

## **Introduction :**

Ce support de cours propose une démarche méthodologique pour la conception technique des ouvrages au niveau du rétablissement des écoulements naturels, de l'assainissement, de la plate-forme, du drainage interne et de la pollution d'origine routière. Il constitue également une aide pour l'établissement d'un projet d'assainissement et pour l'application de la démarche qualité au niveau des études.

**Il faut préciser que nous allons traiter seulement les cas des petits rétablissements d'écoulements naturels (superficie du bassin versant inférieure à une centaine de kilomètres carrés).**

Il appartient au projeteur de coordonner les différentes thématiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages (la sécurité routière, la signalisation, les ouvrages multi-fonction ...). Le présent cours intègre les aspects entretien, exploitation et gestion des ouvrages au stade de la conception du projet ; les chapitres concernant le drainage interne et la pollution routière ont été traités succinctement dans le présent document.

L'assainissement routier concerne les volets suivants :

- le rétablissement des écoulements naturels ;
- la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route ;
- la collecte et l'évacuation des eaux internes c'est-à-dire le drainage ;
- la lutte contre la pollution routière.

## **Chapitre I : Rétablissement des écoulements naturels**

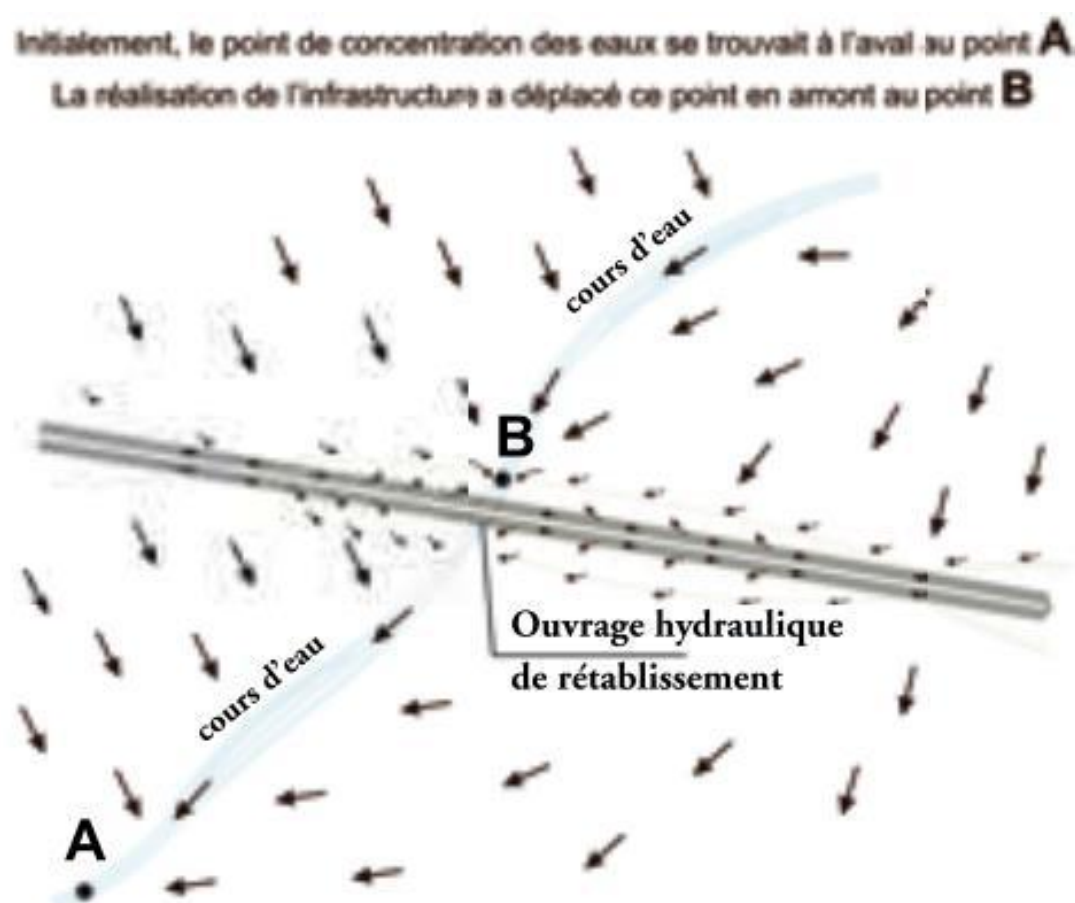
## Chapitre I : Rétablissement des écoulements naturels

### Introduction :

Le rétablissement des écoulements naturels (bassins versants < 100 km<sup>2</sup>) consiste à assurer la continuité des écoulements superficiels des bassins versants interceptés par la route.

Ce rétablissement doit être adapté aux enjeux (inondation, érosions ou atterrissements, pérennité de l'infrastructure, sécurité des usagers et respect du milieu aquatique) qu'il convient d'identifier et doit être conçu dans le respect des réglementations en vigueur.

La route peut constituer un obstacle préjudiciable à l'écoulement naturel et réciproquement, celui-ci peut générer des dommages à la route



### Déplacement du point de concentration des eaux

Les ouvrages hydrauliques de rétablissement des écoulements naturels devront donc être correctement dimensionnés pour limiter les risques :

- d'inondation et de submersion ou de dégradation de la route dans des seuils admissibles ;
- d'inondation en amont de la voie ;
- de rupture de l'ouvrage routier.

On peut distinguer trois cas d'interaction entre un cours d'eau et la route :

- L'empiètement du tracé dans le champ d'inondation (lit majeur) d'un cours d'eau important. Une étude spécifique est nécessaire.
- le franchissement d'un cours d'eau important, ou qui pose des problèmes hydrauliques spécifiques.
- le franchissement de cours d'eau dont la superficie du bassin versant n'excède pas une centaine de kilomètres carrés, sans enjeu particulier. Au-delà de ce seuil, l'étude nécessite l'intervention de spécialistes en matière d'hydrologie, d'hydraulique et d'hydrogéomorphologie.

### **I.1. Éléments de doctrine**

Le rétablissement hydraulique des écoulements naturels constitue l'une des contraintes fortes des projets routiers notamment sur le profil en long. En conséquence, il importe de s'en préoccuper dès le stade des études d'Avant-Projet Sommaire (APS).

Outre l'aspect réglementaire qui est à vérifier, les différentes étapes pour déterminer l'ouvrage hydraulique à mettre en place sont :

- l'estimation du débit de projet en fonction d'une période de retour et d'un débit exceptionnel ;
- le dimensionnement, le choix et le calage de l'ouvrage hydraulique (contrôles de la hauteur d'eau amont, des vitesses d'écoulement, du tirant d'air, de l'impact hydraulique et de la prise en compte s'il y a lieu de la libre circulation de la faune piscicole).

#### **I.1.1. Choix de la période de retour (T)**

La période de retour T à prendre en compte doit dans chaque cas, faire l'objet d'une analyse mettant en regard le coût d'investissement de l'infrastructure avec les conséquences d'un débordement pour l'usager, les riverains, les ouvrages routiers

(perturbations locales et temporaires de la circulation et situations à risques) et enfin l'impact sur le milieu naturel.

En l'absence de ce type d'analyse, il est recommandé d'adopter les valeurs suivantes pour les périodes de retour :

- sous autoroutes : 100 ans ;
- sous routes ou rétablissements de communications : 100 ans, 50 ans, voire 25 ans pour les bassins dont les crues seraient limitées dans le temps et moyennant une incidence du débordement faible, voire nulle selon les cas ;
- routes et autoroutes en zone inondable : le calage de l'infrastructure doit prendre en compte les enjeux liés à la zone inondable.

Pour chaque type d'infrastructure, les conditions d'écoulement et l'effet d'une crue exceptionnelle doivent être appréciés.

### **I.1.2. Hauteur d'eau amont ( $H_{AM}$ ) et vitesse d'écoulement ( $V_e$ ) dans les ouvrages hydrauliques**

Le niveau de la hauteur d'eau amont doit être compatible avec le calage altimétrique de l'infrastructure et l'aléa inondation. Dans tous les cas, la hauteur d'eau amont ne doit pas excéder 1,2 fois la hauteur de l'ouvrage pour le débit de projet, pour les ouvrages d'ouverture  $\leq 2$  m.

Les vitesses doivent respecter les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :

- ouvrages en béton :  $\leq 4$  m/s ;
- ouvrages métalliques :  $\leq 2,5$  m/s.

Pour la prise en compte de la faune piscicole, des vitesses plus faibles doivent être vérifiées (vitesse approximative de 1m/s).

En cas d'impossibilité de satisfaire à ces conditions, il conviendra de prévoir des dispositifs de protection.

### **I.1.3. Tirant d'air (TA) de l'ouvrage hydraulique**

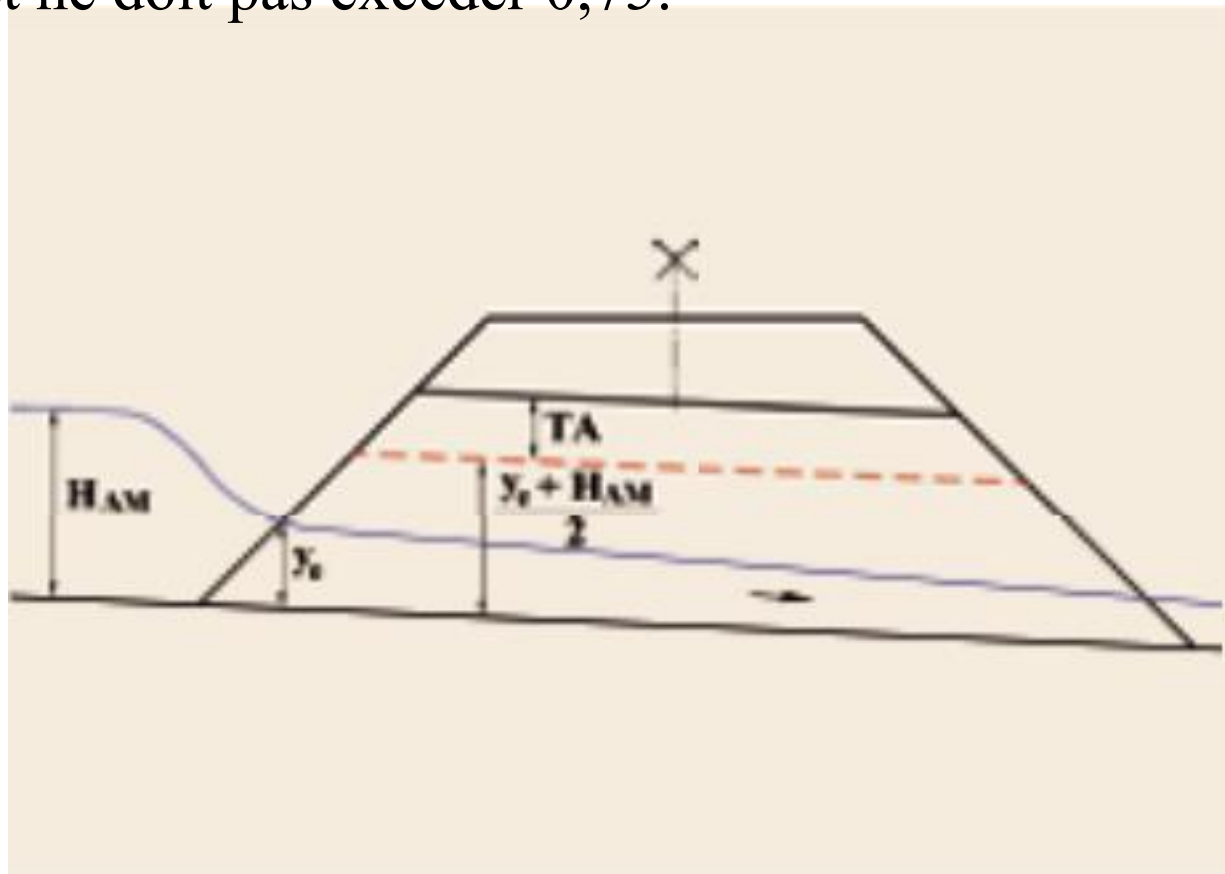
Le tirant d'air correspond, en toute rigueur, à la hauteur libre entre la ligne d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage.

Dans notre cas, il est mesuré par rapport à la hauteur d'eau fictive :

$$\frac{y_e + H_{AM}}{2}$$

- Pour une ouverture  $\leq 2,00$  m : à apprécier en fonction de la nature du bassin versant.
- Pour une ouverture  $> 2,00$  m : TA de 0,50 à 1,50 m.

Le taux de remplissage de l'ouvrage hydraulique pour le débit de projet ne doit pas excéder 0,75.



### Tirant d'air de l'ouvrage hydraulique

#### I.1.4. Impact de l'ouvrage hydraulique

L'exhaussement de la ligne d'eau en amont de l'ouvrage hydraulique par rapport à la situation existante et la vitesse d'écoulement en sortie d'ouvrage sont à apprécier en fonction des enjeux locaux. L'écoulement à surface libre dans l'ouvrage hydraulique doit être assuré pour le débit de projet.

#### I.1.5. Implantation de l'ouvrage hydraulique

En plan, l'ouvrage hydraulique est généralement implanté dans l'axe du **lit mineur du cours d'eau** ; son ouverture doit être égale au moins à celui du lit mineur. Il peut néanmoins être nécessaire de rectifier le tracé naturel de l'écoulement sous l'infrastructure pour réaliser une traversée plus directe. Il s'agit

de s'assurer de sa faisabilité tant sur le plan environnemental que réglementaire. La continuité de l'écoulement hydraulique doit être respectée et les zones sensibles à l'érosion doivent faire l'objet de protection.

En profil en long, le calage de l'ouvrage hydraulique de traversée est fortement conditionné par la topographie du terrain naturel et des conditions d'écoulement (pente du lit). Dans la mesure du possible, l'ouvrage hydraulique devra être calé suivant la pente du lit naturel du cours d'eau.

### **I.1.6. Évaluation du débit de projet et du débit exceptionnel**

Dans le chapitre suivant, il est proposé des méthodes simples qui permettent d'évaluer les débits de projet.

Le débit exceptionnel à prendre en compte est au moins égal à 1,5 fois  $Q_{100}$ . Une évaluation de son impact (avec l'ouvrage hydraulique dimensionné pour le débit projet) sur la sécurité des usagers, la pérennité de l'infrastructure et sur l'environnement doit être menée en vue d'apprécier les mesures à prendre.

### **I.2. Détermination du débit de projet**

Le débit de projet correspond au débit de pointe pour une période de retour donnée, dimensionnant l'ouvrage hydraulique.

Les méthodes de calcul proposées ci-après utilisent les formules «rationnelle» et «crupédix» ainsi qu'une formule de «transition» permettant de faire le lien entre les 2 formules. Elles sont simples et applicables aux Bassins Versants Naturels (BVN).

Elles ont été mises au point par des experts pour la réalisation du TGV Méditerranée. Il en est de même pour le Coefficient de ruissellement, du temps de concentration et la formule de transition. D'autres méthodes justifiées pourront être également appliquées.

Quelle que soit la méthode retenue, les résultats de calcul des débits de projet de Bassin Versant Naturel (BVN) sont entachés d'incertitudes (valeur des précipitations, complexité des phénomènes...).

Une enquête sur le terrain doit être effectuée pour s'assurer de la cohérence des résultats de calcul.

### **I.2.1. Formule rationnelle**

#### **I.2.2.1. Domaine de validité**

Son domaine de validité est le suivant :

- Jusqu'à 10 km<sup>2</sup> sur la façade méditerranéenne (zone ayant des intensités pluviométriques similaires aux régions PACA, Corse, Languedoc Roussillon).

#### **I.2.2.2. Formule**

$$Q_T = \frac{C_T \times i_T \times A_{BVN}}{3.6}$$

avec :

$Q_T$ : débit de projet de période de retour, en m<sup>3</sup>/s

$C_T$ : Coefficient de ruissellement pondéré pour la période de retour T

$i_T$  : intensité moyenne en mm/h, pour la période de retour T pendant le temps de concentration  $t_c$

$A_{BVN}$ : surface totale de bassin versant en km<sup>2</sup>.

$$C_T = \frac{\sum (A_J C_J)}{S_{BVN}}$$

$A_J$  : surface partielle du BVN de Coefficient  $C_J$  en km<sup>2</sup>

$$i_T = a_T \times t_c^{b_T}$$

$t_c$  : temps de concentration en minutes

$$t_c = \frac{L_f}{V_f}$$

avec  $L_f$  : longueur d'écoulement (en m) sur un tronçon où la vitesse d'écoulement est  $V_f$  (en m/s).

Les Coefficients « a » et « b » sont obtenus par ajustement statistique à partir des hauteurs d'eau observés pendant un temps donné. Les données de base ou la reconstitution de ces coefficients peuvent être obtenues auprès des services de la Météo.



### I.2.2.3. Coefficient de ruissellement $C_{10}$

Pour  $T = 10$  ans, on peut obtenir la valeur indicative du coefficient  $C_{10}$  à l'aide du tableau suivant :

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux
Bois	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,25	0,35	0,50
		$10 \leq p < 30$	0,30	0,50	0,60
Pâturage	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,15	0,36	0,55
		$10 \leq p < 30$	0,22	0,42	0,60
Culture	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,30	0,50	0,60
		$5 \leq p < 10$	0,40	0,60	0,70
		$10 \leq p < 30$	0,52	0,72	0,82

### Coefficient de ruissellement pour $T=10$ ans

### I.2.2.4. Variabilité du Coefficient de ruissellement

La valeur des Coefficients croît avec l'intensité de la précipitation mais cette variation diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin.

Ainsi un BVN très imperméable aura un Coefficient  $C_{10}$  élevé et celui-ci augmentera peu en fonction de la période de retour considérée.

A l'inverse, un BVN très perméable et/ou offrant une grande capacité de rétention, aura un Coefficient de ruissellement quasiment nul jusqu'à ce qu'un seuil soit atteint et augmentera alors très rapidement pour éventuellement atteindre des valeurs comparables à celles d'un BVN imperméable. Ce comportement caractérise les BVN à effet de seuil.

La variabilité du coefficient de ruissellement est fonction de la rétention initiale  $P_0$  du BVN :

- Pour  $C_{(10)} < 0,8$  on a  $P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$

$P_0$  en mm et  $P_{10}$  = hauteur de la pluie journalière décennale en mm

- Si  $C_{(10)} \geq 0,8$ , on admettra généralement :  $P_0 = 0$  et  $C_{(T)} = C_{(10)}$

### **I.2.2.5. Coefficient de ruissellement $C_T$**

Pour une période de retour  $T > 10$  ans

$$C_T = 0.8 \left( 1 - \frac{P_{10}}{P_T} \right)$$

$P_{(T)}$  = pluie journalière de période de retour  $T$

### **I.2.2.6. Paramètres pluviométriques**

Ces paramètres sont à obtenir auprès des services de Météo. Il s'agit des coefficients de Montana  $a_{(T)}$  et  $b_{(T)}$  de la pluie

$$i_T = a_T \times t_c^{b_T}$$

Pour  $i$  en mm/h et  $t_c$  en mn

Pluie journalière de période de retour décennale.

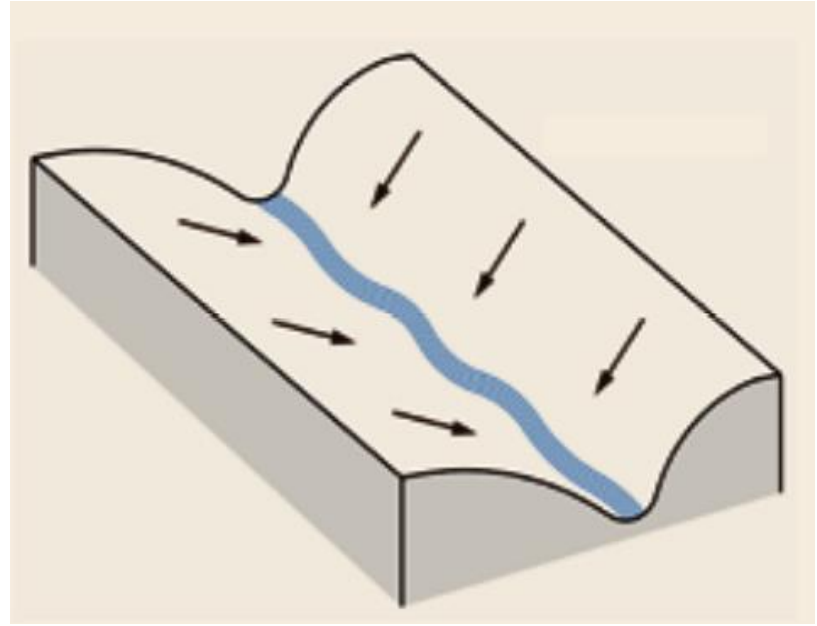
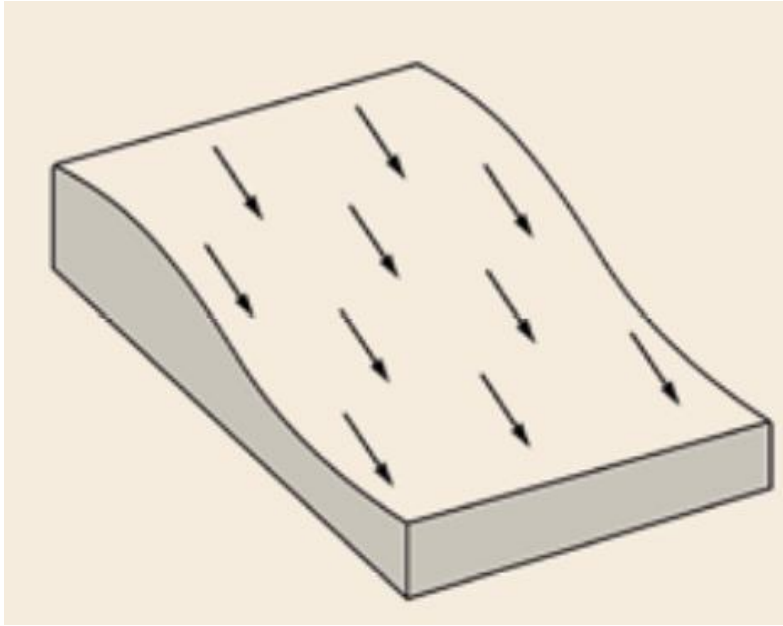
Pluie journalière de période de retour donnée  $P_T$  en mm.

### **I.2.2.7. Détermination du temps de concentration $t_c$ pour $T = 10$ ans**

La détermination de ce paramètre nécessite l'évaluation de la vitesse de l'écoulement de l'eau sur le bassin versant naturel.

L'écoulement peut être :

- Peu ou pas marqué : écoulement en nappe, qui se caractérise par un ruissellement étalé sur le BVN ;
- Ou plus marqué : écoulement concentré, qui se caractérise par les talwegs et ravins alimentés par les versants, ainsi que par les lits mineurs des cours d'eau.



**Écoulement en nappe**

**Écoulement concentré**

On pourra utiliser les vitesses fournies dans les tableaux suivants qui sont établies à partir de :

$$V = 1,4 \times p^{1/2}$$

V en m/s et p en m/m

$$V = k \times p^{1/2} \times R_h^{2/3}$$

Le tableau n°3 ci-dessous est établi pour k = 15 et R<sub>h</sub> = 1, valeurs généralement admises pour les études.

Pente en m/m	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,30
Vitesse en m/s	0,14	0,20	0,24	0,31	0,44	0,54	0,62	0,76

**Écoulement de la vitesse de l'écoulement de l'eau en nappe**

Pente en m/m	0,003	0,005	0,007	0,01	0,015	0,020	0,030	0,040	0,050	0,070	0,100	0,150	0,200
Vitesse en m/s	0,8	1,1	1,25	1,5	1,85	2,1	2,6	3	3,35	4	4,75	5,8	6,7

**Écoulement de la vitesse de l'écoulement concentré de l'eau.**

**I.2.2.8. Détermination du temps de concentration pour une période de retour > 10 ans**

$$tc_T = tc_{10} \times \left( \frac{P_T - P_0}{P_{10} - P_0} \right)^{-0.27}$$

avec :

$t_{c(T)}$  : temps de concentration pour la période de retour décennale, en mn.

$T_{c10}$  : temps de concentration décennal, en mn.

$P_{(T)}$  : pluie journalière de période de retour T, en mm.

$P_{10}$  : pluie journalière décennale, en mm.

$P_0$  : rétention initiale, en mm.

La valeur du temps de concentration est une valeur approximative qui dépend, pour partie, des précipitations et de la morphologie du Bassin Versant Naturel. Dans un souci de simplification, il sera communément admis que pour les études jusqu'au stade Avant –Projet Sommaire.

## **I.2.2. Formule Crupedix**

### **I.2.2.1. Le domaine de validité**

Le domaine de validité de cette formule est :

- A partir de 10 km<sup>2</sup>, sauf pour la façade méditerranéenne (50 km<sup>2</sup>), et jusqu'à 100 km<sup>2</sup> ;
- formule valable pour le seul débit décennal ;
- l'intervalle (Q/2,2Q) représente un intervalle de confiance qui a une probabilité de plus de 80 % d'encadrer la valeur calculée.

### **I.2.2.2. Formule :**

$$Q_{10} = R \times \left( \frac{P_{10}}{80} \right)^2 \times S_{BV}^{0.8}$$

$Q_{10}$  : débit décennal, en m<sup>3</sup>/s,

R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement

$P_{10}$  : pluie journalière de période de retour décennale, en mm

$S_{BV}$  : surface en km<sup>2</sup>

### **I.2.2.3. Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule Crupédix**

On obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = b' \cdot Q_{10}$$

a priori :  $1,4 \leq b' \leq 4$

Le paramètre  $b'$  est dépendant de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km<sup>2</sup>,  $b'$  est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de  $Q_{10}$  et  $Q_{100}$  comme si la formule rationnelle était applicable) ;
- Au-delà de 20 km<sup>2</sup>,  $b'$  est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. A défaut,  $b' = 2$  au minimum.

#### **I.2.2.4. Choix du paramètre R**

Le Coefficient régional R est à confirmer localement. En cas de non possibilité (absence de cours d'eau jaugé sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet), les valeurs des coefficients ci-après peuvent être retenues :

- $R = 0,2$  pour des terrains perméables ;
- $R = 1,5$  à  $1,8$  pour des terrains imperméables;
- $R = 1$  pour des terrains intermédiaires.

#### **I.2.2.5. Évaluation du débit $Q_T$ de période de retour T**

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumbel :

$$Q_T = Q_{10} + \Delta Q \left( \frac{y}{2.3} - 1 \right)$$

Avec :  $\Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$

$$y = \left( -\ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$

Si  $T=20$  ans  $\Rightarrow y=2.97$

Si  $T=30$  ans  $\Rightarrow y=3.38$

#### **I.2.3. Formule de transition**

Cette formule peut être justifiée dans la mesure où le débit décennal fourni par la formule rationnelle peut être parfois plus de 2 fois supérieur à celui fourni par la formule Crupédix.

Le débit fourni par la formule de transition s'écrit :

$$Q_T = \alpha \times Q_{R(T)} + \beta \times Q_{C(T)}$$

avec

$Q_T$ : débit de projet de période de retour T,

$Q_{R(T)}$ : débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T,

$Q_{C(T)}$ : débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T.

$\alpha, \beta$  : Coefficients de pondération

- $\alpha$  varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 1 à 10 km<sup>2</sup>, d'où :  $\alpha = \frac{10 - S}{9}$  et  $\beta = 1 - \alpha$
- $\alpha$  varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 10 à 50 km<sup>2</sup>, d'où :  $\alpha = \frac{50 - S}{40}$  et  $\beta = 1 - \alpha$

Les plages d'utilisation pour chacune des trois formules présentées ci-dessus sont les suivantes :

Superficie du bassin versant (en km <sup>2</sup> )	1	10	50	100
France sauf façade méditerranéenne	Formule rationnelle	Formule de transition	Formule Crupédix	Formule Crupédix
Façade méditerranéenne	Formule rationnelle	Formule rationnelle	Formule de transition	Formule Crupédix

### Plages d'utilisation pour chacune des trois formules

#### I.3. Conception des ouvrages hydrauliques

On distingue généralement 5 familles d'ouvrages : les buses circulaires, les dalots, les buses arches, les ouvrages à voûte cintrée, et les ouvrages d'art.

Dans la mesure du possible, les produits industrialisés seront à rechercher plutôt que des ouvrages coulés en place plus coûteux. Les ouvrages en béton armé, sous réserve de dispositions constructives soignées, présentent d'excellentes garanties de solidité et de longévité.

L'étude structurelle des ouvrages projetés relève d'un bureau d'études spécialisé en ouvrage d'art.

### **I.3.1. Facteurs influençant le choix des ouvrages hydrauliques**

Le choix des ouvrages est guidé par le souci permanent de la pérennité de la route, de la sécurité des usagers, du coût d'investissement et des modalités d'entretien ultérieur de l'ouvrage. Les facteurs influençant le choix sont :

- l'importance du **débit à évacuer** qui fixe la section d'écoulement et le type de l'ouvrage ;
- les **caractéristiques hydrauliques** de l'ouvrage : Coefficient de rugosité (K), Coefficient d'entonnement ( $K_e$ ) créant une perte de charge à l'entrée, forme de la section d'écoulement ;
- la **largeur du lit**. Un ouvrage unique adapté au débit à évacuer et à la largeur du lit du cours d'eau est généralement préférable à des ouvrages multiples qui augmentent les pertes de charges et rendent plus difficile le passage des corps flottants ;
- la hauteur disponible entre la cote du **projet et le fond du talweg** ;
- les charges statiques et dynamiques qui sollicitent l'ouvrage hydraulique ;
- les **conditions de fondation des ouvrages** ;
- la **rapidité et la facilité de mise en œuvre** : les produits industrialisés approvisionnés en éléments transportables et montés sur place peuvent constituer une solution intéressante pour réduire les délais d'exécution et dans le cas où l'accès au chantier est difficile ;
- la **résistance aux agents chimiques** ;
- la **résistance au choc** : les ouvrages massifs résistent mieux aux chocs et à l'abrasion par le charriage de matériaux solides.

### **I.3.2. Protections des ouvrages hydrauliques :**

Il peut être envisagé de caler le radier de l'ouvrage hydraulique à au moins 0,30 m sous le fond du lit du cours d'eau pour permettre la reconstitution d'un fond naturel dans l'ouvrage (remontée de poissons).

La surélévation du niveau amont des écoulements et l'accroissement des vitesses en sortie d'ouvrage nécessitent le plus souvent des protections en amont et en aval des ouvrages.

Toute rectification du tracé nécessitera :

- la **continuité de l'écoulement hydraulique** ;
- la **protection efficace** des berges aux changements de direction par des techniques pérennes relevant prioritairement du génie végétal « Protection des berges de cours d'eau en techniques végétales ». Les techniques de renforcement par enrochements et gabions devront être réservées aux sections fortement sollicitées par la vitesse de l'écoulement, si les enjeux sont importants en terme de sécurité des personnes et des biens à fortes valeurs ajoutées ;
- les écoulements en pente importante  $p = 4\%$  posent des problèmes spécifiques (détermination de la hauteur d'eau amont, vitesse dans les ouvrages...) qui ne sont pas traités dans ce guide.

### **I.3.3. Calcul des ouvrages**

Le calcul des ouvrages ne peut se faire qu'après avoir disposé des contraintes de l'écoulement naturel en aval recueillies jusqu'à au moins 100 m de l'ouvrage hydraulique.

Par ailleurs, les ouvertures des ouvrages hydrauliques de rétablissement sont généralement inférieures à la section courante du ruisseau ou du talweg pour des raisons de coûts. Ce rétrécissement hydraulique n'est pas neutre pour son fonctionnement et notamment en période d'évacuation du débit de crue.



### **I.3.4. Ce qu'il faut retenir :**

- l'ouvrage doit pouvoir évacuer la crue correspondant au débit de projet avec une hauteur d'eau amont de l'ouvrage ( $H_{AM}$ ) compatible avec le calage du projet et la préservation des biens privés ;
- la vérification pour un débit exceptionnel doit être examinée ;
- dans le cadre du présent support de cours, la hauteur d'eau amont ( $H_{AM}$ ) est confondue avec la ligne de charge ;
- le calage du profil en long nécessite de connaître l'exhaussement de la ligne d'eau inhérente à ce rétrécissement hydraulique. Il est donc nécessaire de déterminer le régime d'écoulement ;
- le calage de l'ouvrage ne doit pas engendrer un ressaut hydraulique ;
- le calcul est mené de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire on recherche en priorité le régime d'écoulement dans le ruisseau à l'aval de l'ouvrage hydraulique ;
- la vitesse d'écoulement ne doit pas excéder 4 m/s pour les ouvrages en béton et 2,5 m/s pour les buses métalliques.

La méthode présentée dans le présent support de cours est une méthode simplifiée (théorème de Bernoulli simplifié). Elle fait appel à des notions de base de l'hydraulique

Le principe de la méthode consiste à déterminer en premier lieu le régime de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage projeté pour calculer la hauteur d'eau à l'amont  $H_{AM}$  de l'ouvrage :

- si l'écoulement est en régime fluvial, l'ouvrage projeté doit être calé en régime fluvial (application des abaques annexés 1) ;
- si l'écoulement est en régime torrentiel, l'ouvrage projeté peut être calé en régime fluvial ou torrentiel (application des abaques annexés 2).

La relation générale donnant  $H_{AM}$  est la suivante :

$$H_{AM} = y_e + (1 + K_e) \frac{V_e^2}{2g}$$

Avec :

$y_e$  : hauteur d'eau à l'entrée et à l'intérieur immédiat de l'ouvrage hydraulique, en mètre.

$V_e$  : vitesse à l'entrée de l'ouvrage en mètre par seconde sous  $y_e$ .

$K_e$  : Coefficient de perte de charge à l'entrée de l'ouvrage hydraulique (fonction du type de tête).

$G$  : accélération de la pesanteur en  $m/s^2$

$$V_e = V_e = \frac{Q}{S_{EM}}$$

$S_{EM}$  : section mouillée à l'entrée de l'ouvrage hydraulique sous  $y_e$  en  $m^2$

#### **I.4. Entretien et exploitation des ouvrages hydrauliques**

L'accès aux ouvrages hydrauliques doit tenir compte des contraintes d'exploitation.

Une visite annuelle et une visite après une crue sont nécessaires pour prévoir, le cas échéant des travaux d'entretien de l'ouvrage et l'évacuation des différents atterrissements.

Le diamètre minimal des ouvrages hydrauliques sous autoroutes est de 800 mm. Cette dimension devra, dans tous les cas de figure, être compatible avec les capacités d'entretien du gestionnaire.

Pour les routes à 2 ou 3 voies, ce diamètre pourra être réduit à 600 mm tout en garantissant également les conditions d'exploitation.