



المملكة المغربية



تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس
ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI



الجمعية المغربية الوطنية
لمؤتمرات الطرق
L'Association Marocaine
Permanente des Congrès de la Route

11^{ème} المؤتمر الوطني للطرق
ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ
Congrès National de la Route

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure routière dans le nouveau modèle de développement économique et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية
الطرقية في تنزيل النموذج
الجديد للتنمية الاقتصادية
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10/12 Nov. 2022 - Dakhla

Nouveaux standards d'assainissement routier au Maroc

M. Mohamed OUMESSAOUD

Ingénieur au Service des Études Routières

Direction des Etudes, du Développement et de la Recherche Routière /

Direction Générale des Routes

- Introduction
- Généralités
- Hydrologie
- Hydraulique
- Assainissement



Introduction

- ◆ Un guide visant à uniformiser les démarches d'assainissement routier
- ◆ Le fruit de collaboration d'équipes pluridisciplinaires
- ◆ Elaboration en plusieurs phases :
 - Phase de collecte et analyse des données
 - Phase d'analyse des pratiques actuelles et leurs insuffisances + benchmark
 - Phase finale : Dresser une méthodologie; recommandations / mesures techniques

Généralités

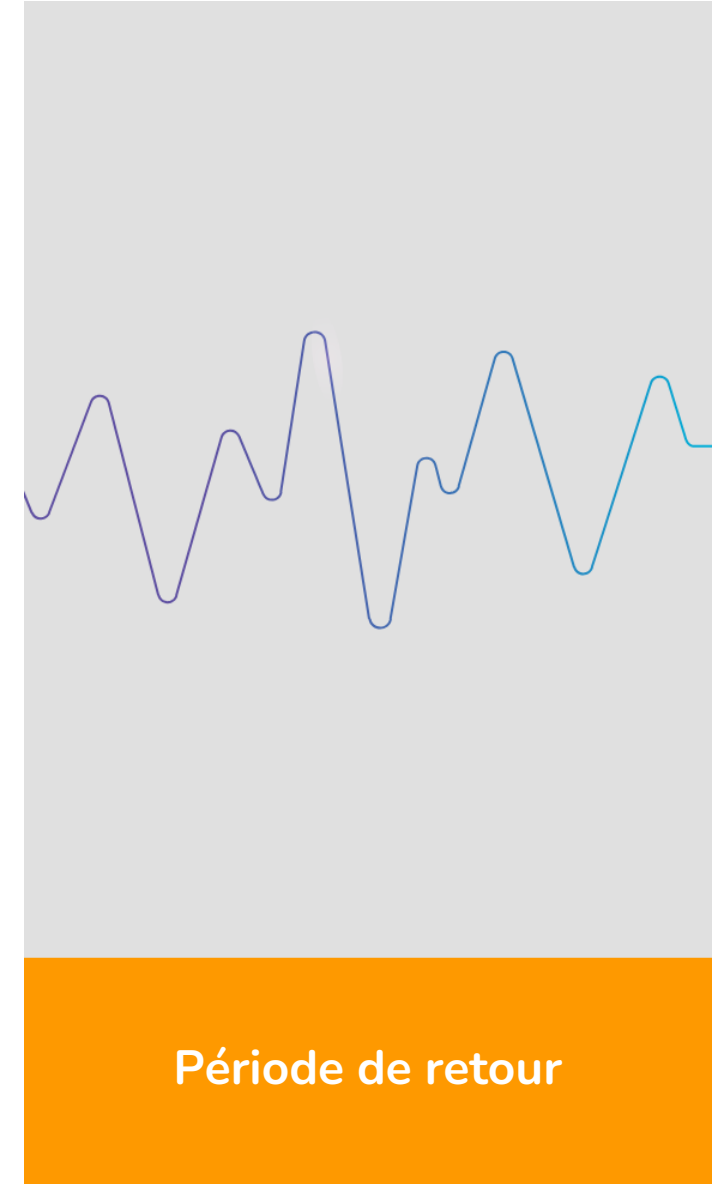
- ♦ La période de retour est lié au risque par :

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/L}}$$

T : période de retour en années;
R : risque (adimensionnel);
L : durée de vie utile en années;

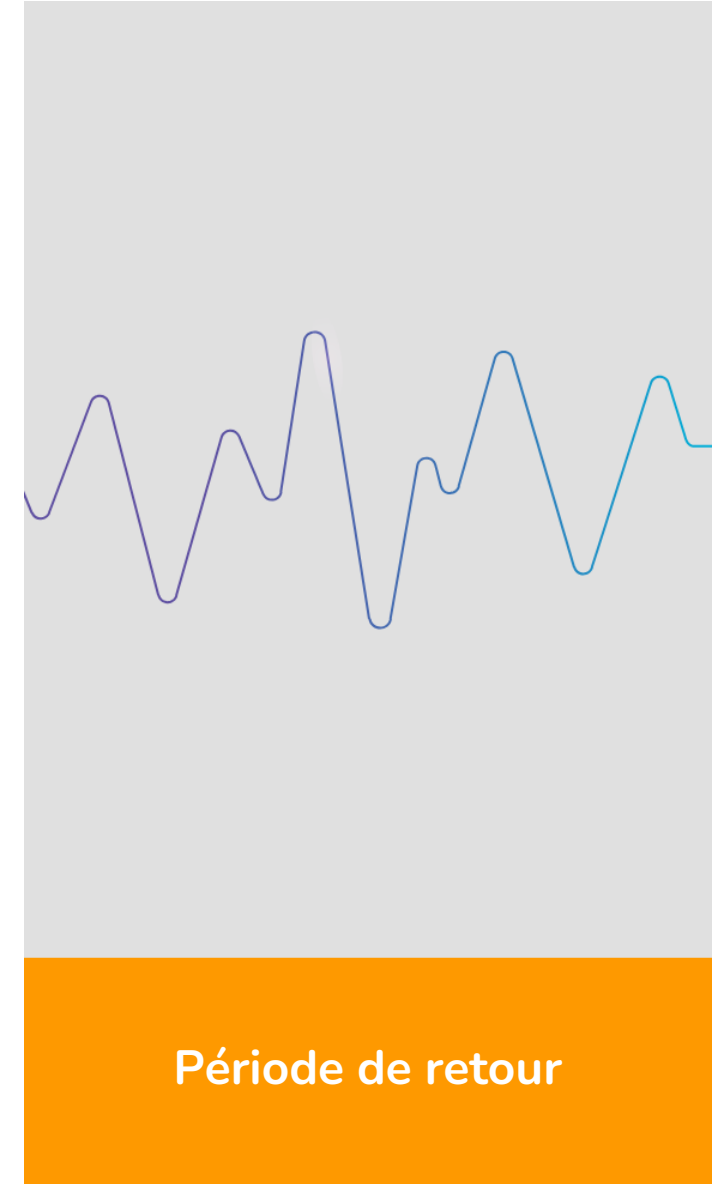
Par exemple :

| Durée de vie utile en années | 10 ans | 20 ans | 50 ans | 100 ans | 1000 ans |
|--|--------|--------|--------|---------|----------|
| Probabilité d'occurrence d'un seul événement de période de retour T=100 ans | 18,2% | 26% | 39,5% | 63,39% | 99,99% |



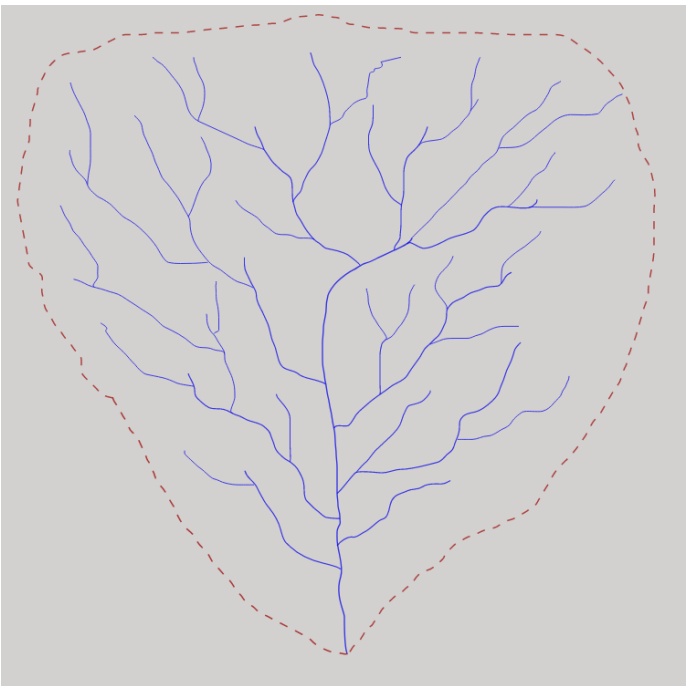
Généralités

- ◆ Pour tous les ponts sur oued : $T=100$ ans ;
- ◆ Pour tous ouvrages de franchissement des cours d'eau, dont le remous provoqué atteint des habitations et engendre une surélévation importante du niveau d'eau naturel : $T=100$ ans ;
- ◆ Pour les ouvrages hydrauliques qui drainent les impluviums extérieurs et qui traversent ou menacent directement l'autoroute : $T=100$ ans ;
- ◆ Pour les ouvrages hydrauliques qui drainent des impluviums extérieurs, sur :
 - Voies express et autoroutes : $T=100$ ans ;
 - Réseau structurant : $T=100$ ans ;
 - Routes Régionale et Provinciale : $T=10$ ans à 100 ans selon l'appréciation du MO ;
- ◆ Pour l'assainissement des eaux de la plateforme, sur :
 - Voies express et autoroutes : $T=25$ ans ;
 - Réseau structurant : $T=25$ ans ;
 - Routes Régionale et Provinciale : $T=10$ ans



Généralités

Classification des bassins versants (BVs)



Le guide propose la classification suivante des BVs :

| $S \leq 20 \text{ km}^2$ | $20 < S \leq 100 \text{ km}^2$ | $100 \text{ km}^2 < S$ |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Petits bassins versants | Bassins versants de taille moyenne | Grands bassins versants |

S la surface des BVs en km^2

Hydrologie

♦ Méthodes de calcul indiquées dans le guide

- Formule rationnelle
- Modèle pluie débit de type SCS
- Formules régionales actualisées
- Méthode de Gradex
- Méthode d'ajustement statistique
- Formules empiriques Mallet Gauthier et Fuller II

Hydrologie

◆ Formule rationnelle

$$Q_p = \frac{1}{3.6} Cr . i(T, tc) . A$$

- **Qp(T)** : Débit de pointe de la crue en m³/s ;
- **T** : Période de retour (ans) ;
- **Cr** : Coefficient de ruissellement pondéré ;
- **A** : Superficie du bassin versant en km² ;
- **I(T, tc)** : Intensité de la pluie en mm/h (déduite des courbes IDF);
- **Tc** : Temps de concentration en min.

Hydrologie

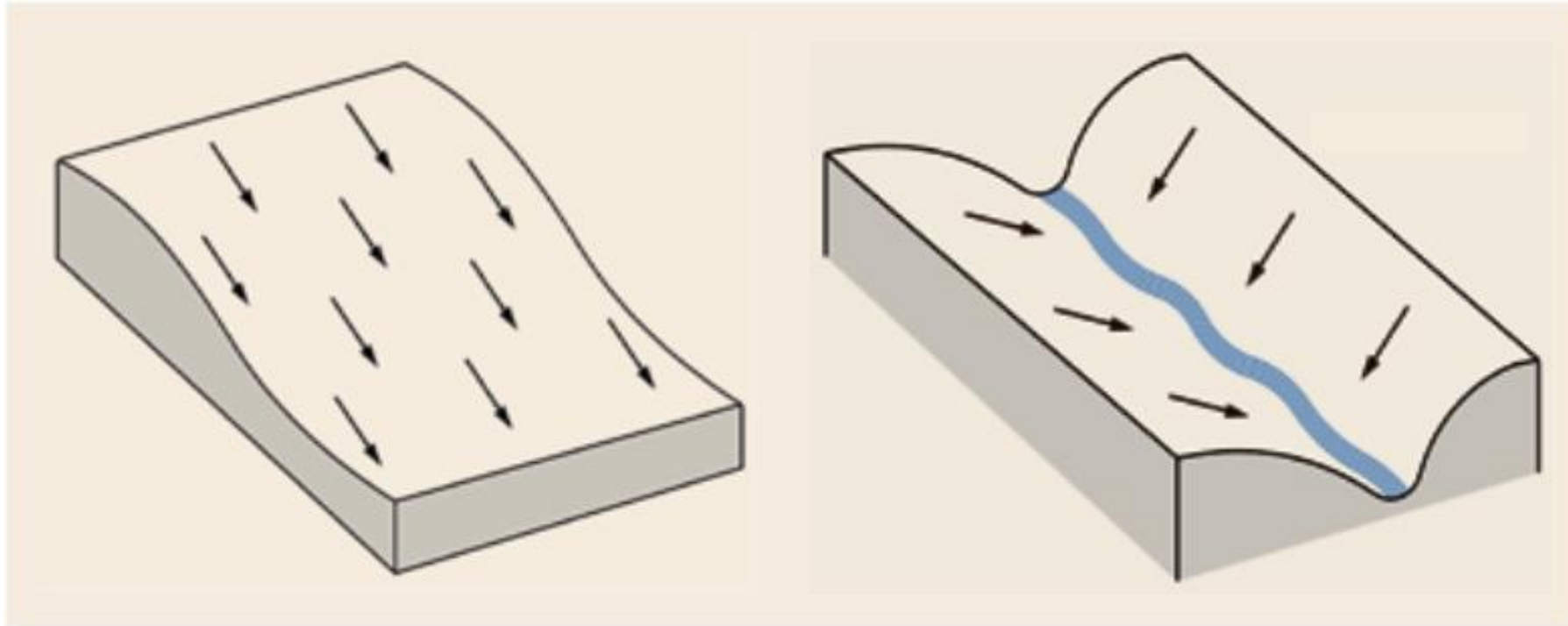
◆ Coefficient de ruissellement

Table Enveloppe des coefficients de ruissellements corrigés en fonction de la période de retour (T)

| Table proposée | | BV ≤ 100Km ² | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|----------------------------|------------|----------------|---------|---------|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|-----------------------|---------|---------|----------|--|--|
| Code | Nature Couvert Végétal BCEOM | Nature Couvert Végétal SCS | Pente (%) | Sols grossiers | | | | Sols moyennement grossiers à fins | | | | Sols Fins à très fins | | | | | |
| | | | | T=10ans | T=20ans | T=50ans | T=100ans | T=10ans | T=20ans | T=50ans | T=100ans | T=10ans | T=20ans | T=50ans | T=100ans | | |
| 1 | Plate forme et chaussée de route | *** | <=5% | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | | |
| | | | 5%<P<=10% | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | | |
| | | | 10%<P<=30% | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | | |
| | | | >30% | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | | |
| 2 | Terrain dénudé ou à végétation non couvrante, Terrains déjà entachés par l'érosion, Labours frais | Zone cultivées | <=5% | 0.30 | 0.40 | 0.51 | 0.57 | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.68 | 0.60 | 0.65 | 0.71 | 0.74 | | |
| | | | 5%<P<=10% | 0.40 | 0.49 | 0.57 | 0.63 | 0.60 | 0.65 | 0.71 | 0.74 | 0.70 | 0.74 | 0.78 | 0.80 | | |
| | | | 10%<P<=30% | 0.52 | 0.59 | 0.65 | 0.69 | 0.72 | 0.75 | 0.79 | 0.81 | 0.82 | 0.84 | 0.87 | 0.88 | | |
| | | | >30% | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Cultures couvrante, Céréales hautes, Terrains de parcours petite brousse clairsemée | Pâturage | <=5% | 0.10 | 0.24 | 0.39 | 0.48 | 0.30 | 0.40 | 0.51 | 0.57 | 0.40 | 0.49 | 0.57 | 0.63 | | |
| | | | 5%<P<=10% | 0.15 | 0.28 | 0.42 | 0.50 | 0.36 | 0.45 | 0.55 | 0.60 | 0.55 | 0.61 | 0.67 | 0.71 | | |
| | | | 10%<P<=30% | 0.22 | 0.34 | 0.46 | 0.53 | 0.42 | 0.50 | 0.59 | 0.64 | 0.60 | 0.65 | 0.71 | 0.74 | | |
| | | | >30% | | | | | | | | | 0.74 | 0.76 | 0.78 | 0.80 | | |
| 4 | Sous Bois ou Forêt | Forêt | <=5% | 0.10 | 0.24 | 0.39 | 0.48 | 0.30 | 0.40 | 0.51 | 0.57 | 0.40 | 0.49 | 0.57 | 0.63 | | |
| | | | 5%<P<=10% | 0.25 | 0.36 | 0.48 | 0.54 | 0.35 | 0.45 | 0.54 | 0.60 | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.68 | | |
| | | | 10%<P<=30% | 0.30 | 0.40 | 0.51 | 0.57 | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.68 | 0.60 | 0.65 | 0.71 | 0.74 | | |
| | | | >30% | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | *** | Zone Urbaine | <=5% | 0.40 | 0.49 | 0.57 | 0.63 | 0.55 | 0.61 | 0.67 | 0.71 | 0.65 | 0.70 | 0.74 | 0.77 | | |
| | | | 5%<P<=10% | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.68 | 0.65 | 0.70 | 0.74 | 0.77 | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | | |
| | | | 10%<P<=30% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | >30% | | | | | | | | | | | | | | |

Hydrologie

◆ Temps de concentration



Ecoulement en nappe

Ecoulement concentré

Hydrologie

◆ Temps de concentration

Écoulements concentrés

Formule de Kirpich

$$t_c = 0.019472 P^{-0.385} L^{0.77}$$

- T_c : Temps de concentration en min ;
- L : Longueur du bassin versant en m ;
- P : Pente en m/m.

Écoulements en nappe

Formule SETRA (Vitesse d'écoulement en nappe)

$$v = 1.4 \cdot \sqrt{I}$$

| Pente (I) % | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 5.00 | 10.00 | 15.00 | 20.00 | 30.0 |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Vitesse m/s | 0.14 | 0.20 | 0.24 | 0.31 | 0.44 | 0.54 | 0.62 | 0.76 |

$$t_c = v/L$$

Hydrologie

$$S \leq 20 \text{ km}^2$$

A

Hydrologie des petits BVs

$$20 < S \leq 100 \text{ km}^2$$

B

Hydrologie des BVs de
taille moyenne

$$100 \text{ km}^2 < S$$

C

Hydrologie des grands
BVs

Hydrologie

Hydrologie des petits BVs

$S \leq 20 \text{ km}^2$

Pour les petits BVs, le guide recommande l'utilisation de 2 méthodes suivantes :

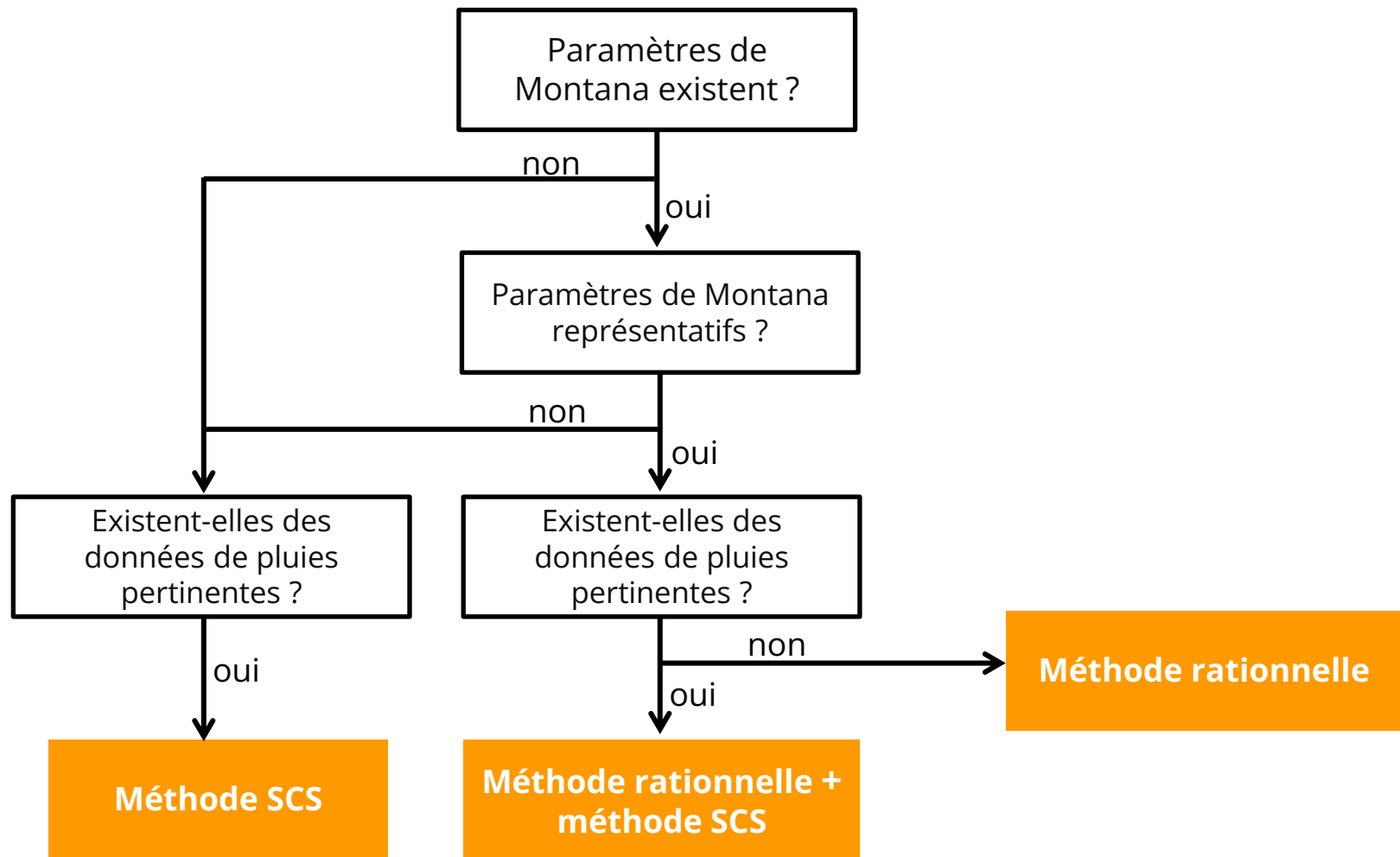
- ◆ **Formule rationnelle**
- ◆ **Modèle pluie débit de type SCS**



L'utilisation de ces deux méthodes dépendent essentiellement des données pluviométriques disponibles

Hydrologie des petits BVs

$S \leq 20 \text{ km}^2$



♦ Formule rationnelle

Si les paramètres de Montana existent et sont représentatives de la zone d'étude

♦ Modèle pluie débit de type SCS

Lorsqu'il existe des données de pluies plus étendus et plus représentatives de la zone d'étude.

♦ Les formules régionales actualisées

seront utilisées s'elles sont issues des études hydrologiques régionales basées sur l'analyse de plusieurs stations hydrométriques et dont le contexte s'adapte au bassin versant étudié

♦ Gradex et ajustement statistique :

Lorsqu'il existe une station hydrométrique de référence adéquate (Surfaces drainées proches, ...).

Hydrologie des BVs de
taille moyenne

$$20 < S \leq 100 \text{ km}^2$$

Hydrologie

◆ Transposition de débit

La transposition des débits d'un bassin jaugé vers un bassin non jaugé suppose une similitude physique des deux bassins versants et une distorsion qui n'est pas très importante des surfaces drainées.

Méthode de Franc-Rodier

$$Q(T) = 10^6 \cdot \left(\frac{SBV}{10^8} \right)^{\left(1 - \frac{K(T)}{10} \right)}$$

- **K(T)** : Coefficient de Francou – Rodier, est un paramètre régional

$$K(T) = 10 \cdot \left[1 - \frac{\log \left(\frac{Q}{10^6} \right)}{\log \left(\frac{S}{10^8} \right)} \right]$$

Méthode de la racine des surfaces

$$\frac{Q(T)}{\sqrt{S}} = \textit{constante}$$

Hydraulique



- ◆ Définir la nature des ouvrages de franchissement
- ◆ Définir les débouchés hydrauliques de ces ouvrages
- ◆ Assurer le fonctionnement hydraulique de ces ouvrages
- ◆ Dimensionner les protections des ouvrages de franchissement
- ◆ ...etc.

Hydraulique

**Ouvrages
hydrauliques (buses,
dalots, voûtes)**

A

**Hydraulique des petits
cours d'eau**

Ouvrages d'art

B

**Hydraulique des grands
cours d'eau**

Hydraulique

Hydraulique des petits cours d'eau

Ouvrages hydrauliques (buses, dalots, voûtes)

♦ Types d'ouvrages hydrauliques

De façon générale, les petits cours d'eau sont rétablis par des ouvrages de type buse, dalot ou voûte

- **La forme rectangulaire ou carrée** est généralement adoptée pour :
 - o Conserver la largeur d'écoulement ;
 - o Transiter des débits plus au moins importants ;
 - o Assurer un double usage : hydraulique et traversée des riverains ;
 - o Charriage ou corps flottants importants.

Les dimensions **L=1.5m et H=1.5m** sont prises comme valeurs minimales.

Hydraulique

Hydraulique des petits cours d'eau

Ouvrages hydrauliques (buses, dalots, voûtes)

♦ Types d'ouvrages hydrauliques

• **La forme circulaire** est d'un usage très répandu puisqu'elle est facile d'installation, elle s'adapte à diverses conditions, en particulier en cas de biais important ;

Les buses sont généralement utilisées pour :

- o Des débits modérés (généralement $< 10\text{m}^3/\text{s}$) ;
- o Sur des cours d'eau à très faible charriage et apport en corps flottant ;
- o Des biais prononcés.

Pour des fins d'entretien, on utilisera :

- o Sous autoroute, voie express et réseau structurant au minimum des buses $\Phi 1000$;
- o Pour les autres cas au minimum des buses $\Phi 800$;

Hydraulique

Hydraulique des petits cours d'eau

Ouvrages hydrauliques (buses, dalots, voûtes)

♦ Types d'ouvrages hydrauliques

- Les buses dont la hauteur du remblai au-dessus de la génératrice supérieure est **inférieure à 0.80m doivent être enrobées** ;
- **La forme voûte** est généralement préférée pour des remblais importants qui dépassent 15m ;
- **Des radiers submersibles** sont aussi utilisés lorsque le débordement est toléré. Ces radiers peuvent être aussi évidés lorsque la traversée présente une partie encaissée ou pour limiter le temps de coupure.

Hydraulique

Hydraulique des petits cours d'eau

Ouvrages hydrauliques (buses, dalots, voûtes)

♦ Méthode de calcul des ouvrage hydrauliques

- Estimer le débit de dimensionnement ou de projet.
- Utiliser la méthode de « **Contrôle amont et aval** ». Le calcul sera fait pour les deux types de contrôle et la valeur maximale du PHE sera prise en compte pour le dimensionnement.
- Le niveau d'eau à l'amont de l'infrastructure pour le débit de projet devra rester au minimum en dessous de la rase inférieure de la couche de forme ou celle du corps de chaussée diminuée de 50 cm.
- Généralement, la vitesse à la sortie de l'ouvrage ne doit pas dépasser 4 à 4.2m/s.
- Les ouvrages devront être dimensionnés par rapport à une cote critique de débordement.

◆ Bonnes pratiques

Le guide présente également des règles de bonnes pratiques pour les aspects suivants :

- **Le calage des ouvrages hydrauliques ;**
- **Aménagement des extrémités des ouvrages ;**
- **Contrôle des débits solides ;**
- **Contrôle des débris ;**
- **Hydrauliques des écoulements sur cascades ;**

Hydraulique des petits
cours d'eau

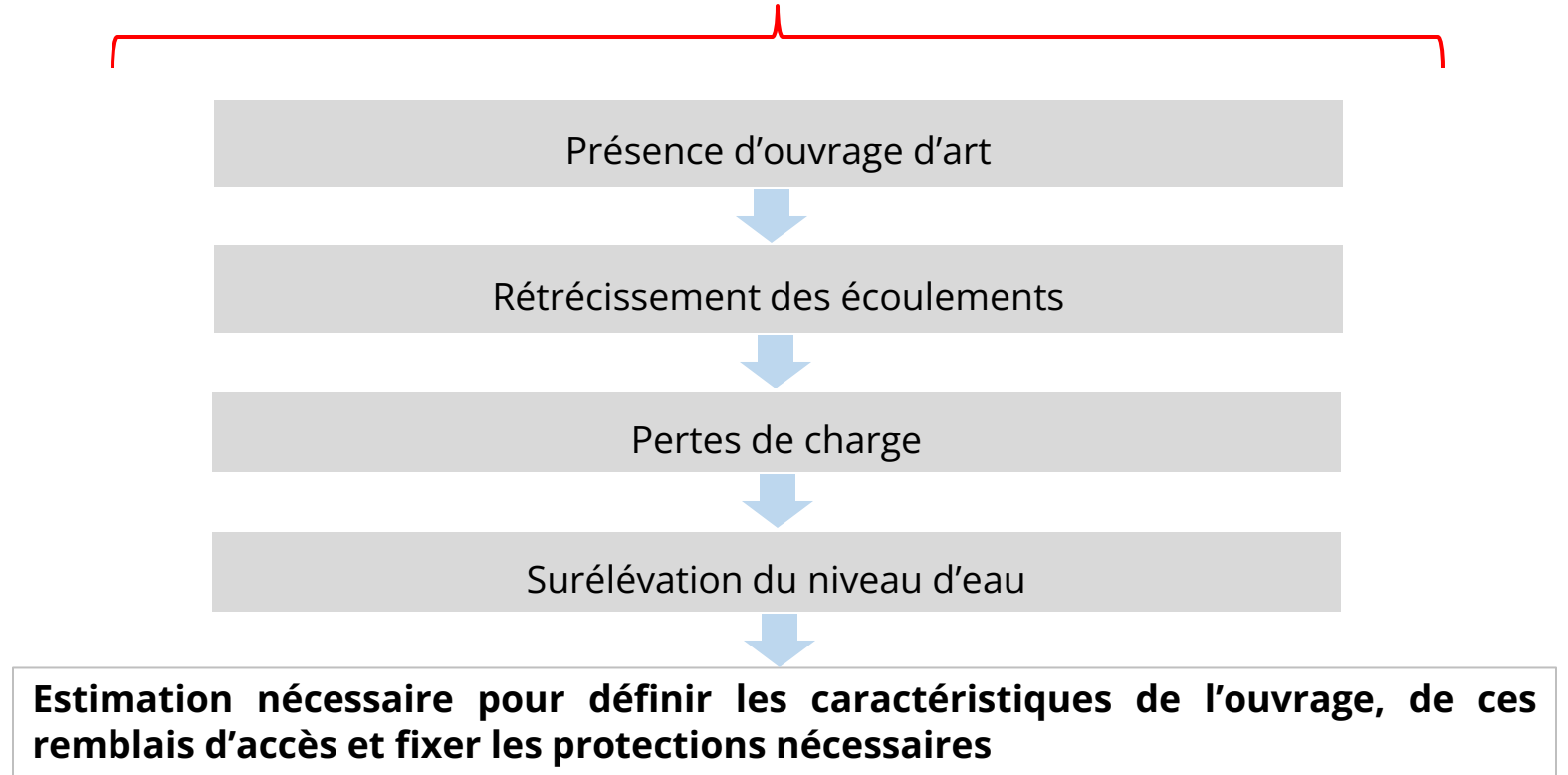
**Ouvrages
hydrauliques
(buses, dalots,
voûtes)**

Hydraulique

Hydraulique des grands cours d'eau

Ouvrages d'art

Les grands franchissements sont assurés par des ouvrages d'art (ponts, viaduc).



Une modélisation des écoulements avant et après aménagement, sur la base d'une topographie récente, est nécessaire.

Hydraulique

Hydraulique des grands cours d'eau

Ouvrages d'art

♦ Modélisation hydraulique

Elle permet :

- ♦ De tenir compte des conditions aux limites amont et aval (hydrogramme, seuil...);
- ♦ De calculer les lignes d'eau ;
- ♦ De définir l'étendu de la zone affectée par le remous ;
- ♦ De tenir en compte du laminage sur bief et zone de stockage en particulier le lit majeur ;
- ♦ De définir les répartitions des débits au niveau des confluences ;
- ♦ De déduire enfin les caractéristiques hydrauliques (Q , h et v) le long du bief d'écoulement ;

♦ Modélisation hydraulique

Les données couramment utilisées sont :

- ♦ Les débits de projet estimés au stade de l'étude d'exécution (Q_p ou $Q(t)$) ;
- ♦ La topographie : cette donnée permet de dresser les profils en travers de calcul ou d'établir un modèle numérique de terrain (MNT).
- ♦ La condition au limite aval ou amont, selon le régime. Généralement, c'est une courbe $Q=f(h)$ (h_n , h_c , h_{seuil} , niveau lac...);
- ♦ Les rugosités, modélisées de façon classique à l'aide du coefficient de frottement K_s (Strickler).

Hydraulique des grands
cours d'eau

Ouvrages d'art

Hydraulique

◆ Affouillement

L'affouillement est un phénomène qui touche l'ensemble des ouvrages hydrauliques, avec plus ou moins d'intensité selon la morphologie du cours d'eau et le type d'ouvrage.

Conséquences d'absence des protections adéquates :

- ◆ Formation de fosses d'érosion
- ◆ Mettre à nu les fondations des ouvrages et finissent par les déstabiliser, voire les effondrer



(Effondrement du Pont de la rivière Saint-Etienne par affouillement)

Hydraulique

◆ Calcul d'affouillement



L'affouillement est un phénomène aléatoire et d'extrême complexité



Plusieurs formules empiriques existent dans la littérature scientifique



Ces formules de calcul sont affectées d'une certaine incertitude



Il convient de les utiliser avec prudence en tentant de les recaler si possible sur des mesures de terrain, et de recourir à une expertise approfondie

Hydraulique

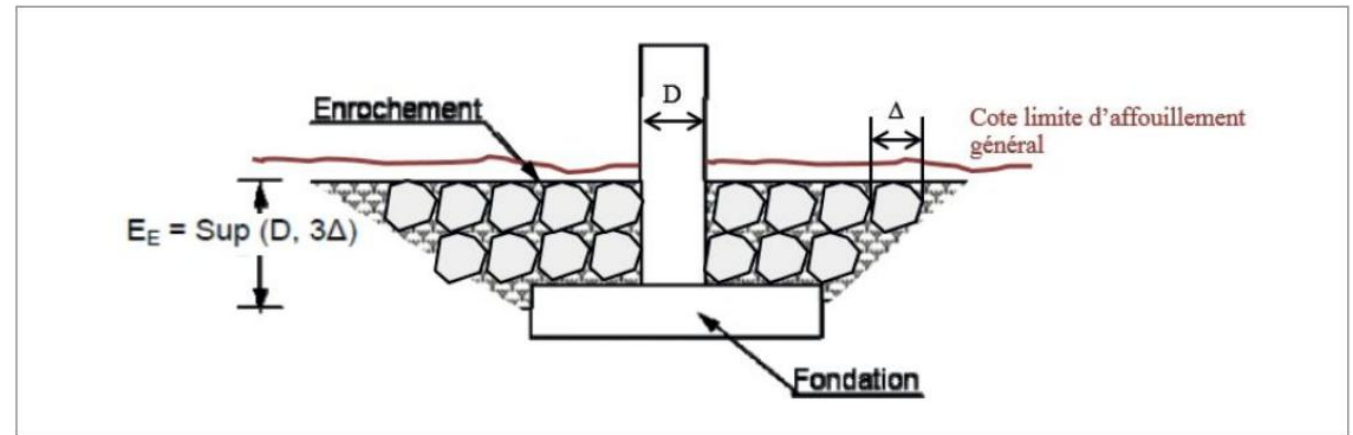
Hydraulique des grands cours d'eau

◆ Mesures de protection contre les affouillements

- ◆ Caler les semelles au minimum sous le niveau de l'affouillement généralisé et de contraction diminué de 1 m ;
- ◆ Prévoir une protection des berges et des piles par des enrochements libres ;

- Protection des piles :

- Tapis d'enrochements :



- Bétonnage complet du fond de lit (radier béton) au droit de l'ouvrage ;

Ouvrages d'art

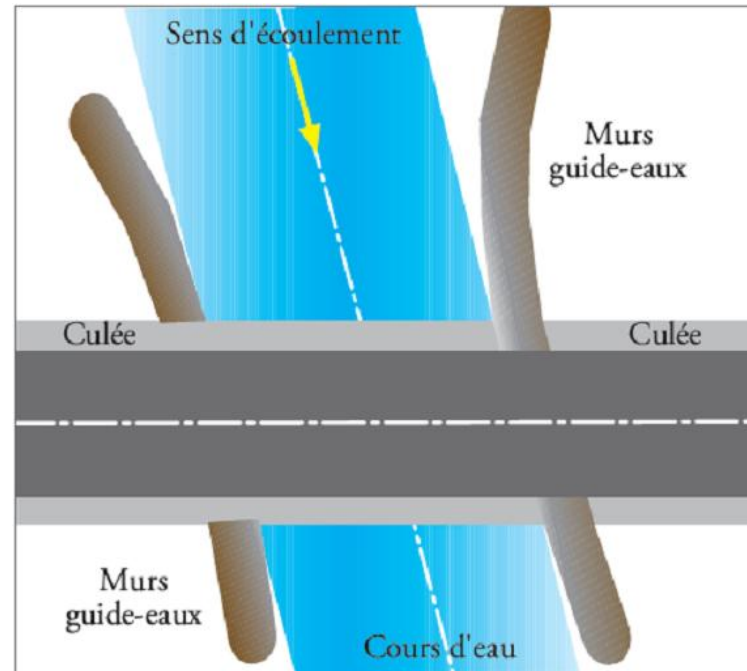
Hydraulique

Hydraulique des grands cours d'eau

♦ Mesures de protection contre les affouillements

- Protection des berges et des culées ::

- Revêtement en enrochements ;
- Dignes et murs guide-eaux ;



Murs guide-eaux (Source : Cerema)

Ouvrages d'art

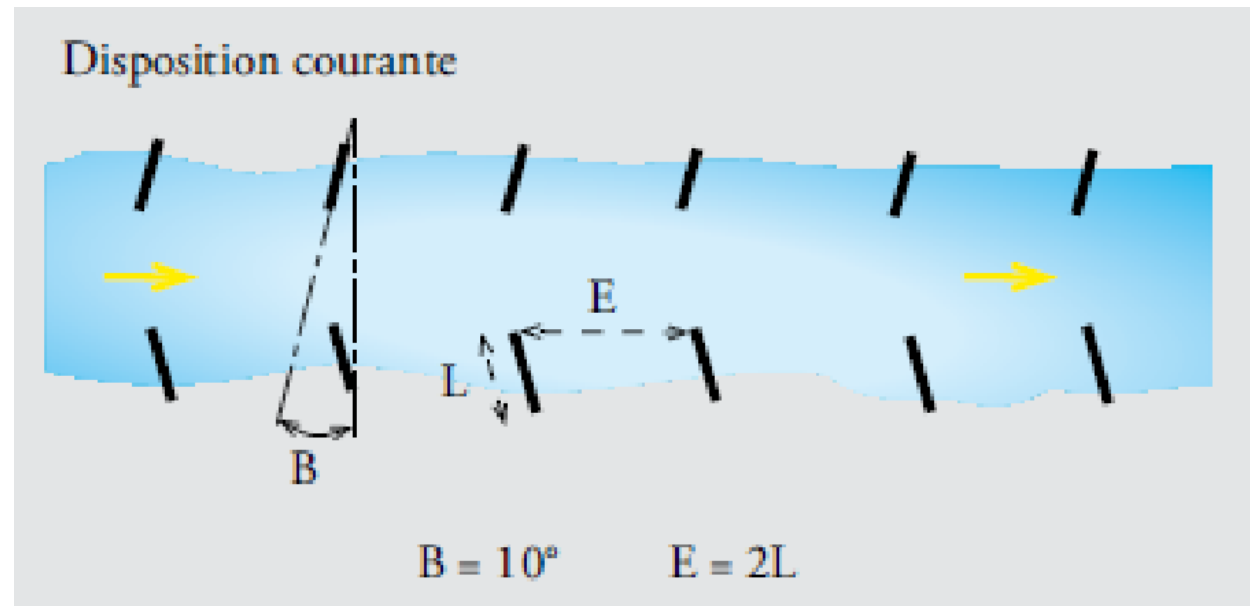
Hydraulique

Hydraulique des grands cours d'eau

◆ Mesures de protection contre les affouillements

- Protection des berges et des culées ::

▪ Epis pour berges :



Disposition des épis pour une reconstitution de berge

Ouvrages d'art

Assainissement de la plateforme



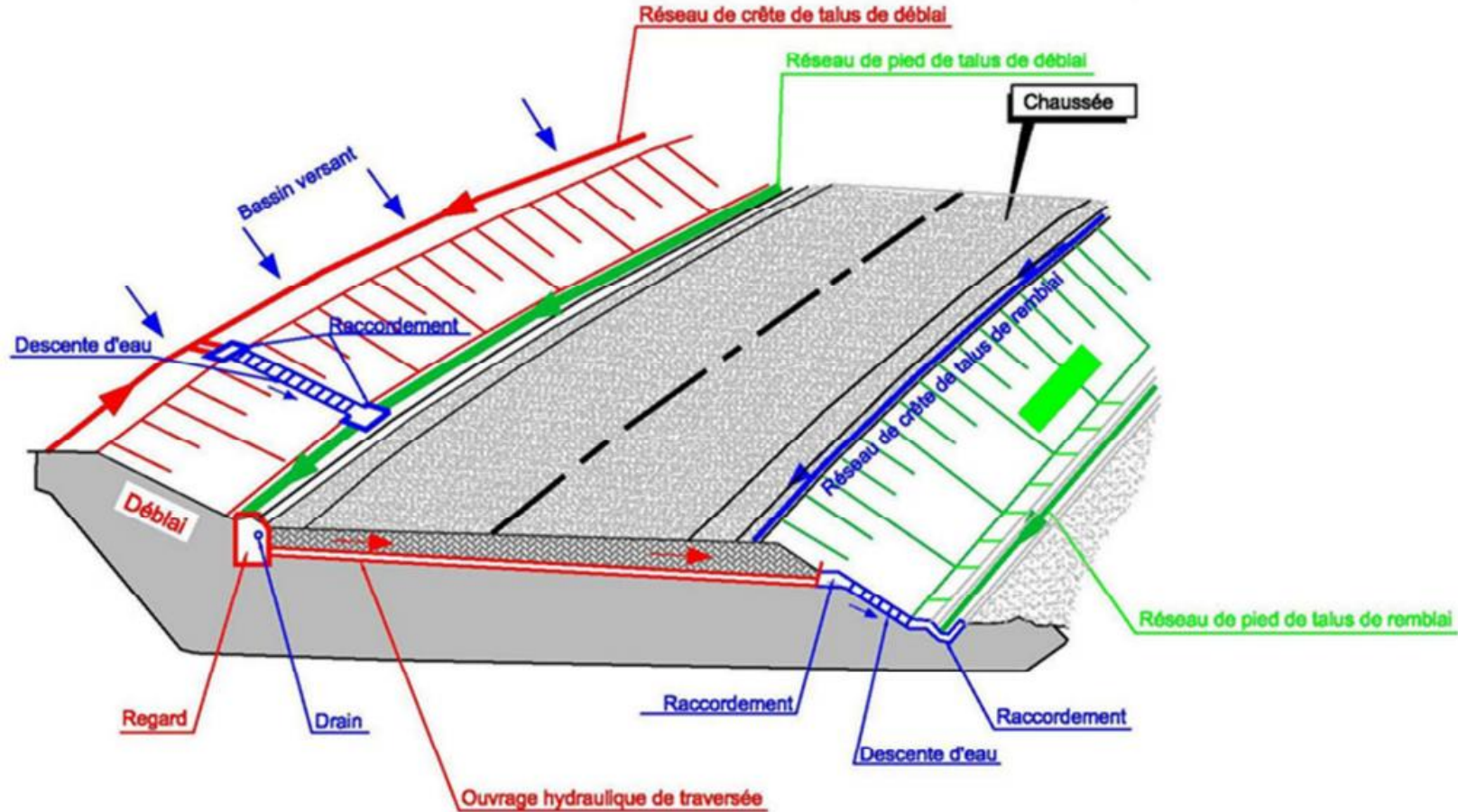
- ◆ Drainer les eaux qui viennent vers les chaussées.

Plusieurs dispositifs sont recommandés par le guide :

- ◆ Les fossés
- ◆ Les regards avaloirs et les descentes d'eau
- ◆ Les collecteurs
- ◆ Les drains

Assainissement de la plateforme

Synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
Cas d'un profil mixte déblai / remblai



◆ Les fossés

- ◆ Ces ouvrages sont destinés à collecter principalement les eaux provenant des impluviums extérieurs et éventuellement les eaux de la chaussée. Ce sont des fossés trapézoïdaux revêtus ou non revêtus.
- ◆ La pente des berges est égale à $1.5H : 1V$ pour des fossés non revêtus ; et $1H : 1V$ pour des fossés revêtus
- ◆ Dimensionner pour **le débit centennal** lorsqu'il s'agit d'acheminer les eaux d'un bassin versant vers l'exutoire
- ◆ Dimensionner pour **le débit décennale** pour le drainage des eaux de la chaussée (bourrelet, TPC, cunette...) + **Une vérification au non débordement pour T=25ans est recommandée**



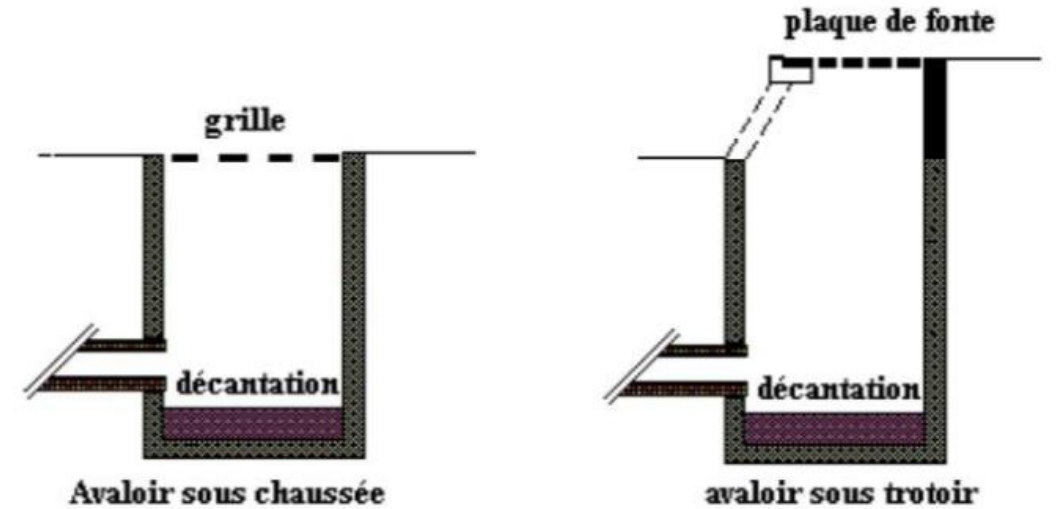
Assainissement de la plateforme

◆ Les regards avaloirs et les descentes d'eau

◆ **Les regards avaloirs** sont placés lorsqu'il y a une bordure et que le dévers est orienté vers elle. Ils collectent les eaux de ruissellement de la chaussée en dévers.

◆ Dans les sections de route en remblai (supérieur ou égal à 3 m), des bourrelets en enrobé sont placés à l'extérieur et tout au long de la bande d'arrêt d'urgence en vue de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée et de les faire évacuer par des descentes d'eau.

◆ **Les descentes d'eau** récupèrent l'eau de ruissellement en tête du talus des routes et des autoroutes en déblais. L'eau parvient sans ravinement au fossé, en pied de talus.

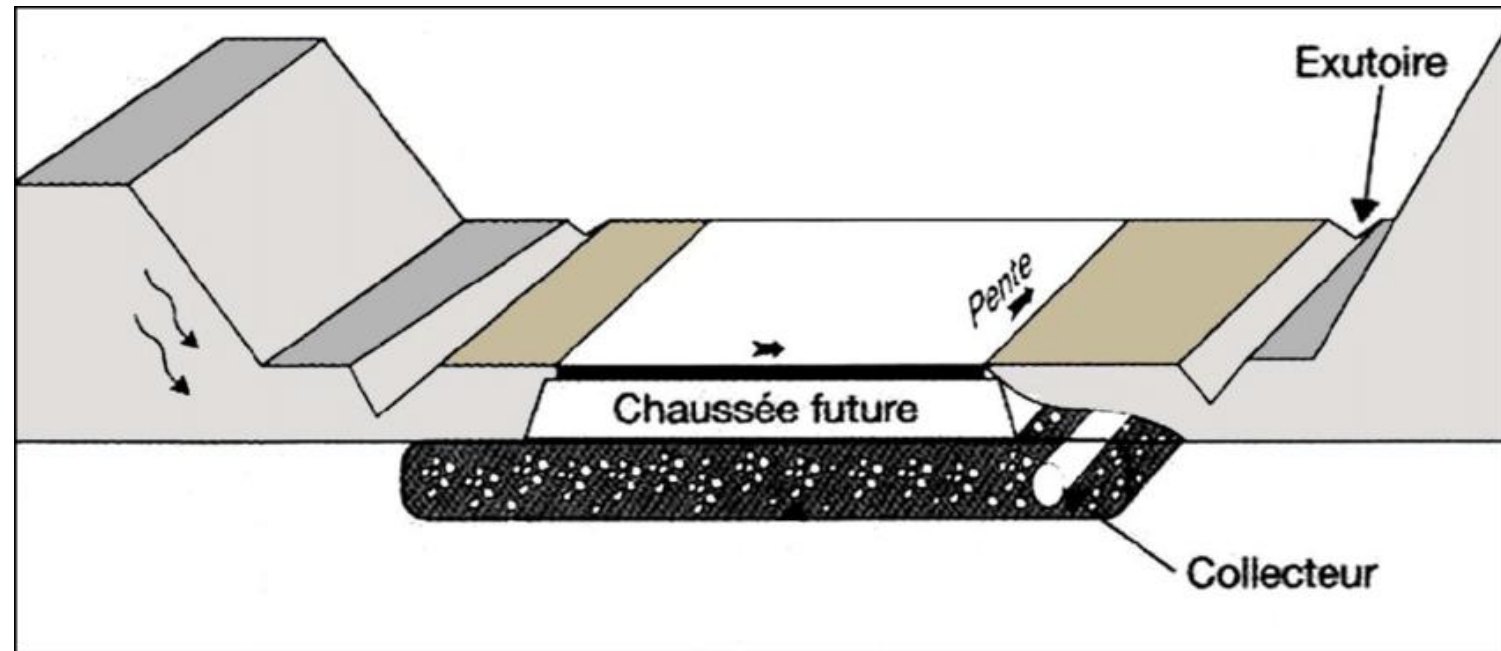


Assainissement de la plateforme

◆ Les collecteurs

◆ Une buse collectrice est projetée lorsqu'il est impossible de creuser un fossé vers un exutoire naturel. Elle collecte les eaux de surfaces captées par les regards avaloirs, les regards puisards et les fossés.

◆ Ces buses collectrices sont des conduites circulaires en béton armé de la série 90A pour les secteurs hors chaussée et de la série 135 A lorsqu'elles traversent la route.



Assainissement de la plateforme

◆ Les drains

- ◆ Lorsque la route est en déblai ou en profil rasant, le drainage du corps de la chaussée (couche de base et couche de forme) est assuré par une tranchée drainante constituée de matériaux graveleux et comprenant en son centre un collecteur D 160 perforé dans sa partie inférieure. Ce drain est positionné, lorsque requis, à la limite des accotements du côté déblai.
- ◆ Ce drain permettra aussi le rabattement de la nappe phréatique si elle existe.





11^{ème} المؤتمر الوطني للطرق
ΞΟ.Λ. ΞΘΞΙ Ι ΞΘΞΛΙ
Congrès National de la Route

MERCI

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure
routière dans le nouveau modèle
de développement économique
et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية
الطرقية في تنزيل النموذج
الجديد للتنمية الاقتصادية
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10 / 12
نوفبر NOV
DAKHLA 2022

الداخلة
DAKHLA