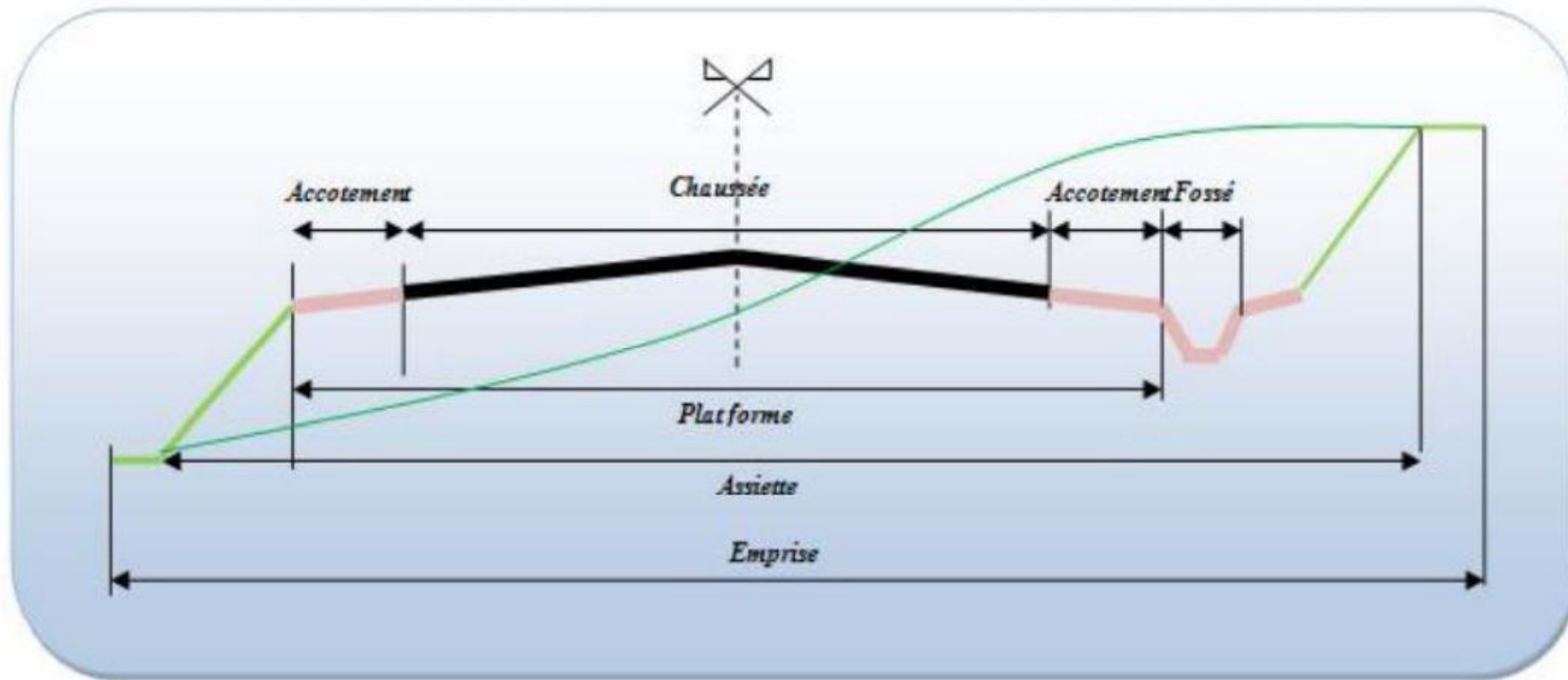
3- Profil en travers

Le profil en travers d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route par l'ensemble des points représentatifs de la surface définie.

Le profil en travers indique les détails sur :

- L'emprise
 - L'assiette
 - La plateforme
 - Les fossés ou caniveaux
 - Les accotements ou trottoirs
 - La chaussée
 - Le terre-plein central
 - Les caractéristiques des remblais ou déblais

- On distingue entre :
 - Le profil en travers type
 - Le profil en travers terrain naturel
 - La superposition des deux profils précédents



Superposition PT type et PT terrain naturel

ROUTE EN DEBLAI



ROUTE EN REMBLAI



ROUTE EN PROFIL MIXTE DEBLAI-REMBLAI

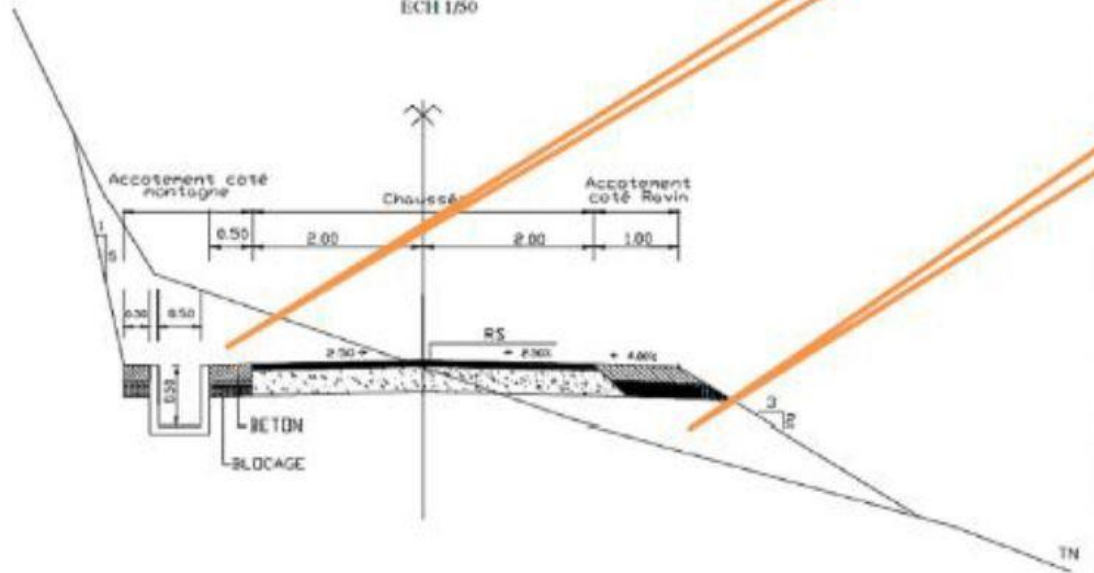
DEBLAI

REMBLAI

*Superposition profil en travers
type et profil en travers terrain
naturel*

SECTION AVEC FLANC DE MONTAGNE

ECH 1/50



La composition du profil en travers dépend de l'emprise disponible et des usages projetés :

✓La largeur des trottoirs dépend :

- du débit piétonnier à écouler;
- de la signalisation et du mobilier urbain à implanter (espace vert, éclairage, abris bus, etc.)

La largeur minimale des trottoirs sera :

- de **1,5 à 2,00 m** : largeur permettant le croisement de 2 personnes chargées
- de **2,50 m** : Si il doit supporter une signalisation ou des luminaires
- de **5,00 m** : s'il y a une rangée d'arbres

✓ **Passages piétons** : Tous les 100 m

✓ **Chaussées** : c'est la partie où doit s'effectuer la circulation, une chaussée ordinaire peut être à :

- 1 voie (sens unique)
- 2 voies (double sens)
- 3 voies ou à 2x2 voies

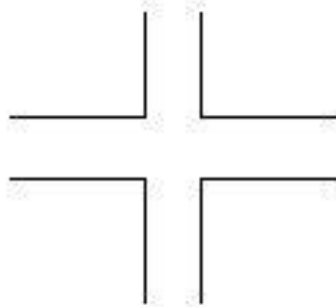
La largeur minimale d'une voie élémentaire est la suivante :

- 2,50 à 2,75 m : voie de desserte
- 3,00 à 3,50 m : voie à trafic moyen (500 à 1 000 véh/h)
- 3,50 à 4,00 m : voie à trafic important (1 000 à 1 500 véh/h)
- 4,00 m : si le trafic de poids lourds est important

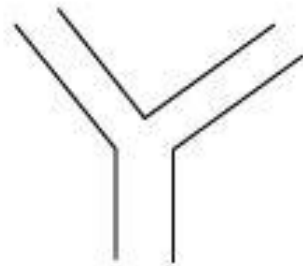
Au delà de 2x2 voies, il est préférable de séparer les deux chaussées au moyen d'un TPC.

- Carrefours et Échangeurs

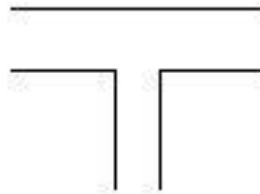
- Les carrefours ou échangeurs sont des points de rencontre de deux ou plusieurs voies.
- Ils peuvent être en croix, en Y, en T ou en étoiles ou giratoires et visent à limiter le nombre de conflits entre les véhicules.
- L'aménagement des carrefours vise à réduire le nombre de points de conflits entre les courants de circulation, ou tout au moins à améliorer la sécurité et la fluidité de la circulation.



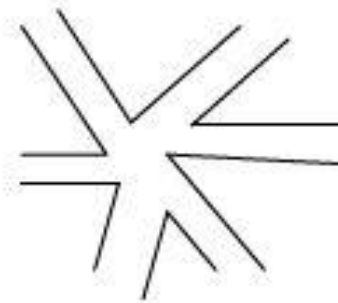
« Croix »



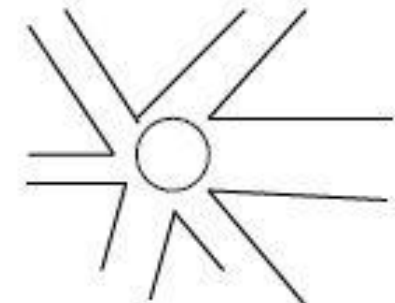
« Y »



« T »



« Etoile » »



« Giratoire »

- Stationnement

Une bonne conception d'un réseau de voirie ne se limite pas uniquement à une fluidité satisfaisante de la circulation, aussi il faut résoudre le problème de stationnement.

A cet effet, une partie de l'espace collectif doit être aménagé pour les besoins de stationnement.

Afin de parvenir à des solutions rationnelles et économiques du problème de stationnement dans son ensemble, il faut examiner certaines données techniques de ce problème a s'avoir :

- Motif de stationnement
- Demande de stationnement
- Offre de stationnement

Motif de stationnement :

✓ Stationnement logement :

Ceci est caractérisé par une durée longue, en général, ce stationnement est assuré en dehors des voiries de circulation.

✓ Stationnement travail :

Ce stationnement est également de longue durée sauf les zones industriels modernes, ou est assuré par l'employeurs, ce stationnement se répercute sur plusieurs voies au alentours des établissements.

✓ Stationnement affaire :

Contrairement aux deux premiers, ce stationnement est de courte durée, il est de l'ordre de $\frac{1}{4}$ heure à 1 heure.

Demande de stationnement :

Parmi les méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la demande, on trouve : les procédés statistiques et les enquêtes, qui sont fonctions de certains paramètres. On distingue :

- La population totale de la zone urbanisée.
- Le taux de motorisation de la zone considérée.
- Le taux des véhicules en heure de pointe.

La demande de stationnement selon les besoins des endroits considéré :

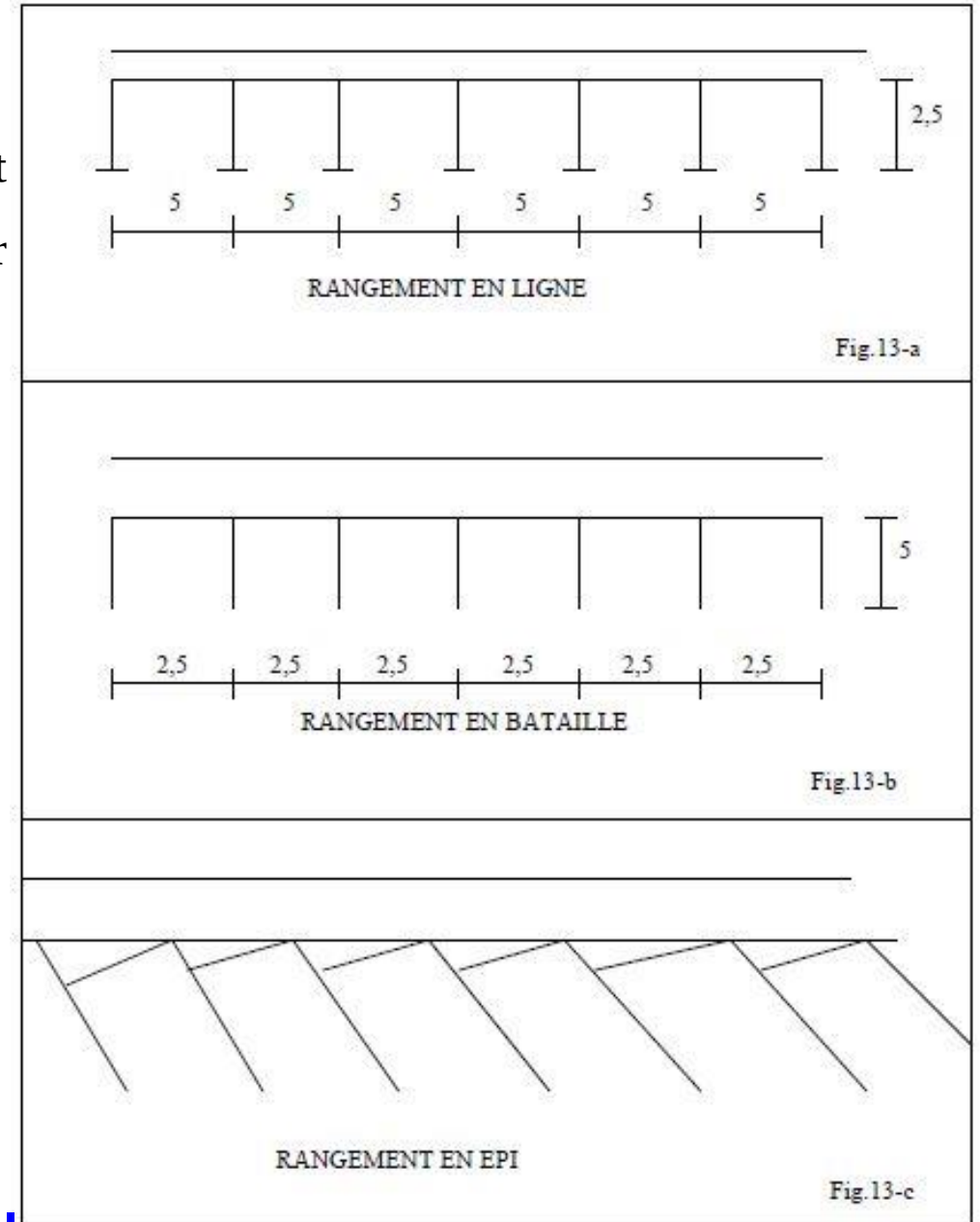
- Habitation1 à 2 places
- Bureaux1 place /20 m² (Place /4 employés)
- Centre commerciale1 place /50 m²
- Hôtel1 place /5 chambres.
- Hôpital1 place / 5 lit.
- Cinéma1 place / 10 spectateurs.
- Restaurant1 place / 10 clients.

Offre de stationnement :

Le stationnement de véhicule est organisé sur des bandes prévues à cet effet ces bandes sont aménagées, soit sur la voie de circulation, soit sur voie latérale.

Les dimensions minimales d'une bande de stationnement sont fixées à :
2,5 m de largeur et 5 m de longueur.

La disposition la plus économique en terme de surface est le rangement en bataille car cette disposition offre plus de place et peut de surface en outre, elle est plus pratique aux manœuvres de stationnement.



- Enduit superficiel routier

Dans le domaine routier, l'enduit superficiel d'usure est une couche de roulement réalisée en place et constituée de couches de liant hydrocarboné et de granulats répandues successivement.

1- Rôle

L'enduit superficiel est un procédé d'entretien consistant à répandre un liant et des gravillons sur la surface de la chaussée pour :

- **Protéger la route**, en assurant une bonne imperméabilité superficielle, éviter la pénétration de l'eau de ruissellement dans les assises de chaussée (Cette partie est assurée par le **liant**)
- **Protéger l'utilisateur**, en procurant à la chaussée une rugosité qui garantira la bonne adhérence des pneumatiques des véhicules (Cette partie est assurée par les **gravillons**)

2- Structure

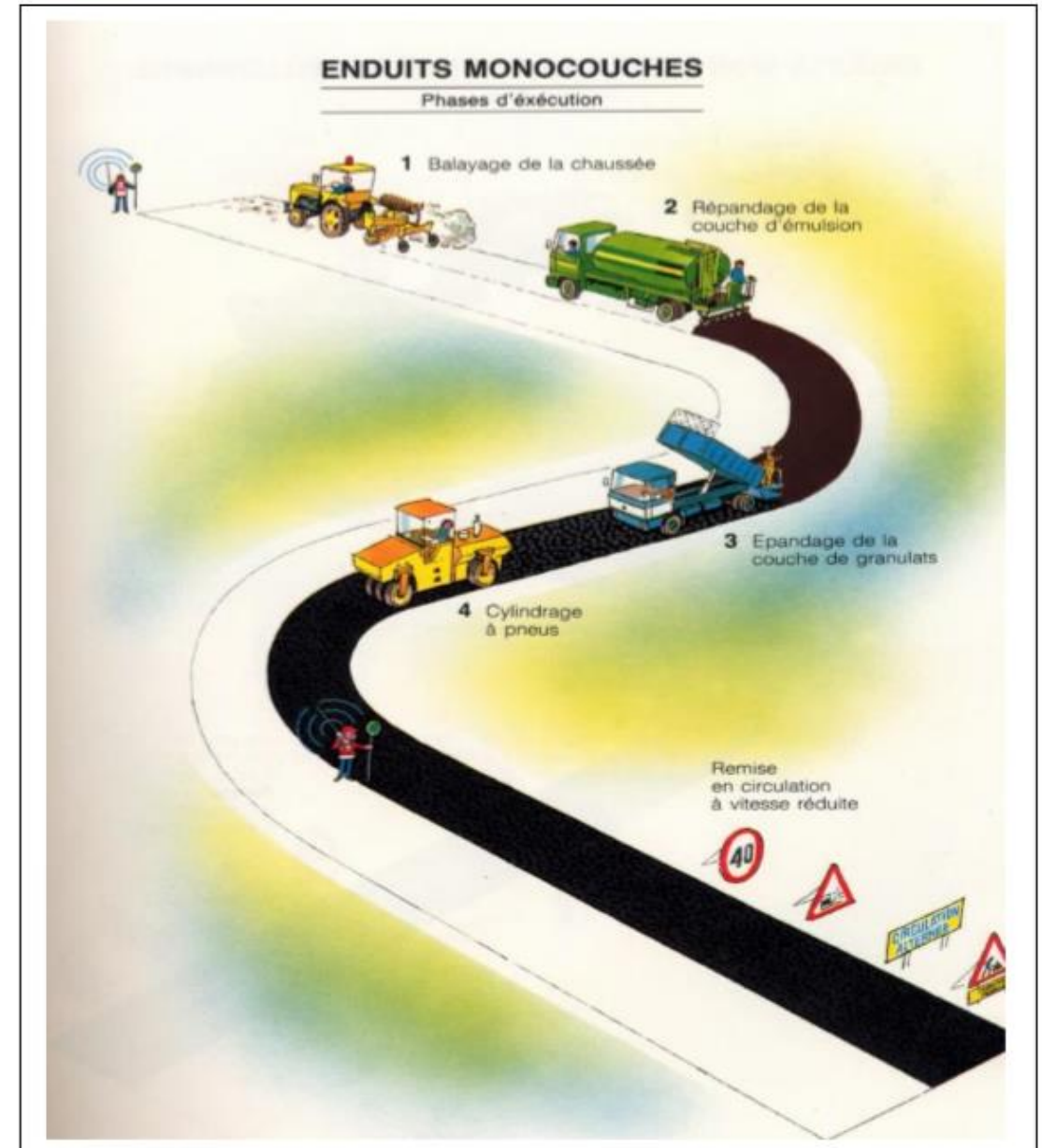
On distingue 4 types de structure d'enduits dont les coûts unitaires croissent en fonction de leur complexité et du nombre de couches:

✓ **Monocouches simple gravillonnage (MSG) :**

Liant – granulat

Les monocouches sont réservées aux chaussées à faible trafic

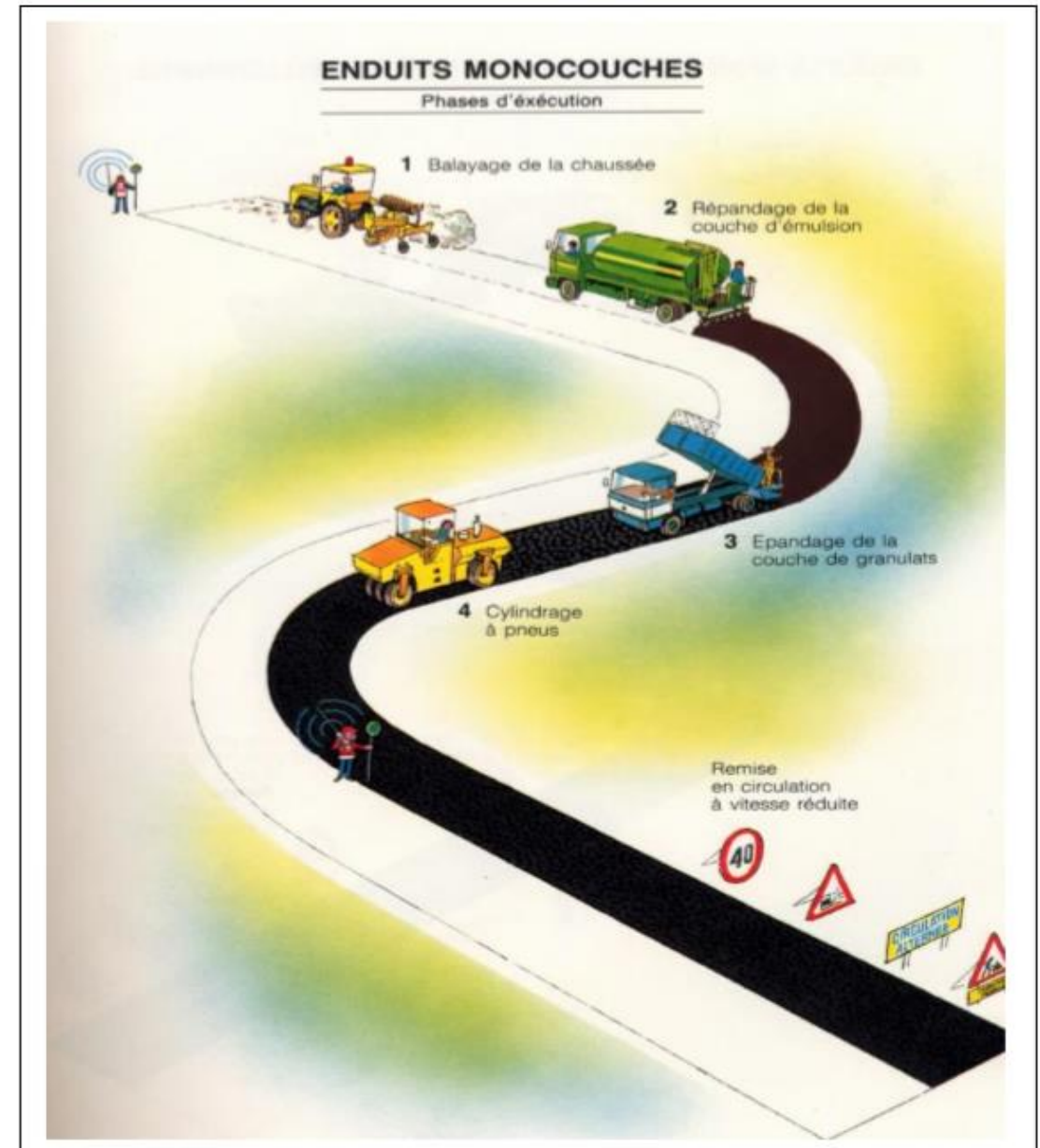
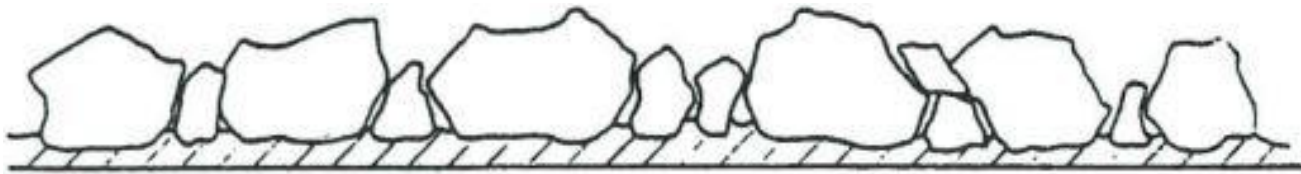
- 1 couche de liant
- 1 couche de granulats



✓ **Monocouches double gravillonnage (MDG) :**

Liant – granulat – granulat

- 1 couche de liant
- 1 première grille de granulats
- 1 deuxième grille de granulats plus petits

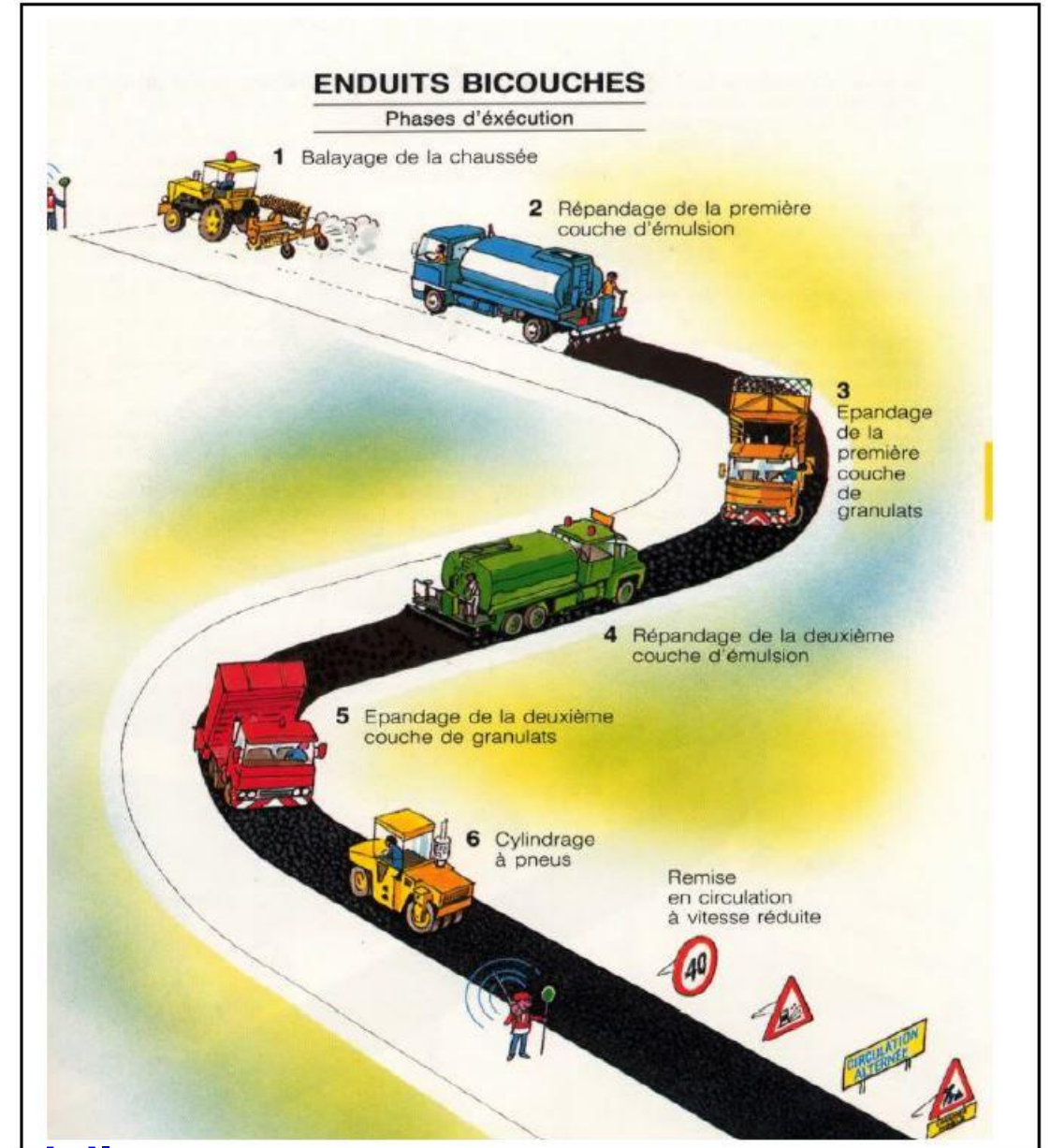
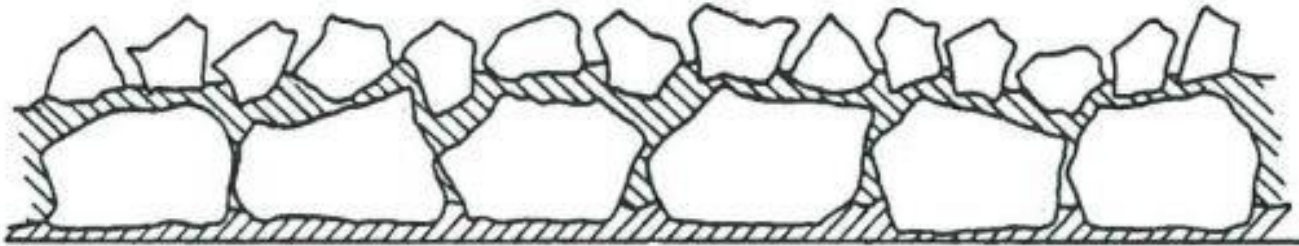


✓ Bicouche (BIC) :

Liant – granulat - liant – granulat

Les bicouches s'emploient lors de la recherche de solidité et d'imperméabilité.

- 1 couche de liant
- 1 première grille de granulats
- 1 couche de liant
- 1 deuxième grille de granulats plus petits

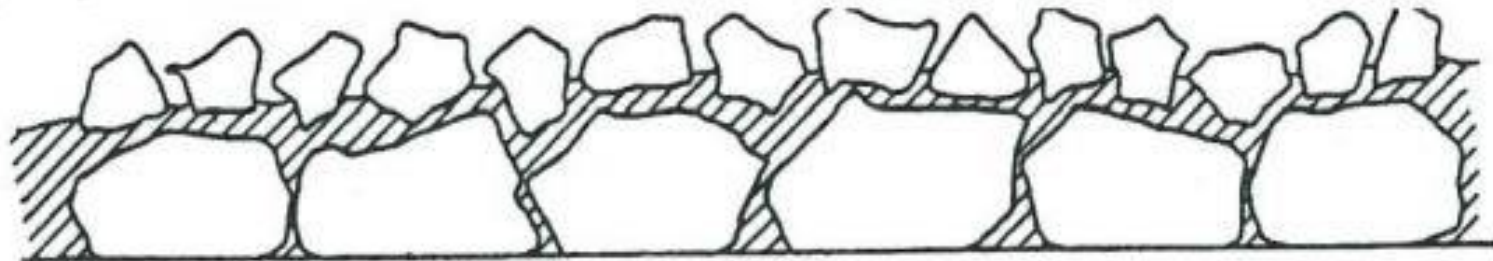


✓ **Sandwich :**

Granulat - liant –granulat

Les enduits « sandwich » présentent les avantages de l'enduit monocouche (économie de liant), la solidité de la bicouche (une couche de liant en moins).

- 1 couche de liant
- 1 première grille de granulats
- 1 deuxième grille de granulats plus petits



1- Balayage de la chaussée :

- Balayeuse tractée
- Balayeuse semi-portée
- Balayeuse automotrice



2- Le répandage du liant :

Les répandeuses sont constitués essentiellement :

- Véhicule porteur,
- Citerne de 6 à 12 de capacité,
- Dispositif de transfert de liant,
- Appareils de contrôle.



3- L'épandage gravillons :

- Gravillonneurs portés
- Gravillonneurs automoteurs

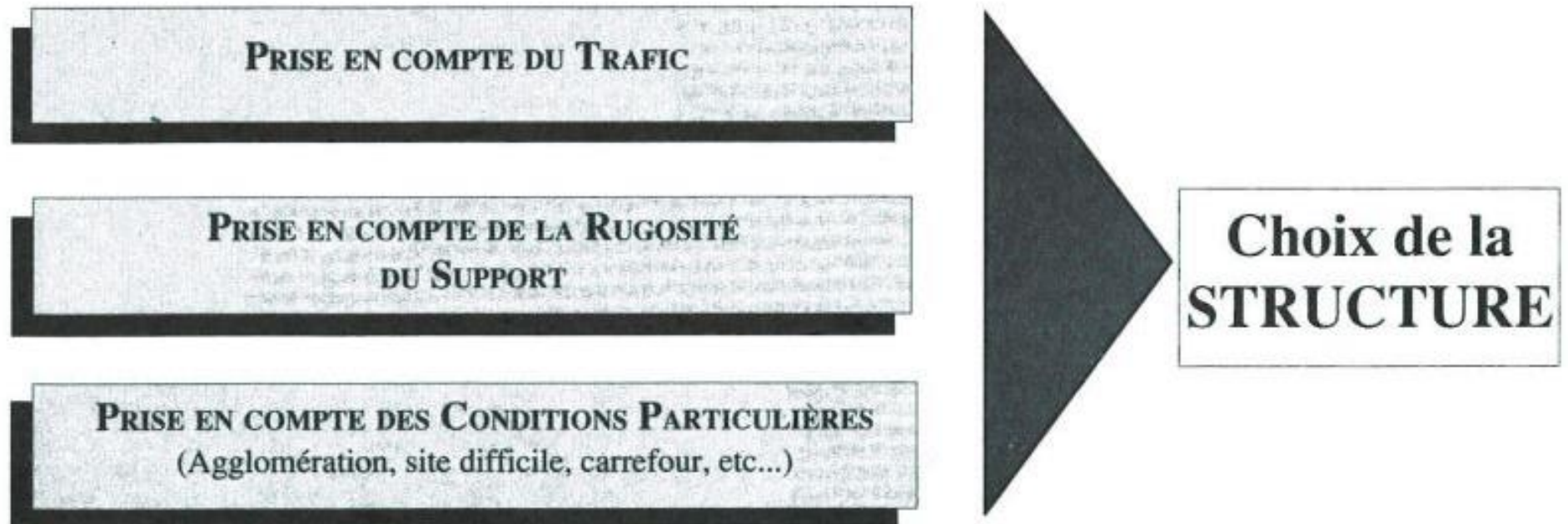


4- La compactage :

- Compacteurs à pneumatiques
- Compacteurs à bille métallique
- Cylindres mixtes pneus-bille



Le raisonnement du gestionnaire doit suivre le cheminement suivant:



Identification du support :

Le diamètre de la hauteur de sable correspondante définissent la rugosité du support existant.

SUPPORT ▼	Hauteur au sable(mm)
Très lisse	 28
Lisse	 20
Normal	 16
Rugueux	 13
Très rugueux	

Identification du trafic:

Trafic	Fort		Moyen		Faible		Très faible	
PL/j	750	300	150	50	25	10	2	
Classe	T0	T1	T2	T3	t4	t5	t6	t7

Grille de choix des structures :

TRAFIC SUPPORT	FORT	MOYEN	FAIBLE	TRES FAIBLE
Très Lisse	MSG 10/14	MSG 10/14	MSG 6/10	MSG 6/10
Lisse à Normal	MDG 10/14 -4/6	MDG 10/14 -4/6	MSG 6/10	MSG 4/6 MSG 6/10
Rugueux	BIC 10/14-4/6 MSG 6/10	BIC 6/10-4/6 MSG 6/10	BIC 6/10-4/6 MSG 4/6	BIC 6/10-2/4 (4/6) MSG 4/6 (6/10)
Très Rugueux	MSG 4/6	MSG 4/6	MSG 4/6	

Exemple :

- **Age : 10 Ans**
- **Trafic : 38 PL/j**
- **Support : HS = 0,27 Cm**

Réponse :

Trafic : Faible t4

Support : Surface Lisse

Donc la structure est : MSG 6/10

3- Liants pour enduits

✓ Liants chauds classiques

- ***Bitumes fluidifiés*** : Sont fabriqués à partir de bitume avec ajout de solvant léger.
- ***Bitumes fluxés*** : Sont fabriqués à partir de bitume avec ajout d'huile provenant de la distillation du goudron de houille ou de pétrole.
- ***Bitumes goudrons*** : Sont fabriqués à partir de bitume avec ajout de goudron (60/40) qui améliore l'adhésivité.

✓ Les émulsions

- Les émulsions de bitume sont constituées par de fines gouttelettes de bitume (quelques microns de diamètre) dispersées mécaniquement dans de l'eau savonneuse.
- L'adhésivité est favorisée par le bon mouillage du gravillon que doit procurer l'émulsion. Les émulsions peuvent être utilisées sur un support légèrement humide.

✓ Liants modifiés

- Les liants modifiés présentent de grandes qualités de cohésion, d'élasticité et de tenue aux températures extrêmes.

4- Choix du liant

- Les liants pour enduits sont caractérisés entre autres par leur viscosité
- La viscosité du liant doit tenir compte de la période de mise en œuvre et du trafic:
 - Plus le trafic sera important,
 - Plus la température ambiante sera élevée,
 - **Plus le liant devra être visqueux.**

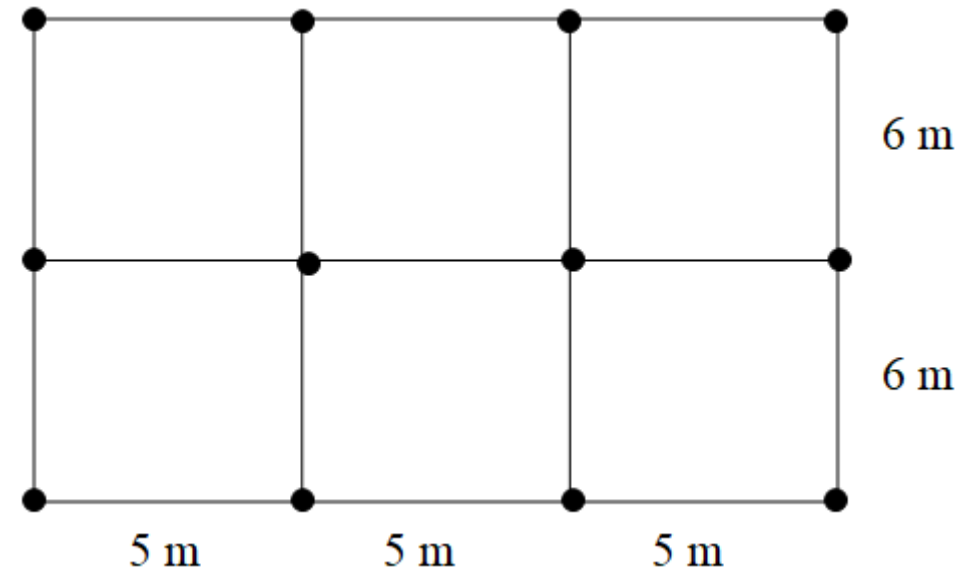
<i>Liant</i>	<i>Trafic *</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>Sept</i>
Bitume Fluxé	Moyen						
	Faible						
	Trés faible						
Emulsion de Bitume	Moyen						
	Faible						
	Trés faible						
Liant modifié	Fort Moyen	<i>Selon nature du produit</i>					

Exercice :

Un terrain piqueté et nivelé. Après déblais, la plate forme sera à la cote de 30,00 m NGM

L'altitude NGM du point n°1 est de 32,50 m

- 1- Compléter le tableau ci-dessous
- 2- Calculer le volume des terrassements
- 3- Etablir les PL et PT au niveau de chaque axe
- 4- Recalculer le volume des terrassements par la méthodes des entres profils



Points nivelés	Lecture sur la mire	Altitude du plan de visée	Altitude des points nivelés	Cote de projet	Hauteur de terrassement
1	1,206			30,00	
2	1,651			30,00	
3	1,423			30,00	
4	1,331			30,00	
5	1,130			30,00	
6	1,258			30,00	
7	1,570			30,00	
8	1,190			30,00	
9	1,670			30,00	
10	1,348			30,00	
11	1,129			30,00	
12	1,134			30,00	

Réponse :

1- Compléter le tableau suivant

Points nivelés	Lecture sur la mire	Altitude du plan de visé	Altitude des points nivelés	Cote de projet	Hauteur de terrassement
1	1,206	33,706	32,500	30,00	2,500
2	1,651	33,706	32,055	30,00	2,055
3	1,423	33,706	32,283	30,00	2,283
4	1,331	33,706	32,375	30,00	2,375
5	1,130	33,706	32,576	30,00	2,576
6	1,258	33,706	32,448	30,00	2,448
7	1,570	33,706	32,136	30,00	2,136
8	1,190	33,706	32,516	30,00	2,516
9	1,670	33,706	32,036	30,00	2,036
10	1,348	33,706	32,358	30,00	2,358
11	1,129	33,706	32,577	30,00	2,577
12	1,134	33,706	32,572	30,00	2,572

2- Calculer le volume des terrassements

$$V_{\text{deb}} = S_{\text{totale}} \times H_{\text{moy}}$$

$$V_{\text{deb}} = 426,60 \text{ m}^3$$