

Guide technique

Assainissement routier



Guide technique

----- **Assainissement routier**



collection les outils

Ce guide technique sur l'assainissement routier a été réalisé par un groupe de travail constitué par des représentants du Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Équipement et de bureaux d'études. Sa validation technique a été assurée par Yves Guidoux (Sétra).

Composition du groupe de travail :

- David Gaillard (Sétra),
- J. Ranchet (DREIF - LREP),
- Jean Béréterbide (CETE Sud-Ouest),
- Marc Valin (CETE Nord-Picardie),
- Jacques Hurtevent (CETE Méditerranée),
- Alain Costille (DDE 95),
- Gilles Cartoux (DDE 58),
- René Marcaud (Sté SILENE),
- Alain Limandat (SEEE).

La rédaction et la mise en forme ont été assurées par :

- Marie Odile Cavaillès (Sétra).
- Serge Criscione (DREIF - LREP),
- Jacques Hurtevent (CETE Méditerranée),
- Marc Valin (CETE Nord-Picardie),
- Bruno Van-Hauwaert (CETE Nord-Picardie) pour la réalisation des schémas.

Aide à la lecture du guide

- le **glossaire**, en annexe 4.3 donne les définitions des principaux termes (repérés par *) spécifiques utilisés ;
- les **abréviations** et **symboles** rencontrés dans le texte sont explicités en annexe 4.4 ;
- les **renvois bibliographiques** : dans le texte, les numéros entre crochets [] correspondent aux documents mentionnés dans la bibliographie en annexe 4.6.



Préambule	5
1 - Conception technique des ouvrages	7
1.1 - Rétablissement des écoulements naturels (bassins versants < 100 km ²)	7
1.1.1 - Éléments de doctrine	8
1.1.2 - Détermination du débit de projet	9
1.1.3 - Conception des ouvrages hydrauliques	13
1.1.4 - Entretien et exploitation des ouvrages hydrauliques	14
1.2 - Assainissement de la plate-forme	15
1.2.1 - Éléments de doctrine	15
1.2.2 - Nature et fonction des réseaux	16
1.2.3 - Choix des ouvrages d'assainissement et calcul hydraulique	19
1.2.4 - Entretien et exploitation des ouvrages	19
1.3 - Drainage routier	20
1.3.1 - Définition	20
1.3.2 - Qui fait quoi ?	20
1.3.3 - Rappel sommaire des effets de l'eau sur la route	20
1.4 - Lutte contre la pollution routière	20
1.4.1 - Définition	20
1.4.2 - Qui fait quoi ?	20
1.4.3 - Rappel sommaire des enjeux	20
2 - Progression des études	21
2.1 - Études préliminaires	21
2.1.1 - Hydraulique *	21
2.1.2 - Protection de la Ressource en Eau (RE) :	21
2.2 - Études d'avant projet sommaire (APS)	22
2.2.1 - Choix des échelles des plans des tracés étudiés	22
2.2.2 - Assainissement routier au stade de l'APS	22
2.3 - Études de projet	24
2.3.1 - Contraintes de calage	24
2.3.2 - Validation des principes généraux	24
2.4 - Dossiers Loi sur l'eau (DLE) ou dossier police de l'eau	26
2.4.1 - Au niveau de l'étude de projet	26
2.4.2 - Au niveau de l'Avant-Projet Sommaire (APS)	26

3 - Démarche qualité des études	29
3.1 - Notions de processus et de progression, d'entrées, de sorties et de tâches	29
3.1.1 - Processus	29
3.1.2 - Progression	29
3.1.3 - « Entrées » requises et « sorties » attendues	30
3.1.4 - Tâches principales	30
3.2 - Passer une commande	31
3.2.1 - Principes généraux	31
3.2.2 - Progression des études	31
3.3 - Traçabilité des choix, archives	41
3.4 - Valider la production	41
4 - Annexes techniques générales	43
4.1 - Éléments d'hydrologie générale	43
4.1.1 - Données pluviométriques	43
4.1.2 - Exemple d'application numérique pour le calcul d'un débit de projet d'un bassin versant naturel	45
4.2 - Éléments d'hydraulique générale	51
4.2.1 - Rappels sur la théorie des écoulements	51
4.2.2 - Abaques de dimensionnement de petits ouvrages hydrauliques pour le rétablissement des écoulements naturels	57
4.2.3 - Dispositions constructives et protections des ouvrages hydrauliques	66
4.2.4 - Dimensionnement d'un ouvrage hydraulique de rétablissement des écoulements naturels - Exemple d'application	68
4.2.5 - Assainissement de la plate-forme - mode calculatoire	74
4.2.6 - Assainissement de la plate-forme - Calculs hydrauliques - exemples d'applications	76
4.3 - Glossaire	83
4.4 - Abréviations et symboles	86
Abréviations	86
Symboles	87
4.5 - Tableau de synthèse des formules courantes	89
4.6 - Bibliographie (liste non exhaustive)	90





Préambule

L'hydraulique routière couvre le rétablissement des écoulements naturels, l'assainissement des plates-formes de chaussée, le drainage et la lutte contre la pollution routière. La recommandation sur l'assainissement routier de 1982 a essentiellement traité des deux premiers domaines. La collection des guides « L'eau et la route » traite de la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques dans le cadre des infrastructures routières.

Un groupe de travail composé d'experts hydrauliciens a été mis en place par le Sétra pour actualiser les connaissances dans le domaine de l'hydraulique et prendre en compte les impacts liés à la protection de l'environnement.

Ces travaux se sont concrétisés par un guide composé de trois grands chapitres :

- la conception technique des ouvrages ;
- les études ;
- la démarche qualité.

Des annexes techniques générales donnent des exemples de calcul et des abaques à utiliser.

Il a été conçu pour répondre aux besoins et aux attentes des maîtres d'œuvre. C'est avant tout un outil qui aide à la conception des ouvrages d'assainissement pour les projets routiers neufs et aux études de réhabilitation des routes existantes.

Ce guide 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 seul le cas des petits rétablissements d'écoulements naturels est traité ici (superficie du bassin versant inférieure à une centaine de kilomètres carrés). Pour les bassins versants plus importants, ou lorsque se posent des problèmes hydrauliques spécifiques, le concours d'un spécialiste est nécessaire.

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 document 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 car ces deux domaines font l'objet de guides spécifiques, l'un sur le drainage et l'autre sur le traitement de la pollution qui seront diffusés par le Sétra en même temps que celui-ci.





1 - Conception technique des ouvrages

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.

1.1 - Rétablissement des écoulements naturels (bassins versants < 100 km²)

Le rétablissement des écoulements naturels 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 (cf. schéma n°1). 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, qui dépasse le cadre du présent document.
- le franchissement d'un cours d'eau* important, ou qui pose des problèmes hydrauliques spécifiques. Là encore, une étude faite par un spécialiste s'impose.
- le franchissement de cours d'eau* dont la superficie du bassin versant n'excède pas une centaine de kilomètres carrés, sans enjeu particulier, qui fait l'objet du présent chapitre. Au-delà de ce seuil, l'étude nécessite l'intervention de spécialistes en matière d'hydrologie*, d'hydraulique* et d'hydrogéomorphologie*.

Initialement, le point de concentration des eaux se trouvait à l'aval au point **A**.
La réalisation de l'infrastructure a déplacé ce point en amont au point **B**

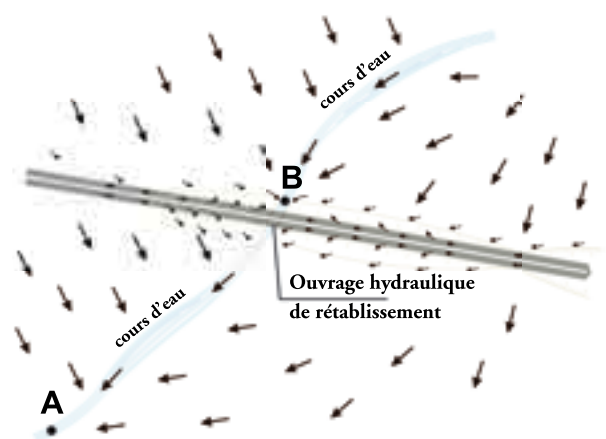


Schéma n° 1 : déplacement du point de concentration des eaux

1.1.1 - 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).

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'utilisateur, les riverains, les ouvrages routiers (perturbations locales et temporaires de la circulation et situations à risques) et enfin l'impact sur le milieu naturel.

Dans tous les cas, la connaissance de la réglementation et la consultation des services de police de l'eau et de la Mission Inter-Service de l'Eau (MISE) s'avèrent nécessaires.

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.

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 ≤ 2 m.

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

- ouvrages en béton : ≤ 4 m/s ;
- ouvrages métalliques : $\leq 2,5$ m/s => cf. annexe 4.6 [8].

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.

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 (cf. schéma n° 2). 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.

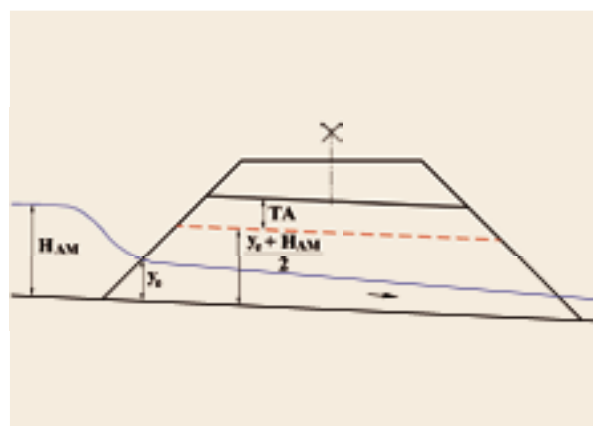


Schéma n° 2 : tirant d'air de l'ouvrage hydraulique

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.

Libre circulation de la faune piscicole

La migration des poissons vers l'amont doit être assurée par le tirant d'eau minimum avec une vitesse d'écoulement limité lors des périodes d'étiage.

Un aménagement du fond de l'ouvrage pour reconstituer un lit naturel est souvent nécessaire.

Se référer aux ouvrages « facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement » [1] et « Passes à poissons : expertise, conception des ouvrages de franchissement » [2].

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.

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.

1.1.2 - Détermination du débit de projet

(un exemple d'application de calcul de débit de projet est donné dans l'annexe 4.1.2)

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.

Formule rationnelle

Domaine de validité

Son domaine de validité est le suivant :

- jusqu'à 1 km² en France métropolitaine, façade méditerranéenne exceptée ;
- jusqu'à 10 km² sur la façade méditerranéenne (zone ayant des intensités pluviométriques similaires aux régions PACA, Corse, Languedoc Roussillon).

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 m³/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 km².

$$C_{(T)} = \frac{\sum (A_i C_i)}{S_{BVN}}$$

A_j : surface partielle du BVN de coefficient C_j en km^2

$$i_{(T)} = a_{(T)} \times t_c^{-b_{(T)}}$$

t_c : temps de concentration t_c en minutes

$$t_c = \sum \frac{L_j}{V_j}$$

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

Les coefficients de Montana 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 des coefficients de Montana peuvent être obtenues auprès des services de la Météo.

Coefficient de ruissellement* C_{10}

Pour T = 10 ans (valeurs indicatives)

(cf. tableau n° 1)

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 :

$$P_0 = 0 \text{ et } C_{(T)} = C_{(10)}$$

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

Un exemple d'application de la variation du coefficient de ruissellement* de la pluie est donné en annexe 4.1.2.

Paramètres pluviométriques

Ces paramètres (cf. annexe 4.1.1) sont à obtenir auprès des services de Météo France.

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.

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

Tableau n° 1 : coefficient de ruissellement pour T = 10 ans

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 (cf. schéma n° 3), qui se caractérise par un ruissellement étalé sur le BVN ;
- ou plus marqué : écoulement concentré (cf. schéma n° 4), qui se caractérise par les talwegs* et ravins alimentés par les versants, ainsi que par les lits mineurs des cours d'eau.

On pourra utiliser les vitesses fournies dans les tableaux n° 2 et 3.

Ces valeurs sont établies à partir de :

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

V en m/s

p en m/m

$$V = k \times p^{1/2} \times R_h^{2/3} \quad (\text{cf. annexe 4.2.1})$$

Le tableau n°3 ci-dessous est établi pour $k = 15$ et $R_h = 1$, valeurs généralement admises pour les études d'APS.

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

$$t_{c(T)} = t_{c_{10}} \times \left(\frac{P_{(T)} - P_0}{P_{10} - P_0} \right)^{-0,21}$$

avec :

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

$T_{c_{10}}$: 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, les formules empiriques citées en annexe 4.5 peuvent être prises en compte.

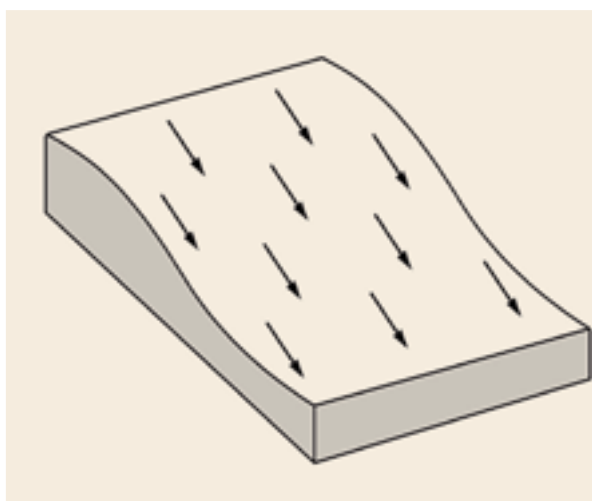


Schéma n° 3 : écoulement en nappe

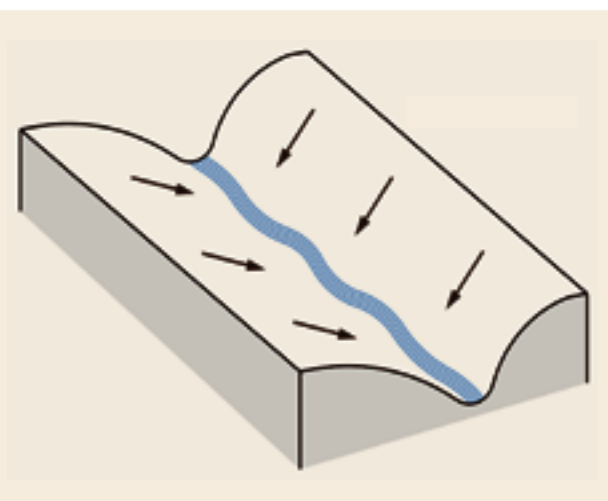


Schéma n° 4 : écoulement concentré

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

Tableau n° 2 : évaluation 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

Tableau n° 3 : évaluation de la vitesse de l'écoulement concentré de l'eau

Formule Crupédix

Elle provient du Ministère de l'Agriculture (Cemagref, 1980).

Domaine de validité :

- à partir de 10 km², sauf pour la façade méditerranéenne (50 km²), et jusqu'à 100 km² ;
- 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.

Formule :

$$\text{Le débit } Q_{10} = R \times \left(\frac{P_{10}}{80} \right)^2 \times S_{BV}^{0,8}$$

avec

Q_{10} : débit décennal, en m³/s,

R : coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement

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

S_{BV} : surface en km²

Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule Crupédix

On obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = b' \cdot Q_{10} \quad \text{a priori : } 1,4 \leq b' \leq 4$$

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

- jusqu'à 20 km², 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 km², 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.

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 (Champagne, Beauce) ;

$R = 1,5$ à $1,8$ pour des terrains imperméables (plateau lorrain, Vendée) ;

$R = 1$ pour des terrains intermédiaires.

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 :

$$Q_{(T)} = Q_{10} + \Delta Q \left(\frac{y}{2,3} - 1 \right)$$

$$\text{avec } \Delta Q = Q_{100} - Q_{10} \quad y = (-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))$$

$$\text{Si } T = 20 \text{ ans} \quad y = 2,97$$

$$\text{Si } T = 30 \text{ ans} \quad y = 3,38$$

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 ,

α, β : coefficients de pondération

- α varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 1 à 10 km², d'où :

$$\alpha = \frac{10 - S}{9} \text{ France sauf façade méditerranéenne}$$

$$\text{et } \beta = 1 - \alpha$$

- α varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 10 à 50 km²

$$\alpha = \frac{50 - S}{40} \text{ Façade méditerranéenne}$$

$$\text{et } \beta = 1 - \alpha$$

Les plages d'utilisation pour chacune des trois formules présentées ci-dessus sont les suivantes : (cf. tableau n° 4).

Un exemple d'application est proposé en annexe 4.1.2 sur un bassin versant naturel fictif.

Superficie du bassin versant (en km ²)	1	10	50	100
France sauf façade méditerranéenne	Formule rationnelle	Formule de transition	Formule Crupedix	Formule Crupedix
Façade méditerranéenne	Formule rationnelle	Formule rationnelle	Formule de transition	Formule Crupedix

Tableau n° 4 : plages d'utilisation pour chacune des trois formules

1.1.3 - 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.

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.

Protections des ouvrages hydrauliques (cf. annexe 4.2.3)

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 [10] « 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.

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.

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 guide, 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 guide est une méthode simplifiée (théorème de Bernoulli simplifié). Elle fait appel à des notions de base de l'hydraulique* (prise en compte des régimes d'écoulement). Les données de base nécessaires à la compréhension du mode calculatoire figurent en annexe 4.2.1.

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 1 à 5 – cf. annexe 4.2.2) ;

- si l'écoulement est en régime torrentiel*, l'ouvrage projeté peut être calé en régime fluvial* ou torrentiel* (application des abaques 1 à 5 – cf. annexe 4.2.2).

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

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

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

Un exemple d'application numérique est proposé en annexe 4.2.4.

1.1.4 - 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.

1.2 - Assainissement de la plate-forme

Il s'agit de la collecte et de l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route.

Composante essentielle du projet routier, l'assainissement de la plate-forme vise trois objectifs :

- la sécurité des usagers, en évacuant l'eau des chaussées et des talus ;
- la pérennité de l'infrastructure, en collectant les eaux et en les évacuant de la route ;
- la lutte contre la pollution routière.

Un réseau mal conçu induira des désordres de surface (débordements des ouvrages, inondations...), des désordres structurels importants de la chaussée sur le moyen terme. Ces situations sont des facteurs aggravants pour la sécurité des usagers et l'intégrité de la route. Par ailleurs, tout écoulement routier transféré hors plate-forme n'est pas neutre pour l'environnement.

1.2.1 - Éléments de doctrine

Les contraintes environnementales (exutoires*, vulnérabilité des milieux), l'hydrogéologie*, la géotechnique (nature des sols) ainsi que la géométrie du projet (points hauts et bas, chaussées déversées), et la sécurité des usagers, interviennent dans la conception globale des réseaux.

Il est préconisé d'adopter les principes suivants :

En matière de conception routière :

- en profil rasant, le profil en long de la plate-forme doit être calé telles que les structures de chaussée et de couche de forme soient en remblai et que les rejets de plate-forme puissent être évacués gravitairement dans l'ouvrage d'assainissement ;
- éviter les pentes inférieures à 0,5 % car elles entraînent des risques de stagnation d'eau au changement de dévers ;
- éviter les zones en déblais profonds (tranchées). Il s'agit souvent de point critique à assainir et de secteur parfois soumis aux rabattements des nappes ;
- proscrire les points bas en déblais.

En matière d'assainissement :

- respecter les critères d'implantation des ouvrages au regard des règles de sécurité des usagers (*cf.* Guide sur le traitement des obstacles latéraux [6]) ;
- adapter l'étanchéité des ouvrages de collecte aux enjeux de protection de la ressource en eaux (*cf.* Guide sur le traitement de la pollution routière [13]) ;
- équiper les crêtes de talus de déblai d'ouvrages longitudinaux dans le cas de ruissellement de bassin versant naturel (érosion de talus et surcharge hydraulique du réseau de pied de talus) ;

- proscrire les stations de pompage (poste de refoulement et poste de relèvement), sauf cas exceptionnels (installations coûteuses, entretien et exploitation complexes) ;
- rechercher toujours à faire circuler l'eau gravitairement et superficiellement ;
- multiplier les points de rejets si possible, pour éviter les concentrations des débits à pondérer avec les enjeux environnementaux ;
- étudier les possibilités d'écrêtement d'infiltrations (si c'est cohérent avec la protection de la ressource en eau) et des débits à l'aval (noues*, bassins de retenue intermédiaires, etc.) ;
- dimensionner les réseaux au moins pour la pluie d'occurrence décennale ($T = 10$ ans) ;
- vérifier que la chaussée ne soit pas submergée pour une période de retour de 25 ans ; a contrario, on pourra admettre celle de l'accotement pour $T = 25$ ans ;
- éviter de déverser dans les réseaux de la plate-forme* routière, les eaux issues des bassins versants naturels ou des nappes ;
- prévoir un ouvrage revêtu si la pente est ≤ 1 % ou si la vitesse de l'écoulement est susceptible d'entraîner une érosion (la pente critique est souvent de l'ordre de 3,5 %) ;
- dans les régions soumises au gel, préférer des ouvrages bétonnés aux ouvrages maçonnés ;
- les ouvrages engazonnés ralentissant les transferts de débits à l'aval, sont propices à l'infiltration et favorisent l'abattement de la pollution.

1.2.2 - Nature et fonction des réseaux

Le réseau d'assainissement doit collecter les eaux de ruissellement provenant des bassins versants routiers et des talus pour les évacuer vers des exutoires*. Son architecture se développe principalement tout le long de l'infrastructure suivant une logique hydraulique gravitaire (entre un point haut et un point bas) par assemblage d'ouvrages élémentaires (linéaires ou ponctuels, enterrés ou superficiels).

Les réseaux de plate-forme*, ont la spécificité d'être principalement des réseaux linéaires parallèles à l'axe de la route, (distinguer cependant les réseaux hors plate-forme des réseaux situés sur la plate-forme). Le schéma n° 5 rappelle la situation de ces réseaux sur le profil en travers d'une route 2 x 2 voies.

L'architecture d'un réseau d'assainissement peut être décomposée conventionnellement en 5 grandes parties : Les réseaux de collecte longitudinaux, les ouvrages transversaux, les ouvrages de raccordement, les ouvrages de contenance et de dépollution et les exutoires*.

Réseaux de collecte longitudinaux

Réseau de crête de talus de déblai

Le rôle du réseau de crête de talus de déblai (cf. schéma n°6) est d'éviter l'érosion du talus et d'alimenter en écoulement le réseau de pied de talus.

Généralement cet ouvrage est revêtu pour éviter son érosion et les infiltrations susceptibles de compromettre la stabilité du talus. Il intercepte les eaux de ruissellement du bassin versant naturel modifié par le tracé routier. Il sera implanté en retrait (1 à 2 m) par rapport à la crête du talus. Cet ouvrage devra être dimensionné en capacité suffisante par tronçon homogène. Il convient de prévoir les aménagements nécessaires à son entretien.

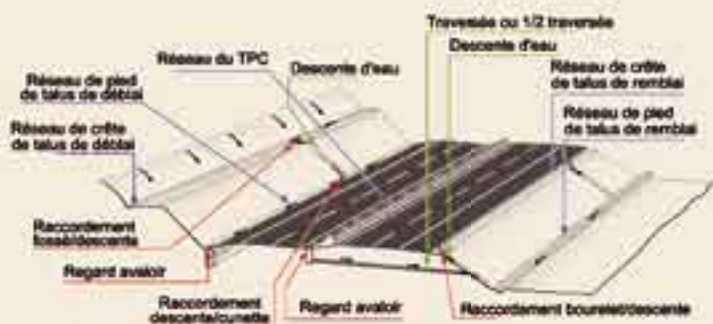


Schéma n° 5 : situation des réseaux sur le profil en travers d'une route à 2 x 2 voies

Réseau de pied de talus de déblai

Ce réseau a pour fonction de collecter les eaux issues du ruissellement du talus de déblai, de la chaussée, de la bande d'arrêt d'urgence et de la berme*.

En règle générale et en section courante, une **cunette* de faible profondeur** est réalisée **enherbée ou revêtue** en fonction des contraintes (pente). De par sa conception, la cunette* ne doit pas remettre en cause la sécurité des usagers. Son degré d'étanchéité doit être compatible avec le niveau de protection de la ressource en eau. A intervalle régulier, la cunette* doit être raccordée à un collecteur enterré. Ce dernier pourra servir à récupérer, via les regards, les eaux claires de drainage.

Un dimensionnement hydraulique s'avère indispensable.

Suivant l'importance de l'impluvium* constitué par le talus un double réseau peut être envisagé :

- un réseau récupérant uniquement les eaux de talus avec rejet direct dans l'exutoire* ;
- un réseau regroupant les écoulements de chaussée et débouchant dans un dispositif de traitement avant rejet à l'exutoire*.

Réseau du Terre-Plein Central (TPC)

Le réseau du TPC a pour fonction de collecter et d'évacuer les eaux issues du TPC et de la demi chaussée déversée.

Bien que non circulée, cette partie de la plate-forme* doit faire l'objet d'un traitement soigné afin d'éviter le ruissellement des eaux de la chaussée haute vers la chaussée basse (risques d'aquaplanage) et pour protéger la chaussée des infiltrations (cas des TPC non revêtus) :

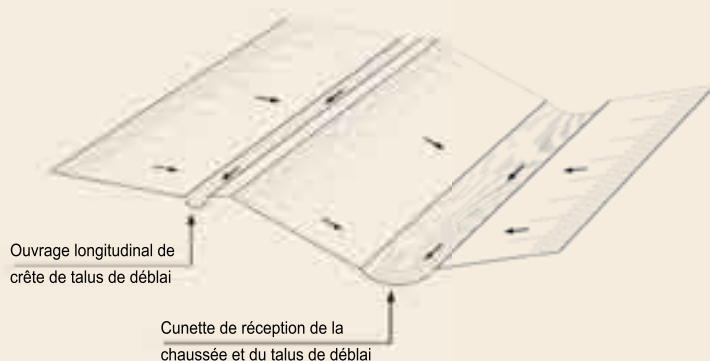


Schéma n° 6 : position du réseau de crête de talus de déblai

- cas des TPC non revêtus : en alignement droit le ruissellement sera canalisé par un ouvrage superficiel de transport longitudinal (revêtu ou pas) de type **fossé* plat ou caniveau préfabriqué**. Ce dispositif de surface sera complété par la mise en place d'un drainage pour protéger le corps de chaussée de la migration des eaux au travers du TPC vers les structures de chaussée et sol support (cf. schéma n° 7).

En courbe déversée, un caniveau* béton sur la rive du TPC permet d'intercepter au plus près, si nécessaire les eaux de la chaussée déversée. Suivant la position de la glissière de sécurité, s'il y en a une, ce caniveau* est à recouvrir (à grille, fendu ou béton ajouré). L'ouvrage devra dans la mesure du possible ne pas être sous la glissière pour des questions pratiques d'accessibilité et d'entretien (cf. schéma n° 8).

- cas des TPC revêtus : en alignement droit (profil en toit) l'écoulement des eaux de chaussée se fera gravitairement vers les rives extérieures de la chaussée. En courbe déversée, un **caniveau* en béton** devra être implanté dans la position qui permet d'assainir le maximum de superficie de la chaussée déversée.

Dans le cas de rechargements successifs de la chaussée hors TPC, il faudra prévoir, dès le projet, un rejet au point bas du profil en long.

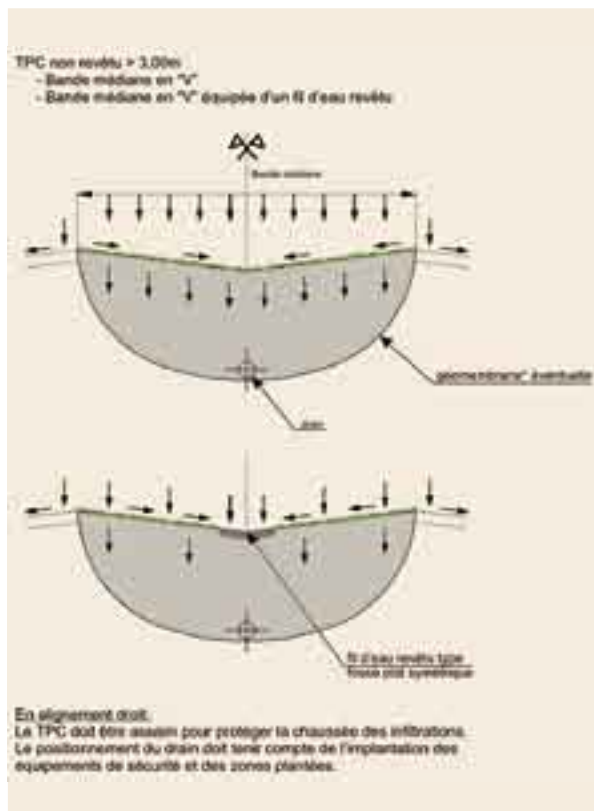


Schéma n° 7 : TPC non revêtu

Réseau de crête de talus de remblai

Cette partie du réseau longitudinal a pour fonction de canaliser l'eau issue du ruissellement de la chaussée pour éviter son déversement en rive sur le talus de remblai. Il protège donc le talus routier contre toute altération (ravinement, érosion et en état limite, la rupture). En règle générale, ce type d'ouvrage est à prévoir :

- dès que la hauteur du talus de remblai est ≥ 4 m. Ce seuil est ramené à 2 m pour les régions exposées à une intensité pluvieuse importante (région méditerranéenne notamment) ;
- pour évacuer les écoulements de la plate-forme* en un point privilégié du tracé.

En section courante, l'ouvrage peut être constitué de **bourrelets*** (béton bitumeux, béton hydraulique) ou de **bordures béton de type T1 et T2**. Les profils doivent être compatibles avec les règles de sécurité. Il faut créer des descentes d'eau pour décharger l'écoulement vers le pied de talus (réseau de pied de talus de remblai). Sauf cas spécifique, le pas de ces descentes est généralement de :

- 50 m en région océanique ou continentale ;
- 30 m en région de forte intensité pluvieuse ;
- 30 m lorsque la pente du profil en long est $\leq 0,5$ % ou $\geq 3,5$ %.

Il conviendra dans tous les cas de tenir compte des points suivants :

- la saturation hydraulique de cet ouvrage pour une pluie d'occurrence décennale ne devra pas provoquer une submersion de la chaussée. (submersion de la bande d'arrêt d'urgence ou bande d'arrêt tolérée pour $T = 25$ ans) ;



Schéma n° 8 : courbe déversée : un ouvrage superficiel complète le dispositif. Son implantation doit tenir compte des dispositifs de sécurité et des chargements ultérieurs de la chaussée

- le talon d'un dispositif de retenue en béton peut faire office de fil d'eau dans certaines configurations de la route (prévoir des passages d'eau ou grille d'absorption) ;
- pour la prise en compte de la protection de la ressource en eau, un caniveau* voire un collecteur évacuant les écoulements en un point donné remplacera le bourrelet*.

Réseau de pied de talus de remblai

Situé au niveau du terrain naturel, ce réseau doit collecter toutes les eaux de l'impluvium* routier, gravitairement, pour les diriger vers l'exutoire* sans préjudice pour les fonds inférieurs. Sur certains tracés, ce réseau intercepte également les eaux de ruissellement d'un bassin versant naturel pour les diriger vers des ouvrages de traversée.

Cette branche du réseau permet également de protéger le pied de talus du remblai contre l'érosion. L'ouvrage est généralement un fossé trapézoïdal enherbé à forte capacité hydraulique, ou un fossé* revêtu lorsque des risques d'érosion sont à craindre (la pente critique est souvent de l'ordre de 3,5 %).

Ouvrages transversaux

On classe sous cette rubrique les ouvrages assurant un transfert des écoulements d'un réseau longitudinal vers un autre. Classiquement cette famille d'ouvrages intègre les ouvrages superficiels comme les descentes d'eau tuilées et les traversées sous-chaussée (collecteurs enterrés). L'implantation est subordonnée à l'examen des points suivants : la géométrie de la route, le sens des écoulements (de la plate-forme et des bassins versants naturels associés), les débits transportés, et la position des exutoires*.

Quelques règles à appliquer :

- les eaux d'un talus de déblai doivent, dès que possible, être rejetées hors plate-forme* via une traversée sous la chaussée ;
- lorsque l'infrastructure comporte un TPC, prévoir pour la traversée un regard de visite dans le terre-plein central ;
- préférer les descentes d'eau tuilées à une canalisation (risques importants d'obstruction) ;
- le pied des descentes d'eau tuilées sera aménagé au raccordement avec le fossé* pour éviter l'érosion (forme de béton).

Ouvrages de raccordement

Il s'agit des regards et des différents raccordements des liaisons transversales avec le réseau longitudinal ; de leur bonne exécution dépend le bon fonctionnement du système d'assainissement et de sa pérennité. Le plus souvent, ces ouvrages sont préfabriqués et plus rarement coulés en place. Il s'agit des :

- regards de visite : nécessaires pour l'entretien et le contrôle des collecteurs enterrés ;
- regards avaloirs : servant à l'engouffrement des eaux ;
- têtes de buse pour l'entonnement des eaux et le maintien des terres ;
- divers raccordements (bourrelets*/descentes, descentes/fossés, ...) ;
- autres.

Quelques règles à appliquer :

- un regard devra être impérativement prévu à chaque changement de direction du tracé du collecteur, à une rupture de pente dans le profil en long et à une modification du diamètre du collecteur ;
- prévoir dans ces ouvrages des cunettes* de décantation (mini : 10 cm de profondeur) qui piègeront les fines et les graviers.

Ouvrages de contenance et de dépollution

Par ouvrage de contenance, il faut entendre les bassins de régulation (écrêteurs, d'orage ou de retenue) qui ont pour fonction principale de stocker et différer les débits à l'aval vers l'exutoire. Ces bassins ont un rôle multifonction : décantation et lutte contre la pollution accidentelle.

Les ouvrages de contenance et de dépollution relèvent de techniques spécialisées.

Exutoires*

Les exutoires* pouvant recevoir les rejets en terme de quantité et qualité sont à identifier en amont de la conception du réseau.

1.2.3 - Choix des ouvrages d'assainissement et calcul hydraulique

Choix des ouvrages d'assainissement

Il n'existe a priori aucune solution toute faite et reproductible à tous les projets routiers. Toutefois, le choix d'un ouvrage d'assainissement doit principalement reposer sur 4 critères :

- sa capacité hydraulique ;
- son insertion dans le profil en long et le profil en travers du projet routier, donc sa géométrie qui prend en compte l'aspect sécurité de l'utilisateur également ;
- son niveau de protection au regard de la vulnérabilité des eaux ;
- sa facilité d'entretien et d'exploitation des ouvrages.

Calcul hydraulique des ouvrages

La méthode de dimensionnement des ouvrages d'assainissement est fondée sur l'application de la formule rationnelle.

$$Q = 2,78 \times C \times i \times A \quad \text{Equation 1}$$

avec

Q = débit en l/s produit pour le bassin versant routier pour une fréquence identique à la fréquence de i

C = coefficient de ruissellement* de la plate-forme sans dimension

i = intensité en mm/h pour une fréquence déterminée

A = surface en ha de la plate-forme

Le principe de calcul est donc de déterminer l'ouvrage d'assainissement qui possède la capacité d'évacuer ce débit. Pour cela, le débit capable* de l'ouvrage Q_c (écoulement à pleine section) donné par la formule de Manning Strickler* (cf. annexe 4.2.1) :

$$Q_c = 1000 K R_b^{2/3} p^{-1/2} S_0$$

avec :

Q : débit en m³/s

K : coefficient de rugosité

R_b : rayon hydraulique avec : $R_b = \frac{S_m}{P_m}$ en mètres

S_m : section mouillée* en m²

P_m : périmètre mouillé* en m

p : pente en m/m

est comparé au débit de ruissellement trouvé par l'équation 1 ci-dessus.

L'annexe 4.2.5 expose le principe du mode calculatoire et l'annexe 4.2.6 propose le calcul d'ouvrages classiques à savoir le dimensionnement d'une cunette* engazonnée, d'un caniveau* en TPC, d'une succession de 2 ouvrages de collecte et de l'alimentation d'un bassin par association de branches de réseau.

Le calcul est mené par itération.

1.2.4 - Entretien et exploitation des ouvrages [11]

Quelques recommandations sont à prendre en compte au niveau de la conception du projet :

- les ouvrages superficiels sont préférables aux ouvrages enterrés ;
- réduire autant que faire se peut les différentes typologies des ouvrages ;
- choisir des ouvrages rustiques et accessibles et des matériaux pérennes ;
- ne pas descendre en dessous d'un diamètre de 600 mm pour les traversées sous chaussée et 400 mm pour les demi-traversées pour des raisons d'entretien et de décantation des eaux mais également pour répondre à des problèmes de tassement. En effet, ces ouvrages qui reposent généralement sur le terrain naturel, subissent des charges importantes (remblai, trafic, ...) et peuvent prendre des flèches ;
- en cas de débouché sur un talus enherbé, accompagner la chute par une descente tuilée ;
- les traversées sous chaussées étant fortement sollicitées (charges statiques et dynamiques) prévoir des tuyaux adaptés ; on retiendra a minima une canalisation en béton armé série 135A (cf. fasc. 70 [4]). Prévoir sa protection en phase chantier.
- prévoir des accès aux ouvrages pour leur entretien (pistes, escaliers, refuges, ...) ;
- en alignement droit, l'espacement entre 2 regards peut être porté à 80 m compte tenu des performances des matériels d'entretien par hydrocurage ;
- des regards visitables devront impérativement être posés sur le tracé ; des regards d'entretien non visitables peuvent être éventuellement intercalés entre les regards visitables ;
- l'implantation des ouvrages doit se faire avec le souci permanent de la sécurité du personnel exploitant et en minimisant la gêne de l'utilisateur.

1.3 - Drainage routier

Le lecteur doit se reporter au guide technique « Drainage routier » [12] qui traite du sujet.

1.3.1 - Définition

Le drainage consiste à collecter et à évacuer les eaux internes de la route.

1.3.2 - Qui fait quoi ?

La décision de drainer relève de la compétence des géotechniciens et des mécaniciens des chaussées.

La préoccupation de l'assainissement routier est de caler l'ensemble des ouvrages de façon à assurer l'évacuation des drains.

1.3.3 - Rappel sommaire des effets de l'eau sur la route

Il est illusoire de penser qu'une chaussée sera exempte d'eau, néanmoins on peut prévoir un dispositif de drainage qui concentre et canalise ces venues d'eaux vers l'extérieur de la plate-forme* le plus rapidement possible.

Concevoir un drainage n'est pas forcément nécessaire dans tous les projets neufs (chaussées à faible trafic, absence de poids lourds, contexte hydrogéologique* et hydrologique* favorable, qualité des matériaux ...), mais préalablement, une analyse rigoureuse et des investigations poussées devront être menées avec des spécialistes des chaussées :

- les eaux infiltrées dans une chaussée (absence de drainage ou défaut d'assainissement) provoquent une détérioration rapide des ouvrages ;
- l'effet de « pompage » pendant les cycles gel-dégel détériore les performances des matériaux et, à terme, est responsable de la ruine de l'ouvrage ;
- les chaussées souples sont particulièrement vulnérables à la teneur en eau notamment celles traitées avec des GNT ;
- les couches de roulement en béton bitumineux ne sont pas étanches, les défauts d'entretien courant et le vieillissement des enrobés accroissent la perméabilité ;
- les interfaces des matériaux et les rives des chaussées sont des zones critiques ;
- les variations de la teneur en eau des matériaux constituant le corps de chaussée influent considérablement sur ses caractéristiques mécaniques.

1.4 - Lutte contre la pollution routière

Le lecteur doit se reporter au guide technique « Traitement de la pollution routière » [13] qui fournit l'ensemble de la démarche à mettre en œuvre pour prendre en compte la protection de la ressource en eau dans les projets routiers.

1.4.1 - Définition

la lutte contre la pollution d'origine routière consiste à prévoir l'ensemble des dispositifs à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de la protection de la ressource en eau.

1.4.2 - Qui fait quoi ?

Les spécialistes de l'environnement définissent et hiérarchisent les enjeux vis-à-vis de la Ressource en Eau (RE).

Le concepteur dimensionne les ouvrages pour atteindre les objectifs de protection de la ressource en eau.

1.4.3 - Rappel sommaire des enjeux

Les pollutions de chantier, chroniques, saisonnières et accidentelles sont susceptibles de dégrader la qualité de l'eau, de ses habitats et de ses usages.

Il est rappelé, par ailleurs, que la lutte contre la pollution routière impose au chef de projet des obligations environnementales. Tout manquement à ces obligations peut conduire à des situations contentieuses et engager la responsabilité du maître d'ouvrage.





2 - Progression des études

L'établissement d'un projet d'assainissement ne doit pas se superposer à la géométrie définitive et calée de la route.

Il faut donc procéder par itération conjointement avec la mise au point de l'étude géométrique du tracé, l'étude géologique et l'environnement. Les DIREN et les services de police de l'eau seront utilement associés au début de la progression des études et plus particulièrement dès le stade d'élaboration des études d'environnement.

L'objectif premier est d'établir les contraintes de calage du tracé relatives aux rétablissements des écoulements naturels, à la protection de la ressource en eau, à l'assainissement et au drainage de la plate-forme. Le futur exploitant sera associé à l'équipe projet (conception des ouvrages, modalités de réalisation des travaux, exploitation, entretien et gestion).

Cette démarche sera initiée dès le stade de l'étude préliminaire pour se finaliser au projet.

2.1 - Études préliminaires

La circulaire n° 94-56 du 05 mai 1994 précise : « les études préliminaires permettent de déterminer les fonctions à satisfaire et de s'assurer de la faisabilité technique et financière de l'infrastructure projetée. Ces études visent donc principalement à définir le parti d'aménagement de la route, mais aussi son enveloppe financière prévisionnelle ».

Elles sont généralement établies à partir de plans à l'échelle du 50 000^{ème}, voire du 100 000^{ème}.

En matière d'assainissement routier, les études préliminaires doivent mettre en évidence toute

contrainte en matière d'hydraulique* et de protection de la ressource en eau ayant une incidence financière significative sur le projet. Ce type de problématique est mis en évidence par une démarche d'expert.

Il convient que le chef de projet porte une attention toute particulière sur l'hydraulique et la protection de la Ressource en Eau (RE).

2.1.1 - Hydraulique *

En prévoyant :

- la localisation des exutoires* (débit, aspect qualitatif et quantitatif) ;
- la définition des champs d'inondation (étude d'environnement) et recensement des zones inondables (expansion, hauteur de submersion, durée, fréquence) ;
- la proposition d'ouvrage d'art pour franchir les cours d'eau et leur champ d'inondation ;
- l'analyse des tracés traversant les champs d'inondation et des ordres de grandeur du calage altimétrique (estimation des travaux de terrassement et de protection).

2.1.2 - Protection de la Ressource en Eau (RE) :

A partir du recensement des ressources en eau à forte valeur patrimoniale (étude d'environnement), il s'agit de définir l'incidence de la présence de ces ressources sur la géométrie de l'itinéraire. La définition de la typologie des mesures de protection s'effectue ensuite.

Hormis les zones à « points durs », les estimations s'appuient sur des ratios.

2.2 - Études d'avant projet sommaire (APS)

Ces études « permettent de préciser le parti retenu en choisissant la solution et en arrêtant un coût objectif plafond. Le contenu de ces études est limité à ce qui est nécessaire pour lancer la procédure d'enquête publique ».

L'APS aboutit à la « description des variantes de tracé et la justification du choix proposé (bande de 300 m pour un tracé neuf en milieu interurbain, tracé précis pour les aménagements en milieu urbain ou périurbain permettant l'inscription de l'emprise dans les documents d'urbanisme) ».

La justification du choix proposé résulte d'une analyse multicritère des variantes étudiées.

2.2.1 - Choix des échelles des plans des tracés étudiés

- études des variantes :
 - en zone rurale : 10 000^{ème} (5 000^{ème} au droit des secteurs difficiles)
 - en zone urbaine : 5 000^{ème} (2 000^{ème} au droit des secteurs difficiles)
- variante proposée :
 - en zone rurale : 5 000^{ème} à 10 000^{ème}
 - en zone urbaine : 1 000^{ème} à 2 000^{ème}.

Ces indications n'excluent pas un agrandissement des échelles, si nécessaire au niveau de certains points durs.

2.2.2 - Assainissement routier au stade de l'APS

L'étude d'assainissement routier consiste en premier lieu à :

- localiser précisément les exutoires* avec leurs spécificités ;
- rechercher dans le périmètre de la zone d'étude retenue les données environnementales relatives aux eaux de surfaces et souterraines, et notamment celles pouvant entraîner des difficultés futures. Ces données peuvent présenter un caractère contraignant voire introduire des obligations. A ce stade, les investigations hydrologiques* et hydrogéologiques* doivent avoir été initiées, car leur synthèse sera nécessaire dans le contenu du dossier ;
- recenser les contraintes de calage de l'ensemble des tracés étudiés, définies dans le tableau n° 5.

L'établissement de ces contraintes s'effectue à partir de plans aux échelles déjà mentionnées.

Dans la plupart des cas, le bureau d'études s'appuiera sur de l'information existante pour ce qui concerne les champs d'inondation ou sur des calculs sommaires. La modélisation sera réservée aux points durs. Les délais parfois importants de réalisation de ces études invitent à les entreprendre très tôt.

L'analyse des contraintes liées à l'assainissement routier (et aux autres domaines de la route) permet de recaler, au mieux, les tracés. Ces derniers servent de base à l'étude définitive de l'assainissement routier.

La comparaison des équipements, des coûts, des modifications apportées aux écoulements et l'impact du projet sur la ressource en eau pour chacune des variantes, permettra leur classement.

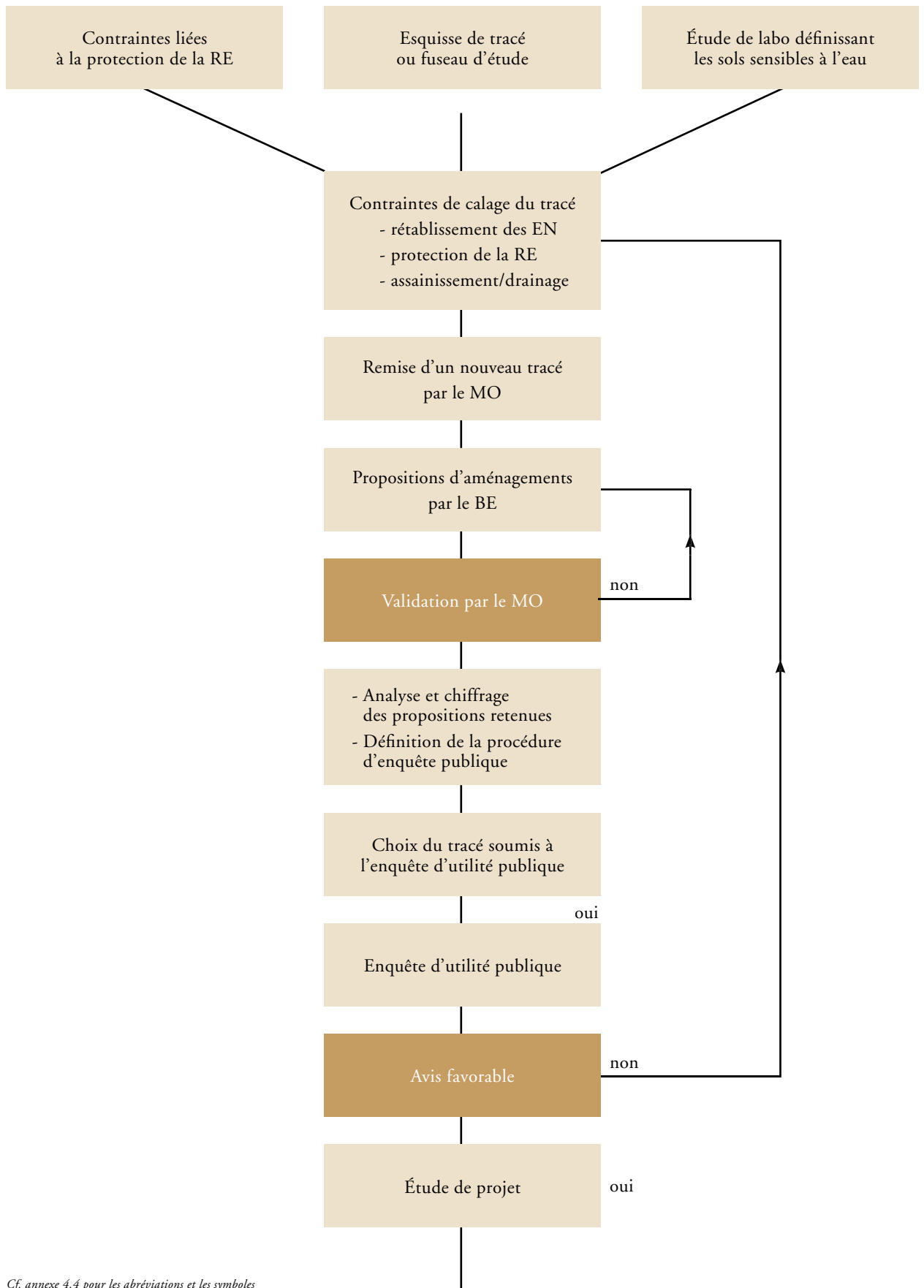
Pour la solution proposée, le dimensionnement et le chiffrage des ouvrages de protection des eaux seront affinés.¹

	En plan	Profil en long	Profil en travers	
Écoulements naturels	Emplacement sur cours d'eau, champs d'inondation	Établir les contraintes de calage par définition de la H _{AM}		Liens avec la nomenclature de la loi sur l'eau
Assainissement de la plate-forme	Points de rejets ou contraintes	Faire ressortir les zones de forte pente, calage pour rejets TPC, points bas	Zones nécessitant des ouvrages de grandes caractéristiques	
Drainage de la plate-forme	Zones nécessitant un drainage (cf. étude labo)	Calage pour exutoire des drains		
Protection de la ressource en eau	A partir de la hiérarchisation de la vulnérabilité de la RE le long. Du tracé	Points bas à prohiber, sens des pentes	Types d'ouvrages	Types des ouvrages hors PF

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 5 : contraintes de calage de l'ensemble des tracés

¹ Attention, le seuil de 1 830 000 € pour le coût global du projet conditionne la modalité de lancement de l'enquête publique (coût du projet < 1 830 K€ : enquête de droit commun ; coût du projet > 1 830 K€ : enquête Bouchardeau).



Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Schéma n° 9 : synthèse de la progression des études d'Avant-Projet Sommaire (APS)

2.3 - Études de projet

Les études de projet permettent de préciser la solution, d'arrêter les choix techniques et de fixer le coût de projet plafond. Elles débouchent sur les enquêtes parcellaires et les études d'exécution.

Le plan général du projet est étudié généralement à une échelle variant du 1/500 au 1/2000.

2.3.1 - Contraintes de calage

À ce niveau d'étude, les contraintes de calage du tracé sont à définir précisément :

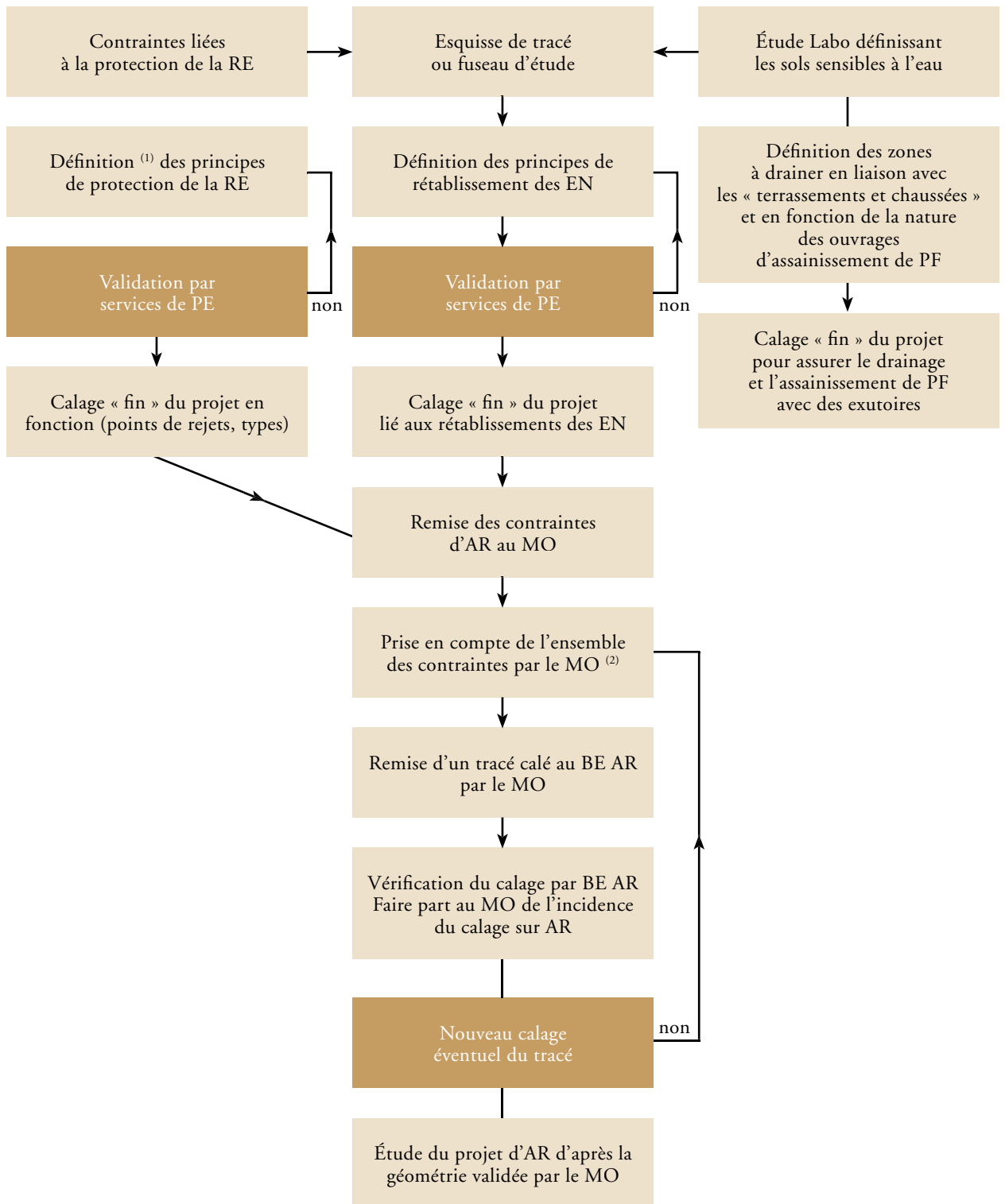
- pour les rétablissements des écoulements naturels, la HAM est définie en fonction du régime de l'écoulement à l'aval et dans l'ouvrage projeté (calage des ouvrages projetés généralement au 1/500 en longueur et 1/100 en hauteur) ;
- l'influence des ouvrages de protection, hors plate-forme*, de la ressource en eau, est appréciée en dimensionnant les ouvrages et en intégrant l'altimétrie des fils d'eau des rejets sous plate-forme*. Le profil en long de l'infrastructure est également à caler en fonction de l'altimétrie à donner aux points bas (points de rejet privilégiés) ;
- l'assainissement de la plate-forme doit, quant à lui, intégrer les dispositifs éventuels de sécurité sur l'emprise nécessaire à l'assainissement ainsi que le rejet des TPC. Une attention particulière est à apporter aux calages des fils d'eau des carrefours en fonction des dévers et des équipements. Les drains doivent pouvoir s'écouler gravitairement.

2.3.2 - Validation des principes généraux

- il est souhaitable, le cas échéant, que les principes de rétablissement des écoulements naturels et de protection de la ressource en eau soient validés par les services de police de l'eau à ce stade de l'étude ;
 - l'analyse des contraintes globales liées à l'assainissement routier permet de caler au mieux les tracés. Les échanges (à niveau ou dénivelés) doivent également être calés à partir de ces contraintes ;
 - pour ce calage, le maître d'œuvre intègre également les autres contraintes (environnement, géologie, équilibre des terres, sécurité routière...).
- Le bureau d'études « assainissement routier » doit alors vérifier que le calage proposé par le maître d'œuvre (ce calage résulte le plus souvent d'un compromis entre les différentes contraintes) n'engendre pas de difficultés importantes pour l'assainissement routier (aspects conception, incidence sur le milieu naturel, sécurité, maintenance, accès et entretien).

Le maître d'œuvre doit alors être informé de ces difficultés (exemple : mise en place de station de pompage, risque d'inondation de l'infrastructure et (ou) des terrains avoisinants, risque d'hydroplanage, fonctionnement du réseau de drainage non satisfaisant, difficultés d'accès à un bassin...).

- lorsque le tracé est validé par le maître d'œuvre, l'étude « applicative » d'assainissement peut être effectuée.



⁽¹⁾ ou précision par rapport à l'APS

⁽²⁾ il s'agit également des contraintes autres que celles liées à l'AR (géol., paysage, bruit...)

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Schéma n° 10 : synthèse de la progression des études de projet

2.4 - Dossiers Loi sur l'eau (DLE) ou dossier police de l'eau

Le guide « Nomenclature de la loi sur l'eau – application aux infrastructures routières » [9] rappelle le cadre réglementaire et législatif de la loi sur l'eau et précise l'utilisation des principales rubriques dans le domaine des infrastructures linéaires.

2.4.1 - Au niveau de l'étude de projet

Au niveau de l'étude de projet, le tracé de l'ensemble des voies projetées (section courante, échangeurs, rétablissements de voiries, chemins de désenclavement) est fixé. Par ailleurs, le niveau projet fournit la nature et les caractéristiques définitives des ouvrages ainsi que certains points de « détails » qui peuvent s'avérer nécessaires à l'instruction du Dossier Loi sur l'Eau.

En outre, au niveau du projet, la prise en compte de la loi sur l'eau dans la réalisation des chantiers routiers [14] est « réaliste » (installations provisoires, pistes de chantier, besoin de prise d'eau...). L'intégration des incidences de chantier dans le Dossier Loi sur l'Eau doit être prise en compte.

Suivant les enjeux vis-à-vis de la ressource en eau et la complexité des ouvrages à projeter ou le niveau de détail à fournir, le Dossier Loi sur l'Eau peut s'effectuer :

- à partir de l'étude de projet réalisée ; dans ce cas, le délai d'instruction du Dossier Loi l'Eau s'ajoute au délai d'élaboration de l'étude du projet ;
- en anticipant sur l'étude de projet ; il sera alors fourni « les principes » (par exemple, position schématique des bassins sur un plan, bassin type, tableau précisant les caractéristiques de chaque bassin...).

Un contact avec les services de police de l'eau est souhaitable en cas d'interrogation sur la faisabilité du deuxième cas.

Dans tous les cas, le Dossier Loi sur l'Eau présenté doit être monté dans un souci de clarté, de transparence et de lisibilité technique pour un large public.

2.4.2 - Au niveau de l'Avant-Projet Sommaire (APS)

En toute rigueur, le niveau APS ne correspond pas au niveau dossier Loi sur l'Eau. En effet, le tracé du projet n'est pas fixé (section courante, échangeur...) et l'échelle de l'APS (1/5000 en général) ne permet pas de répondre aux points de détail lorsque c'est nécessaire. Il est également « difficile » de traiter l'aspect chantier dans le Dossier Loi sur l'Eau au niveau APS.

Cependant en cas de délai serré pour lancer une opération (ou opération d'aménagement « sur place » où le tracé est obligatoirement fixé), la pratique montre que des Dossiers Loi sur l'Eau peuvent être instruits au niveau APS en même temps que l'enquête d'utilité publique (DUP).

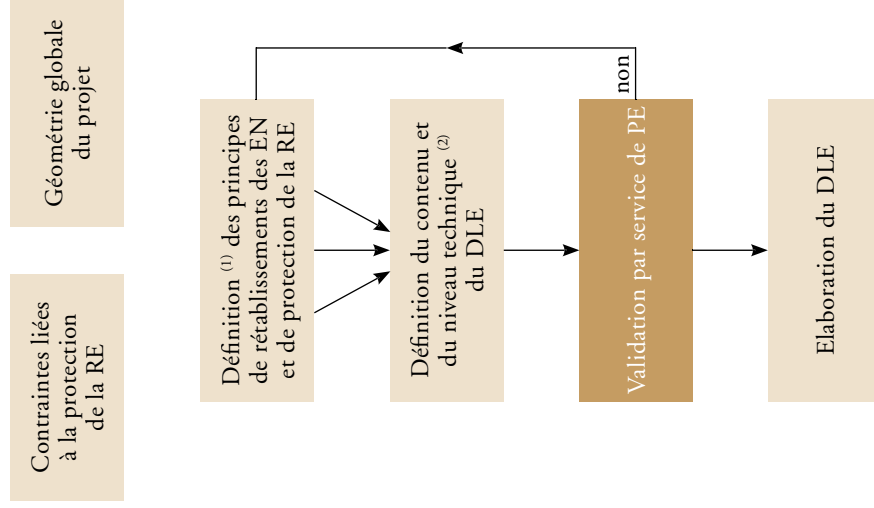
Dans ce cas, il y a lieu d'effectuer deux enquêtes simultanées mais disjointes (les dossiers de DUP et DLE sont séparés et les registres d'enquêtes également). Ce cas là peut-être envisagé lorsqu'il n'y a pas de problématique aiguë concernant l'incidence du projet sur la ressource en eau, lorsque le tracé routier projeté est relativement figé ou qu'un déplacement du tracé routier n'engendre pas de problématiques différentes par rapport au tracé présenté dans le DLE.

Ceci n'exclut pas d'étudier dans le détail certains aspects. Par exemple, le rétablissement d'un écoulement dans lequel des remontées de poissons ont lieu, peut être concerné ainsi que la modélisation d'un champ d'inondation et des ouvrages de rétablissement de ce champ d'inondation pour une contrainte de surélévation donnée du plan d'eau. Ces études ne sont pas forcément réalisées à l'APS à une échelle topographique compatible avec le DLE.

Ceci étant, lorsque le DLE est effectué au niveau APS, le pétitionnaire s'expose plus particulièrement à l'application de l'article 15 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 (nouvelle demande d'autorisation avec enquête publique le cas échéant).

Il est conseillé de prendre contact avec le service de Police de l'Eau pour apprécier, en commun, la faisabilité d'un Dossier Loi sur l'Eau au niveau APS.

Au niveau étude de projet (en parallèle)

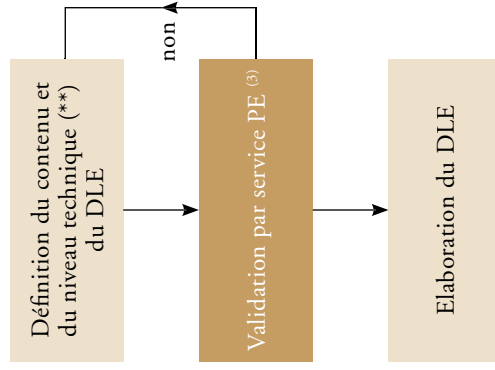


(1) ou précision

(2) ou degré de précision

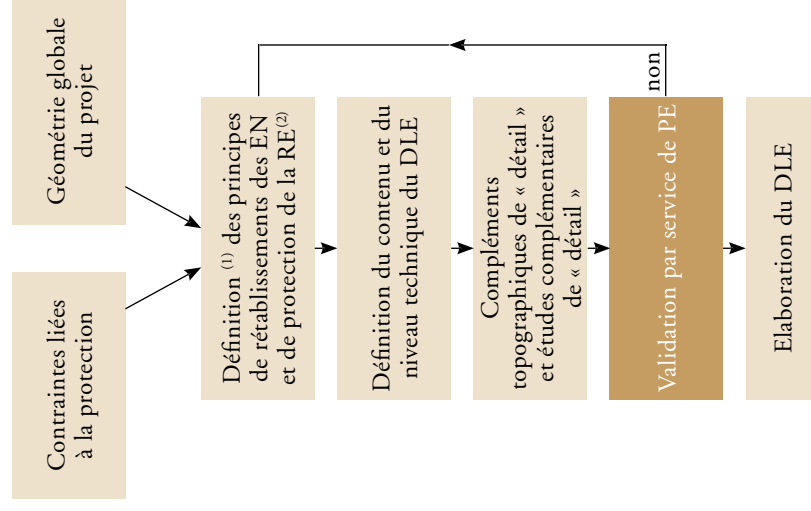
(3) éventuellement

Etude de projet réalisée



Au niveau de l'étude Avant-Projet Sommaire (APS)

L'étude d'APS, solution approuvée, est terminée. En cours d'étude, les services de la Police de l'eau (PE) ont été consultés sur les orientations projetées vis-à-vis des rétablissements des EN et de la protection de la RE et ont pu réagir.



(1) ou précision

(2) compléter le dossier d'APS si celui-ci « n'est pas d'un niveau suffisant ». Par exemple : avec des coupes types de rétablissement des EN (suivant les différents cas de rétablissement) ; décrire les types de protection de berges en sortie d'ouvrage (génie végétal, ...) ; préciser par des dessins types les différents ouvrages de protection de la RE situés hors PE;





3 - Démarche qualité des études

La circulaire du 22 décembre 1992 qui traite de la qualité de la route a précisé que chaque phase du processus d'élaboration d'un projet routier doit être complète pour ne pas mettre en défaut les phases ultérieures. Ceci nécessite une connaissance suffisante du domaine assainissement routier, ainsi que les interactions avec les autres domaines (géométrie du tracé, environnement, géotechnique, sécurité, exploitation et entretien, ...).

En matière d'assainissement routier, chaque phase (ou niveau d'étude) du processus d'élaboration fait appel à une progression qui utilise des données élémentaires (appelées entrées), applique des tâches et produits des résultats (appelés sorties).

Les démarches présentées ci-après sont volontairement simplifiées dans un souci de clarté. **Les points d'arrêts mentionnés dans les tableaux suivants sont des points d'arrêts dits « techniques » et non de procédure.**

Elles n'excluent pas d'éventuels compléments apportés par différents guides traitant de la qualité des études.

Ces démarches doivent orienter la rédaction des cahiers des charges à l'attention des bureaux d'études pour passer une commande.

3.1 - Notions de processus et de progression, d'entrées, de sorties et de tâches

3.1.1 - Processus

Le processus représente l'ensemble des niveaux d'études qui s'articulent les uns après les autres pour aboutir à un projet conforme à l'expression des besoins de la maîtrise d'ouvrage.

3.1.2 - Progression

Dans le cadre du présent guide, à chaque niveau d'étude, les progressions s'appliquent aux quatre domaines suivants (cf. schéma n° 12) :

- rétablissement des écoulements naturels ;
- protection de la ressource en eau ;
- assainissement de la plate-forme ;
- drainage de la plate-forme.

Nota : le terme progression s'adresse ici aux macros tâches nécessaires pour mener à bien chaque étape technique à chaque niveau d'études d'AR. Il se différencie du terme du chapitre 2 « Progression des études » qui, dans ce chapitre traitait « d'entités d'ensemble » (ex. : calage du PL).

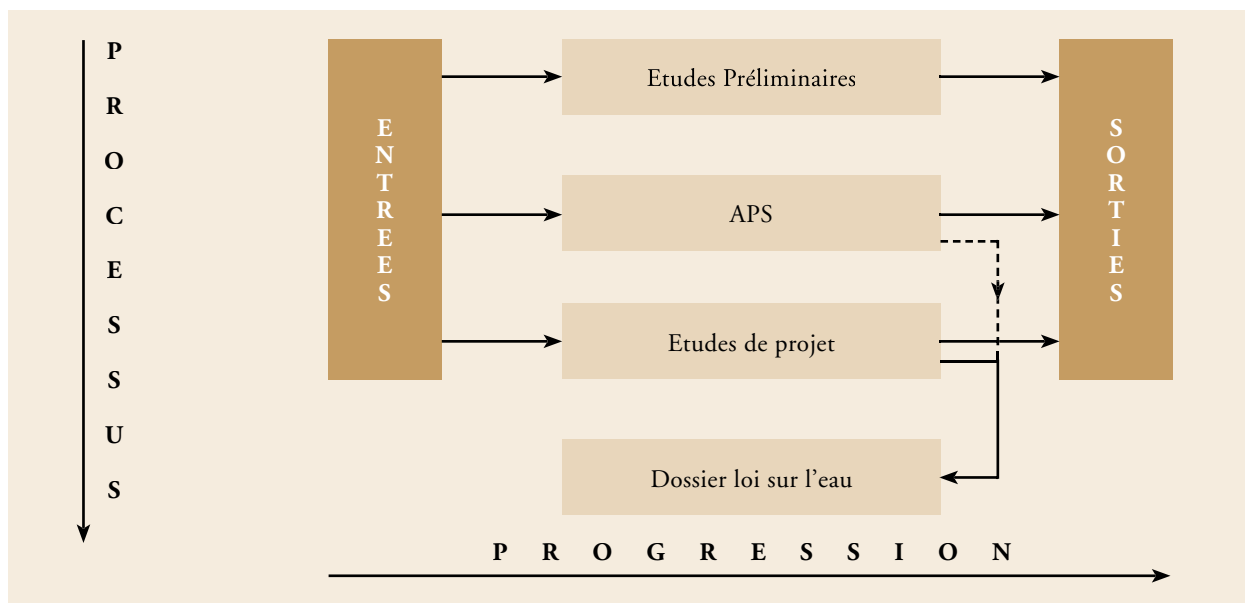


Schéma n° 12 : progression des études

3.1.3 - « Entrées » requises et « sorties » attendues

Les « entrées » sont composées de tous les documents dont il faut disposer pour procéder à l'étude technique. Les sorties sont constituées de tous les documents attendus à l'issue de l'étude technique : plans, note de calcul, schémas fonctionnels, mémoire technique. Les entrées sont fournies par le maître d'ouvrage et les sorties sont fournies par le bureau d'étude.

de formation, la description des tâches est limitée aux « macro-tâches » essentielles sans entrer dans tous les détails des tâches élémentaires. L'intérêt de cette présentation est :

- d'attirer l'attention sur les « incontournables » ;
- faciliter la programmation du travail du projeteur ;
- homogénéiser les pratiques ;
- identifier les étapes les plus pertinentes pour exercer les différents contrôles.

3.1.4 - Tâches principales

Les tâches sont effectuées par le bureau d'études. Le guide n'ayant pas vocation à constituer un manuel

Le tableau n° 6 donne un exemple des tâches principales.

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
1. Géométrie du projet validée	1. Evaluation du débit de projet	1. Mémoire
2. Etudes : - géologique et géotechnique - d'environnement	2. Choix du type et des caractéristiques de l'OH (en fonction des caractéristiques du projet du cours d'eau, du Q de projet et du respect des caractéristiques hydrauliques de l'écoulement...) et des aménagements	2. Plan du BV avec n° des BV, position des OH, informations différenciées concernant la géologie et l'environnement
3. Période de retour du débit de projet et contraintes liées à l'OH Arrêtés de P.E. si le DLE a été établi au niveau APS	3. Dessins techniques Avant métré/estimation	3. Dessins techniques définissant l'ensemble des mesures projetées Avant-métré/estimation

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 6 : exemple d'un écoulement naturel au niveau projet

3.2 - Passer une commande

3.2.1 - Principes généraux

Les principes opérationnels de passation d'une commande sont identiques, que la commande soit passée en interne, à un service spécialisé ou à un CETE, à des équipes travaillant en partenariat ou à un bureau d'études privé. Seule la procédure juridique diffère.

Le délai de remise de l'étude est compté à partir de « la lettre de commande ». Il doit tenir compte des

points d'arrêts et des délais de remise des « entrées » par le Maître d'Ouvrage.

Les entrées et les orientations de base permettant un bon déroulement de l'étude sont indiquées dans les tableaux n° 7, 8, 9, 10 et le schéma n° 13, avec les tâches et les sorties requises par niveau d'études.

3.2.2 - Progression des études

Élaboration de l'Avant-Projet Sommaire (APS)

Au niveau du rétablissement des écoulements naturels

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<ol style="list-style-type: none"> Géométrie du projet proposé (avec Terrain Naturel) <ul style="list-style-type: none"> plans PL PT types Étude d'environnement : relevé des aspects ayant une influence sur le rétablissement des EN et les milieux aquatiques, PPRN. PLU Période de retour du débit de projet (Q_p) Prise en compte de débits exceptionnels (Q_{ex}) Caractéristiques minimum des ouvrages et prise en compte des aspects entretien et exploitation Validation des services de PE sur les options retenues (facultatif ; peut concerner par ex. les hypothèses sur les latitudes de surélévation des zones inondables...) Géométrie définitive validée <ul style="list-style-type: none"> plan représentant l'ensemble des voiries rétablies avec position des OA... PL PT types 	<ul style="list-style-type: none"> Délimitation des Bassins Versants (BV) Enquête de terrain (vérification des limites de BV à enjeux, relevés des OH existants, niveaux de crues et champ d'inondation, fonctionnement de ces OH en période de crue, type de lit, obstacles...) et recueil de données et d'informations (DIREN, DDAF...) Connaissance de la pluviométrie Évaluation des Q_p et Q_{ex}, Q_{MNA5}, Q moyen annuel Typologie des OH projetés Prédimensionnement des OH avec définition des H_{AM} Passage de Q_{ex} dans les OH projetés Recommandations pour l'emplacement et le calage du tracé en plan et PL remises au MO Point d'arrêt* Réajustement : <ul style="list-style-type: none"> des limites et superficies des BV des Q_p des Q_{ex} Prédimensionnement des ouvrages Mesures d'accompagnement (recalibrages, chutes, protections...) Avant-métrés Estimations 	<ul style="list-style-type: none"> Cartes des BV avec position des OH, Zones Inondables (ZI), etc. Plans et PL avec : <ul style="list-style-type: none"> Note succincte faisant notamment apparaître : <ul style="list-style-type: none"> le rappel des entrées pluviométrie retenue calcul de Q_p et Q_{ex}, Q_{MNA5}, Q moyen annuel Principes de rétablissement des EN ayant déterminés la typologie des ouvrages Conséquences du Q_{ex} Les points durs (ex. : demande de relever substantiellement le PL) et les conséquences du non relèvement du PL <p><i>Nota : pour les contraintes de calage de tracé les sorties peuvent être rendues au MO sous forme de document de travail, (documents minutes)...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cartes des BV avec position des OH Plans et PL routiers avec positions et caractéristiques des OH, Q_p, Q_{ex} et H_{AM} Mémoire technique justificatif avec notamment le rappel des entrées Estimation

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 7 : élaboration de l'APS au niveau du rétablissement des écoulements naturels

Élaboration de l'Avant-Projet Sommaire (APS)

Au niveau de la Protection de la ressource en eau

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Géométrie du projet proposé 2. Études d'environnement : Vulnérabilité des milieux récepteurs superficiels, objectifs de qualité des cours d'eau, position des captages et des périmètres de protection, orientations du SAGE, mesures générales d'objectifs de protection de la RE, etc. 3. Étude géologique : - nature des sols – épaisseur de la protection des nappes-vulnérabilité de la ressource en eau souterraine, cf. annexe 4.6 [13] 4. Trafic routier 5. Temps d'intervention sur site en cas de Pollution Accidentelle (PA) et prise en compte des aspects entretien et exploitation 6. Validation, par les services de PE, des mesures prises pour protéger la RE (facultatif) 7. Géométrie définitive de l'ensemble des voiries - plan - PL - PT Types 	<ul style="list-style-type: none"> • Hiérarchisation, le long de la géométrie projetée, de la vulnérabilité, de la ressource en eau (RE) • Affectation d'un type d'ouvrage de protection de la RE, à chaque classe de la hiérarchisation, avec une période de retour d'insuffisance associée à l'ouvrage. • Recommandations pour le calage du tracé (plan et PL) • Point d'arrêt* • Application des mesures de protection de la RE - Avant-métré - Estimation 	<ul style="list-style-type: none"> • Document graphique concernant la hiérarchisation de la vulnérabilité de la RE • Schémas des ouvrages types de protection de la RE • Plans et PL portant les modifications de tracé préconisées • Note succincte explicitant les propositions • Position des captages et de leur périmètre de protection sur le plan du BV (ou plan séparé) • Objectif de qualité des CE (plan BV ou autre) • Hiérarchisation de la vulnérabilité de la RE • Ouvrages types de protection de la RE • Plans et PL projet - position des points de rejet - position des ouvrages de protection de la RE hors PF. • Zones d'application des mesures projetées sur la PF (zones à étancher ...) • Évaluation des charges de pollution (si nécessaire) et des concentrations résultantes - Mémoire technique - Avant-métré - Estimation

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 8 : élaboration de l'APS au niveau de la protection de la ressource en eau

Élaboration de l'Avant-Projet Sommaire (APS)

Au niveau de l'assainissement de la plate-forme

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Géométrie du projet proposé de l'ensemble des voiries <ul style="list-style-type: none"> - plan - PL - PT Types 2. Étude de la protection de la RE <ul style="list-style-type: none"> - hiérarchisation de la vulnérabilité de la RE - points de rejet 3. Étude géologique <ul style="list-style-type: none"> - nature des sols (sensibilité à l'eau) - nature de la perméabilité des sols (auto protection des eaux souterraines vis-à-vis d'une pollution accidentelle) 4. Prise en compte des aspects entretien et exploitation 5. Géométrie définitive de l'ensemble des voiries <ul style="list-style-type: none"> - plan - PL - PT Types 	<ul style="list-style-type: none"> • Définition, par classes homogènes, de la nature et des caractéristiques de premier ordre de l'assainissement • Appréciation des zones spécifiques ayant une incidence sur l'emprise du projet ou (et) sur un surcoût significatif des ouvrages et sur le calage du tracé • Recommandations pour le calage du tracé • Point d'arrêt* • Adaptation des mesures précédemment définies <ul style="list-style-type: none"> - Avant-métré - Estimation 	<ul style="list-style-type: none"> • Profils types habillés avec les ouvrages types d'assainissement • Plan avec points de rejet et zones d'application des profils types • Note succincte explicitant les propositions • Mémoire technique <ul style="list-style-type: none"> - Avant-métré - Estimation

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 9 : élaboration de l'APS au niveau de l'assainissement de la plate-forme

Élaboration de l'Avant-Projet Sommaire (APS)

Au niveau du drainage de la plate-forme

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Géométrie du projet proposé 2. Climatologie de la région (aspect gel/dégel) prise en compte pour les structures de chaussée 3. Étude géologique et géotechnique <ul style="list-style-type: none"> - nature des sols (sensibilité à l'eau) - drainage de talus 4. PT Types avec nature des ouvrages <ul style="list-style-type: none"> - d'assainissement (Maître d'Ouvrage ou Bureau d'Etudes) et - structures de chaussée 5. Prise en compte des aspects entretien et exploitation 6. Géométrie définitive de l'ensemble des voiries <ul style="list-style-type: none"> - plans - PL - PT types 	<ul style="list-style-type: none"> • Repérage des zones nécessitant un drainage en fonction : <ul style="list-style-type: none"> - des orientations fournies dans l'étude géologique - de la climatologie - de la nature des ouvrages d'assainissement (aspect imperméabilisation de PF) • Profondeur des dispositifs drainants en fonction de l'épaisseur des structures de chaussée et couche de forme • Recommandations pour le calage du PL du projet • Point d'arrêt* • Définition des zones de drainage • Position du type de drainage sur PT Types <ul style="list-style-type: none"> - Avant-métré - Estimation 	<ul style="list-style-type: none"> • Zones de PL à rehausser • Notice succincte explicitant les propositions • Plan et (ou) PL avec zones à drainer et application • PT Types avec position des systèmes de drainage <ul style="list-style-type: none"> - Mémoire technique - Avant-métré - Estimation

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 10 : élaboration de l'APS au niveau du drainage de la plate-forme

Synthèse de la progression des études d'Avant-Projet Sommaire

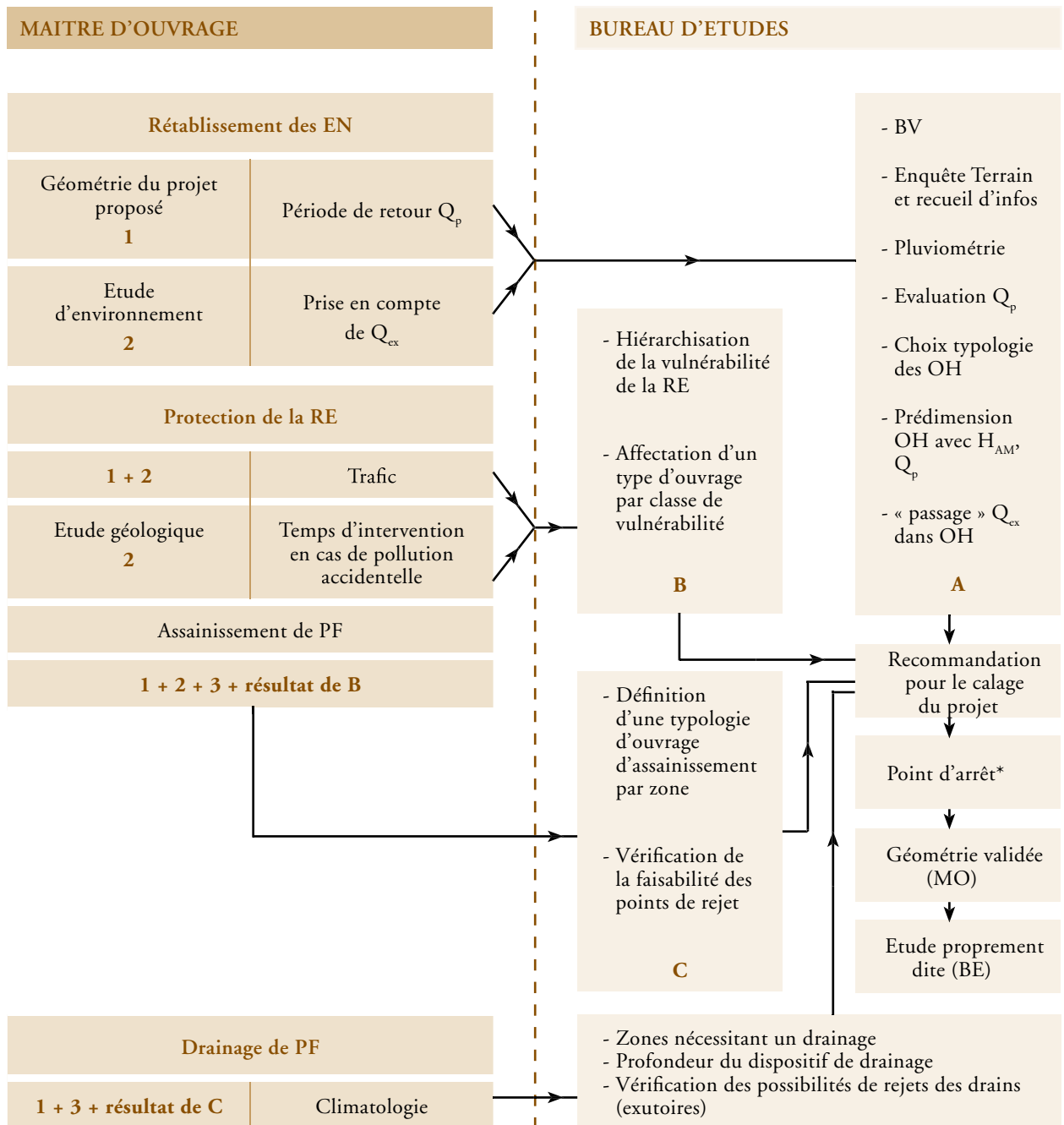
Cette progression s'attache aux aspects techniques.

Le bureau d'études devra, en tout état de cause, rester dans l'esprit du niveau d'étude et s'attacher aux aspects ayant notamment un poids significatif sur l'estimation.

L'investigation du bureau d'études doit donc rester à l'échelle de l'étude et ne pas être superfétatoire en cherchant une précision illusoire.

Il est rappelé que l'impact essentiel de l'assainissement routier sur le coût du projet est engendré par l'incidence du recalage des tracés. Ce recalage peut, en effet, avoir une incidence non négligeable sur les quantités de déblai et de remblai pour lesquels une estimation à partir de ratios est difficile.

Cette synthèse reprend les éléments contenus dans les 4 précédents tableaux.



Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Schéma n° 13 : synthèse de la progression des études d'Avant-Projet Sommaire (APS)

Nota : la progression décrite pour l'Avant-Projet sommaire concerne les variantes et la solution proposée.

Cette progression s'attache aux aspects techniques.

Le Bureau d'Etudes devra, en tout état de cause, rester dans l'esprit du niveau d'étude et s'attacher aux aspects ayant notamment un poids significatif sur l'estimation.

L'investigation du bureau d'études doit donc rester à l'échelle de l'étude et ne pas être superfétatoire en cherchant une précision illusoire.

Il est rappelé que l'impact essentiel de l'assainissement routier sur le coût du projet est engendré par l'incidence du recalage des tracés. Ce recalage peut, en effet, avoir une incidence non négligeable sur les quantités de déblai et de remblai pour lesquels une estimation à partir du ratios est difficile.

Élaboration du projet

La progression des études de projet est similaire à celle des études d'Avant-Projet Sommaire. Les entrées, les tâches et les sorties sont cependant plus précises.

Les tableaux n° 11, 12, 13, 14, ainsi que le schéma n°14 mentionnent les compléments à apporter dans la progression des études de projet par rapport à l'Avant-Projet Sommaire.

Projet/compléments par rapport à l'Avant-Projet Sommaire au niveau du rétablissement des écoulements naturels

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Études)	Sorties (Bureau d'Études)
<p><i>Idem</i> APS, plus :</p> <ol style="list-style-type: none"> Géométrie <ul style="list-style-type: none"> plan avec entrée en terre de l'ensemble des voiries. Les cours d'eau, ruisseaux et talwegs* doivent également apparaître avec précision permettant de relever des PT. PT et PL PLU Étude d'APS et observations sur l'étude d'APS DLE et arrêtés de PE (si DLE réalisé à l'APS) Précision sur les passages mixtes <ul style="list-style-type: none"> OH/faune OH/passage tracteur OH avec remontées de poissons etc. Relevés topographiques complémentaires du cours d'eau (à la demande du BE) État parcellaire Levée du point d'arrêt* 	<p><i>Idem</i> APS, plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Profil en long du cours d'eau (CE) avec le projet de l'ensemble des voiries concernées Choix du type d'ouvrage Caractéristiques de l'ouvrage (OH) Coupe cotée de l'OH (report sur le PL du CE avec le projet) Caractéristiques hydrauliques de l'écoulement à l'amont de l'OH, dans l'OH et l'aval de l'OH (hauteur de l'écoulement, vitesses, régimes) Information du MO si incompatibilité avec le calage du tracé et point d'arrêt Protection du cours d'eau (fond et berges) contre l'érosion Dessins de détails Dessins types des têtes amont et aval Report sur la vue en plan du projet <ul style="list-style-type: none"> de l'OH types de tête types de protection recalibrage du CE 	<p><i>Idem</i> APS, plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> PL du CE avec coupe longitudinale cotée des OH et voiries (voir fiche) <ul style="list-style-type: none"> zones du CE recalibrées zones d'application des protections du fond et berges Reconnaissance complémentaire du terrain Coupes et définitions des protections et des recalibrages Dessins types des têtes Plan (à l'échelle de l'étude) avec : <ul style="list-style-type: none"> la position des OH les têtes types types de protection recalibrages du CE Mémoire technique avec notamment le rappel des entrées

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 11 : élaboration du projet au niveau du rétablissement des écoulements naturels

Projet/compléments par rapport à l'Avant-Projet Sommaire (APS) au niveau de la Protection de la Ressource en Eau

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Géométrie du projet <ul style="list-style-type: none"> - plan avec entrée en terre de l'ensemble des voiries - emprises (si elles sont déjà déterminées) - PT équipés (merlons de protection phoniques...) - PL 2. PLU 3. Etude d'APS et observations sur l'étude d'APS <ul style="list-style-type: none"> - hiérarchisation de la vulnérabilité de la RE et type d'ouvrage affecté à chaque classe de vulnérabilité - points de rejet interdit 4. DLE et arrêtés de PE (si DLE réalisé à l'APS) 5. Relevés topographiques complémentaires du cours d'eau (à la demande du BE) 6. Parcellaire 7. Ensemble des éléments nécessaires à la structuration des réseaux d'assainissement de PF (définition des points de rejet, structure du réseau d'assainissement, évaluation des caractéristiques de l'impluvium à chaque point de rejet) et de drainage (rejet éventuel des drains dans des bassins par exemple) (<i>cf. infra « Projet/ Assainissement et Projet/ Drainage »</i>) 8. Contraintes paysagères 9. Possibilité d'évacuation non gravitaire ? 10. Levée du point d'arrêt* 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Structuration des réseaux de PF en fonction des points de rejet possibles • Points de rejet du système de drainage • Implantation et dimensionnement des ouvrages hors PF de protection de la RE <p><i>Nota : les tâches ci-avant doivent être élaborées dans le cadre de l'assainissement si le projet est « complexe ».</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Information du MO si incompatibilité avec le calage du tracé et point d'arrêt • Plans de définition des ouvrages de protection de la RE hors PF avec cotes NGF <ul style="list-style-type: none"> - coupe longitudinale - coupes transversales - entrées - sorties - rampe d'accès - grillage - structure du fond et des berges - dégazage - drainage - accès - etc... • Plans de définition des stations de pompage 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vue en plan : <ul style="list-style-type: none"> - points de rejet de PF - ouvrages hors PF de protection de la RE, avec entrées en terre - jonctions hydrauliques entre les points de rejet de PF et les ouvrages - accès aux ouvrages • Plans de définition des ouvrages (<i>cf. tâches</i>) • Plans de définition des jonctions entre les points de rejet et les ouvrages • Plans de définition des stations de pompage • Mémoire technique : <ul style="list-style-type: none"> - rappel des entrées - hypothèses - pluviométrie - périodes de retour d'insuffisance des ouvrages - calcul des ouvrages - calcul des charges résiduelles en sortie d'ouvrages et des concentrations (si nécessaire) - description des dispositions constructives et des structures - justification du pompage du débit de pointe ou du débit écrêté par bêche d'accumulation, etc.

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 12 : élaboration du projet au niveau de la protection de la ressource en eau

Projet/compléments par rapport à l'Avant-Projet Sommaire au niveau de l'assainissement de la plate-forme

Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Géométrie du projet <ul style="list-style-type: none"> - plan avec entrée en terre, position et types des protections phoniques, des OA, tunnels, des bordures dans îlots, giratoire, murs de soutènement (y compris le type)... , aménagements paysagers avec les points hauts et bas créés artificiellement - profils en travers types avec coupes des chaussées et ensemble des équipements (dispositifs de sécurité, bordures, éclairage, protections phoniques...) - pièges à cailloux, risbermes - profils en travers, types courants avec les équipements... - profils en long avec indication des dévers - plans côtés des carrefours - plans côtes des différents réseaux existants ou projetés - les emprises (si elles sont déjà déterminées) 2. Pour Mémoire : <ul style="list-style-type: none"> - structuration des mesures prises pour la protection de la RE - définition des ouvrages de rétablissement des EN 3. Période de retour du débit de projet des réseaux d'assainissement 4. Possibilité d'évacuation non gravitaire ? 5. Levée du point d'arrêt* 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Élaboration des contraintes structurelles sur plan par position : <ul style="list-style-type: none"> - des points hauts et bas du PL et dans les carrefours - sens des dévers, par voie - points de changement des dévers par voie - classes de pente (ex. pentes < 0,5 %, > 3,5 % intermédiaires) - classe des hauteurs de remblais (ex. $h \leq 2$ m, $h > 4$ m, h intermédiaire) - zones sensibles à l'eau - zones hiérarchisées de la vulnérabilité de la RE - points (ou zones) de rejets interdits • Choix des ouvrages et structuration fine des réseaux (avec prise en compte de la protection de la RE) • Calcul hydraulique • Information du MO si incompatibilité avec le calage du tracé et point d'arrêt • Plans de définition des ouvrages : <ul style="list-style-type: none"> - tracé en plan avec position et caractéristiques des différents réseaux et ouvrages ponctuels - cotation des ouvrages (plan ou (et) PL) - ouvrages types - PT types avec positions type des ouvrages d'assainissement • Plan de définition des stations de pompage 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Plans de définition tels que définis dans la colonne « tâches » avec les contraintes structurelles • Mémoire technique : <ul style="list-style-type: none"> - rappel des entrants - pluviométrie - débit de projet - périodes de retour d'insuffisance des ouvrages - structuration des réseaux - choix et calcul des ouvrages - description des dispositions constructives - justification du pompage du débit de pointe ou du débit écrêté par bêche d'accumulation, etc.

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 13 : élaboration du projet au niveau de l'assainissement de la plate-forme

Projet/compléments par rapport à l'Avant-Projet Sommaire (APS) au niveau du drainage de plate-forme

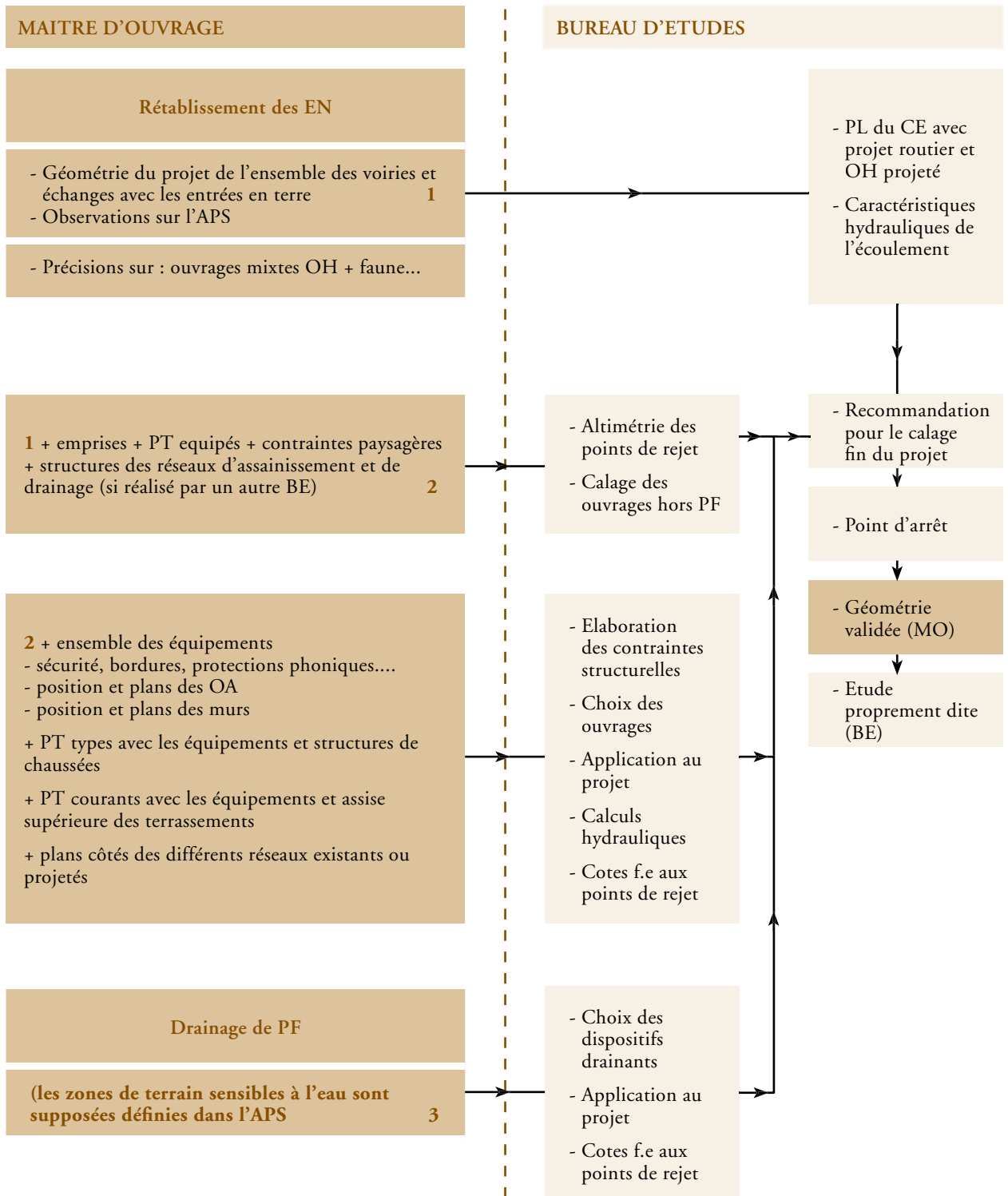
Entrées (Maître d'Ouvrage)	Tâches (Bureau d'Etudes)	Sorties (Bureau d'Etudes)
<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - éléments énumérés pour l'assainissement de la PF au niveau projet 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Précision sur les zones à drainer • Choix des dispositifs drainants • Dessins types des dispositifs drainants et regards • Report en plan des différents types de dispositifs drainants avec leurs regards • Cotation du f.e des dispositifs drainants (si nécessaire) 	<p><i>Idem APS, plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan avec position des différents dispositifs drainants et regards, cotes des f.e éventuellement • Dessins types • Mémoire avec notamment le rappel des entrants et paramètres de décision

Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Tableau n° 14 : élaboration du projet au niveau du drainage de la plate-forme

Synthèse de la progression des études de projet

Cette synthèse vient en complément de la « Synthèse des APS » (schéma n° 13) et précise certains aspects.



Cf. annexe 4.4 pour les abréviations et les symboles

Schéma n° 14 : synthèse des études de projet

3.3 - Traçabilité des choix, archives

Les différentes phases de l'étude (calage de tracé et études proprement dites) s'effectuent par itération. Chaque document élaboré et les choix du Maître d'Ouvrage pour accéder à l'itération suivante, doivent pouvoir être consultés à tout moment. Les documents de travail, les propositions du bureau d'études et les choix effectués pour aboutir au calage final du projet doivent être conservés en constituant des dossiers d'archives utilisables.

3.4 - Valider la production

Il s'agit de pouvoir établir une « certification de service fait » (en cas d'étude confiée à un Bureau d'Etudes extérieur) ou de procéder à une « revue de projet » (si l'étude est réalisée en interne).

Les éléments de validation sont décrits, non exhaustivement, ci-après :

- nombre de dossiers papiers remis ;
- format reproductible (papier ou/ et support informatique) ;
- format géométrique de l'étude (A3 horizontal par exemple) ;
- charte graphique ;
- pièces constituant chaque dossier ;
- cohérence entre les pièces ;
- cohérence des renvois aux différents pièces, annexes, paragraphes, ... ;
- prise en compte des entrées ;
- échelles des plans ;
- format et contenu du support informatique ;
- présence de l'ensemble des pièces constituant le dossier ;
- format adéquat des logiciels utilisés.





4 - Annexes techniques générales

4.1 - Éléments d'hydrologie générale

4.1.1 - Données pluviométriques

Les caractéristiques de la pluie interviennent dans l'estimation des débits d'apport provenant du bassin versant routier ainsi que du bassin versant naturel intercepté à l'aide des différentes méthodes de calcul, les plus utilisées étant la formule rationnelle et la méthode Crupédix (cf. § 1.1 et 1.2). Les renseignements pluviométriques utilisés pour les projets routiers sont de deux types :

Relations intensité-durée de pluie pour une fréquence donnée (courbes IDF)

Établies à partir des relevés des pluviographes (hauteur d'eau par pas de temps), elles servent au calcul des débits de ruissellement à l'aide de la formule rationnelle. L'intensité $i_{(T,tc)}$ moyenne de la pluie sur le temps de concentration tc pour une période de retour T est représentée par la formule de Montana :

$$i_{(T,tc)} = a_{(T)} \times tc^{-b(T)} \quad (tc \text{ en mn}).$$

Les valeurs des coefficients a et b dépendent, pour chaque station, de la période de retour (T) et du domaine de validité correspondant à un intervalle de durée de précipitation (D).

Les relations $i_{(T,tc)} = a_{(T)} \times tc^{-b(T)}$ s'ajustent généralement sur les intervalles de temps suivants :

- 6 à 30 mn (couple $a_{(T)}$ et $b_{(T)}$) ;
- 15 à 360 mn (couple $a'_{(T)}$ et $b'_{(T)}$) ;
- 360 mn à 24 heures (couple $a''_{(T)}$ et $b''_{(T)}$).

Pour les calculs, il faut donc prendre les valeurs des coefficients a et b de l'intervalle de temps qui correspond au temps de concentration du bassin versant considéré.

Remarques :

- les coefficients a et b ne doivent pas être utilisés en dehors de leur domaine de validité ;
- dans tous les cas, il est conseillé d'utiliser des données pluviométriques locales ;
- les valeurs des données pluviométriques évoluent dans le temps ce qui fait évoluer les coefficients a et b . Ils peuvent être acquis auprès des services de la Météorologie Nationale (MÉTÉO-FRANCE) ;
- dans chaque étude, le lieu du pluviographe de référence utilisé, la période d'observation, les unités des coefficients a et b avec leur période de retour doivent apparaître et ce, pour chaque domaine de validité (D) appliqué dans l'étude.

Hauteurs d'eau journalières pour une fréquence donnée

Ces valeurs $P_{(T)}$ proviennent de l'exploitation des pluviomètres et représentent une hauteur en mm d'eau non centrée tombée en 24 heures en fonction d'une période de retour. Elles sont utilisées essentiellement

dans les formules de calcul des débits d'apport des bassins versants naturels.

Identiquement au paragraphe précédent, la connaissance des valeurs locales $P_{(T)}$ peuvent être acquises auprès des services de la Météorologie Nationale.

En exemple, le tableau n° 15 donne les valeurs des coefficients de Montana acquises auprès de Météo France de Lille-Lesquin (59) pour la période : 1955-1997 (années 1989, 1991, 1992 et 1993 incomplètes).

Remarque :

l'utilisation de ces valeurs dans la formule de Montana :

$i_{(T,tc)} = a_{(T)} \times tc^{-b(T)}$ donne le résultat de l'intensité i en mm/minute avec un temps de concentration tc exprimé en mn). Pour obtenir un résultat en mm/heure, il faut multiplier la valeur a par 60.

Le tableau n° 16 donne les hauteurs d'eau journalières pour une fréquence donnée.

Fréquences de retour	Hauteur en mm
10 ans	47,5
20 ans	53,6
25 ans	55,5
50 ans	61,3
75 ans	64,7
100 ans	66,4

Tableau n° 16 : hauteurs d'eau journalières pour une fréquence donnée

T (périodes de retour)	D (domaines de validité des coefficients de Montana)					
	D ₁ : 6<T<30		D ₂ : 15<T<360		D ₃ : 360<T<1440	
	a	b	a	b	a	b
2 ans	3,276	0,586	5,842	0,766	5,417	0,756
5 ans	4,727	0,596	9,194	0,804	6,152	0,738
10 ans	5,669	0,600	11,417	0,819	6,686	0,730
20 ans	6,592	0,603	13,699	0,832	7,249	0,725
25 ans	6,864	0,603	14,391	0,835	7,397	0,723
50 ans	7,749	0,604	16,700	0,845	7,891	0,718
75 ans	8,319	0,607	17,977	0,849	8,208	0,716
100 ans	8,650	0,606	18,992	0,853	8,390	0,714

Tableau n° 15 : valeurs des coefficients de Montana de Météo France de Lille-Lesquin pour la période : 1955-1997

4.1.2 - Exemple d'application numérique pour le calcul d'un débit de projet d'un bassin versant naturel

Caractéristiques du bassin versant naturel intercepté par le projet

Il s'agit pour l'essentiel de recueillir les données concernant le milieu naturel et de connaître les caractéristiques du bassin versant concerné. Dans la mesure où il n'existe aucune station de jaugeage sur le ruisseau concerné, ce travail s'appuie essentiellement sur des données cartographiques, une reconnaissance pédestre du terrain et un recueil d'informations obtenues auprès de différents services et riverains.

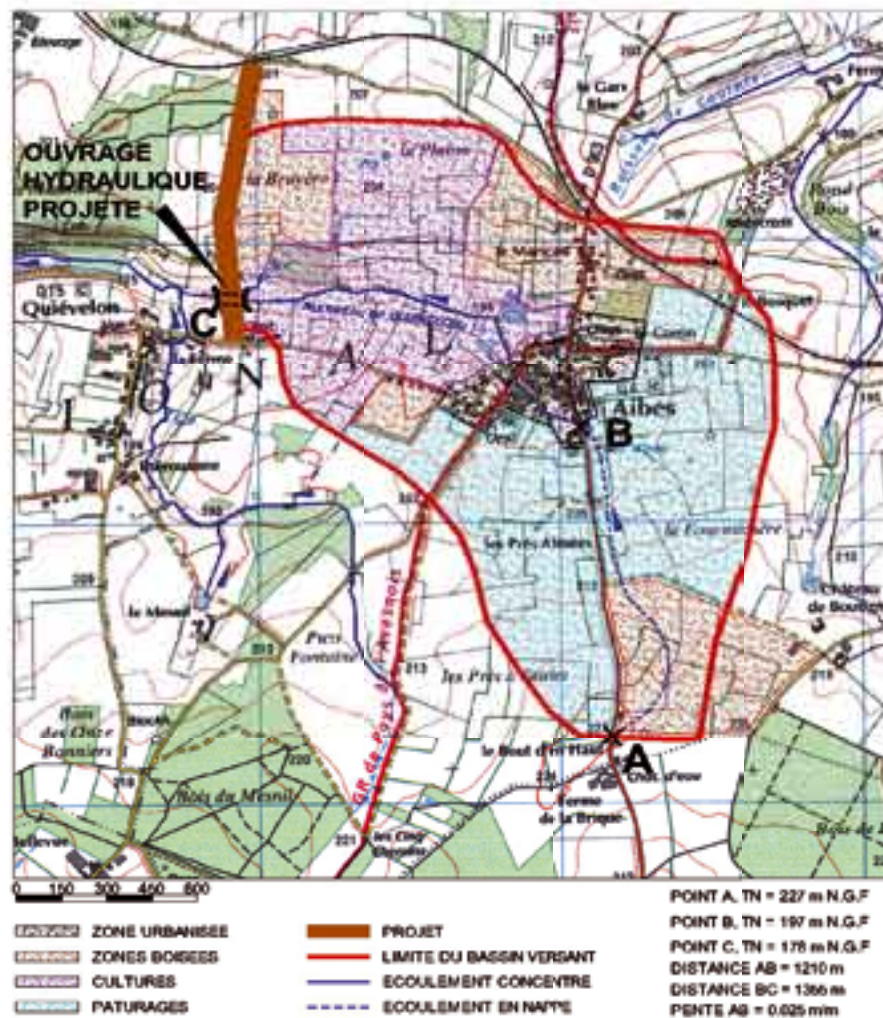
En première étape, il faut délimiter la superficie du bassin versant intercepté. A partir de cette délimitation et d'une reconnaissance sur le terrain, on peut obtenir les principales caractéristiques du bassin versant concerné.

La carte ci-dessous montre le bassin versant naturel du ruisseau de Quievelon intercepté par le projet

roucier qui relie les communes de Quievelon à Colleret. Elle donne l'emplacement futur de l'ouvrage hydraulique nécessaire à mettre en place pour assurer le rétablissement des écoulements. Par ailleurs, il est important de signaler qu'aucune faune piscicole n'est présente sur ce ruisseau. En conséquence, aucun dispositif particulier n'est à prévoir vis-à-vis de la circulation et la reproduction des espèces. Le schéma n° 15 donne le profil en travers au droit du franchissement (point c).

Description du bassin versant

Le projet se situe au sud du département du Nord dans l'Avesnois. Le bassin versant intercepté fait partie du bassin hydrographique de la Sambre et est drainé par le ruisseau de Quievelon. Il est essentiellement constitué de bocages, de prairies humides, de cultures et de petites zones boisées. On note également la présence d'une petite zone urbanisée.



Carte du bassin versant naturel intercepté et de localisation de l'ouvrage de rétablissement



Photo n° 1 : ruisseau de Quievelon

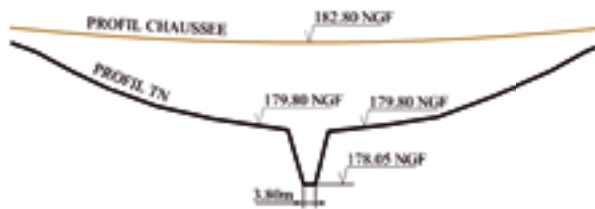


Schéma n° 15 : profil en travers du ruisseau au droit du franchissement (point C)

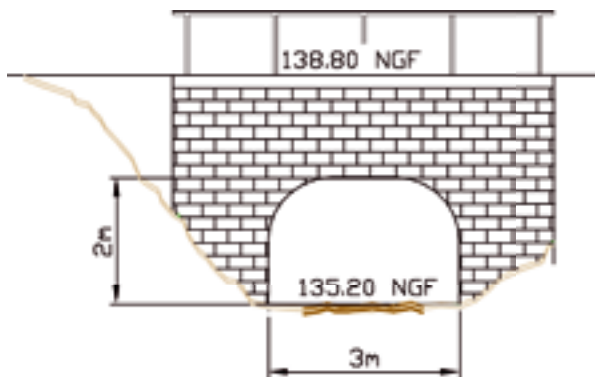


Schéma n° 16 : ouvrage existant

Sur la photo n°1, on note la présence d'un ouvrage situé à 0,6 km en aval du projet. Cet ouvrage réalisé en pierre maçonné n'a jamais fait l'objet de débordements selon le témoignage de riverains.

La section hydraulique de cet ouvrage existant (cf. schéma n° 16) qui est de l'ordre de 5,70 m², nous donne une bonne indication de la taille de l'ouvrage à mettre en place (d'autant plus que l'enquête auprès des riverains indique qu'il n'a jamais débordé, aussi cette section sera vraisemblablement la section plafond de l'ouvrage à projeter).

Morphologie du bassin versant

La nature des sols rencontrés montre un faciès limoneux. Les principales caractéristiques du bassin versant intercepté par le projet sont les suivantes :

- Superficie : $S = 2,53 \text{ km}^2$
- Pente moyenne : $\frac{\Delta H}{L} = 0,0191 \text{ m/m}$, soit 2 %

avec : ΔH : dénivellée entre le point haut et le point bas du bassin versant soit 49 m

L : longueur du cheminement hydraulique soit 2565 m de A à C

Occupation du sol

- zones boisées $S_B = 0,71 \text{ km}^2$
- zones urbanisées $S_U = 0,17 \text{ km}^2$
- zones de pâturage $S_P = 0,98 \text{ km}^2$
- zones de culture $S_C = 0,67 \text{ km}^2$

Paramètres pluviométriques utilisés

Pour les besoins de l'étude, nous avons obtenu les données pluviographiques et pluviométriques nécessaires auprès du Service Météo France de la station de Lille-Lesquin (59) qui sont représentatives et proches du projet. Elles nous donnent les valeurs des coefficients a et b utilisés dans la formule de Montana $i = a \times t^{-b}$ avec i intensité en mm/minute et t temps en minute (cf. tableau n° 17).

Les hauteurs de pluies journalières décennale et centennale en mm sont :

$$P_{(10)} = 48 \text{ mm et } P_{(100)} = 67 \text{ mm}$$

Périodes de retour	Domaines de validité des coefficients de Montana			
	Période : 1955-1997 ⁽¹⁾			
	6 mn < t < 30 mn		15 mn < t < 360 mn	
	a	b	a	b
10 ans	340,14	0,600	685,02	0,819
100 ans	519,00	0,606	1139,52	0,853

⁽¹⁾ Années 1989, 1991, 1992 et 1993 incomplètes

Tableau n° 17 : domaines de validité des coefficients de Montana en fonction de la période de retour

Détermination du débit de projet du bassin versant naturel

Par application de la méthode rationnelle

1) pour T = 10 ans

- évaluation du coefficient de ruissellement $C_{(10)}$ (à l'aide du tableau n° 1, chapitre 1.1.2) ;

$C_{(10)}$: calculé en considérant une pente inférieure à 5 ‰ (presque plat) avec des terrains limoneux. Pour la zone urbanisée, nous avons fait le ratio de la surface imperméabilisée sur la surface de la zone. On obtient les coefficients élémentaires suivants :

- zones boisées ($S_B = 0,71 \text{ km}^2$) : 0,30
- zones urbanisées ($S_U = 0,17 \text{ km}^2$) : 0,55
- zones de pâturage ($S_P = 0,98 \text{ km}^2$) : 0,30
- zones de culture ($S_C = 0,67 \text{ km}^2$) : 0,50

d'où

$$C_{(10)} = \frac{(0,71 \times 0,3) + (0,17 \times 0,55) + (0,98 \times 0,30) + (0,67 \times 0,50)}{2,53} = 0,3690 = 0,37$$

- calcul du temps de concentration $tc_{(10)}$ (méthode décrite au chapitre 1.1.4) ;

$tc_{(10)}$: calculé en rappel que sur la partie amont (tronçon AB) les écoulements sont peu ou pas marqués (écoulement en nappe) et sur la partie aval (tronçon BC) les écoulements sont quasi permanents et plus marqués (écoulement concentré).

- Tronçon AB : (écoulement en nappe)

Altimétrie : point A = 227,00 NGF,

point B = 197,00 NGF

Longueur $L_{AB} = 1210 \text{ m}$, pente $p_{AB} = 0,025 \text{ m/m}$

$$V_{AB} = 1,4 \times p_{AB}^{1/2} = 1,4 \times 0,025^{0,5} = 0,22 \text{ m/s} \Rightarrow t_{AB} = \frac{L_{AB}}{V_{AB}} = \frac{1210}{0,22} = 5500 \text{ s}$$

- Tronçon BC : (écoulement concentré)

Altimétrie : point B = 197,00 NGF,

point C = 178,00 NGF

Longueur $L_{BC} = 1355 \text{ m}$, pente $p_{BC} = 0,014 \text{ m/m}$

$$V_{BC} = 15 \times p_{BC}^{1/2} = 15 \times 0,014^{0,5} = 1,77 \text{ m/s} \Rightarrow t_{BC} = \frac{L_{BC}}{V_{BC}} = \frac{1355}{1,77} = 765 \text{ s}$$

Ce qui donne un temps de concentration

$$tc_{(10)} = 5500 + 765 = 6265 \text{ s soit } 104,41 \text{ mn} \approx 104 \text{ mn}$$

- calcul de l'intensité critique $i_{(10)}$

$i_{(10)}$: déterminée à partir de la relation de Montana en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude pour une période de retour 10 ans en fonction du domaine de validité qui encadre le temps de concentration $tc_{(10)}$ du bassin versant naturel soit :

$$i_{(10)} = 685,02 \times tc_{(10)}^{-0,819}$$

d'où

$$i_{(10)} = 685,02 \times (104)^{-0,819} = 15,26 \text{ mm/h}$$

- débit de pointe décennal $Q_{(10)}$

$$Q_{(10)} = \frac{C_{(10)} \times i_{(10)} \times A_{BVS}}{3,6} = \frac{0,37 \times 15,26 \times 2,53}{3,6} = 3,96 \text{ m}^3/\text{s} = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

2) pour T = 100 ans

- rappel des paramètres connus

avec : T = 10 ans

$$P_{(10)} = 48 \text{ mm} \quad C_{(10)} = 0,37 \quad tc_{(10)} = 104 \text{ mn}$$

avec : T = 100 ans

$$P_{(100)} = 67 \text{ mm}$$

- calcul de la rétention initiale P_0 (méthode décrite au chapitre 1.1.4)

Comme on a $C_{(10)} = 0,37 < 0,8$ on a

$$P_0 = \left(1 - \frac{C_{(10)}}{0,8}\right) \times P_{(10)} = \left(1 - \frac{0,37}{0,8}\right) \times 48 = 25,80 \text{ mm}$$

- évaluation du coefficient de ruissellement $C_{(100)}$ (méthode décrite au chapitre 1.1.2)

$$C_{100} = 0,8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_{(100)}}\right) = 0,8 \times \left(1 - \frac{25,80}{67}\right) = 0,4919 = 0,49$$

- calcul du temps de concentration $tc_{(100)}$ (méthode décrite au chapitre 1.1.4)

$$tc_{(100)} = tc_{(10)} \times \left(\frac{P_{(100)} - P_0}{P_{(10)} - P_0}\right) = 104 \times \left(\frac{67 - 25,80}{48 - 25,80}\right)^{-0,23} = 90,21 \text{ mn} = 90 \text{ m}$$

- calcul de l'intensité critique $i_{(100)}$

$i_{(100)}$: déterminée à partir de la relation de Montana en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude pour une période de retour 100 ans en fonction du domaine de validité qui encadre le temps de concentration $tc_{(100)}$ du bassin versant naturel

soit : $i_{(100)} = 1139,52 \times t_{(100)}^{-0,853}$

d'où $i_{(100)} = 1139,52 \times (90)^{-0,853} = 24,5 \text{ mm/h}$

- débit de pointe centennal $Q_{(100)}$

$$Q_{(100)} = \frac{C_{(100)} \times i_{(100)} \times A_{BVN}}{3,6} = \frac{0,49 \times 24,50 \times 2,53}{3,6} = 8,43 \text{ m}^3/\text{s} \approx 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

On observe que l'on obtient un rapport

$$Q_{(100)} / Q_{(10)} = 8,5 / 4,0 = 2,12$$

Cette valeur traduit l'effet de seuil sur un petit bassin (hors écrêtement par des zones inondables).

Par application de la formule Crupédix

- rappel des paramètres connus

Superficie du bassin versant naturel : $S_{BV} = 2,53 \text{ km}^2$

Pluie journalière décennale non centrée: $P_{(10)} = 48 \text{ mm}$

Coefficient régional : $R = 1$ (la nature des terrains étant semi-perméable, la valeur retenue est celle des sols intermédiaires comme préconisée au chapitre 1.1.4).

- débit de pointe décennal $Q_{(10)}$

$$Q_{(10)} = R \times \left(\frac{P_{(10)}}{80} \right)^2 \times S_{BV}^{0,8} = 1 \times \left(\frac{48}{80} \right)^2 \times 2,53^{0,8} = 0,756 = 0,80 \text{ m}^3/\text{s}$$

- débit de pointe centennal $Q_{(100)}$

En utilisant le rapport $Q_{(100)} / Q_{(10)} = 2,12$ obtenu par l'utilisation de la méthode rationnelle, on obtient :

$$Q_{(100)} = 2,12 \times Q_{(10)} = 2,12 \times 0,8 = 1,696 = 1,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Par application de la formule de transition

Résultats de calcul par la méthode rationnelle :

$$Q_{R(10)} = 4,0 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{R(100)} = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Résultats de calcul par la Méthode Crupédix :

$$Q_{C(10)} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{C(100)} = 1,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Superficie du bassin versant naturel (S_{BV}) = 2,53 km²

- calcul des paramètres α et β

$$\alpha = \frac{10 - S_{BV}}{9} = \frac{10 - 2,53}{9} = 0,83 \quad \text{et} \quad \beta = 1 - \alpha = 1 - 0,83 = 0,17$$

- débit de pointe décennal $Q_{(10)}$

$$Q_{(10)} = \alpha \times Q_{R(10)} + \beta \times Q_{C(10)} = (0,83 \times 4,0) + (0,17 \times 0,8) = 3,45 \approx 3,5 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- débit de pointe centennal $Q_{(100)}$

$$Q_{(100)} = \alpha \times Q_{R(100)} + \beta \times Q_{C(100)} = (0,83 \times 8,5) + (0,17 \times 1,7) = 7,34 \approx 7,4 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Pour le dimensionnement de l'ouvrage hydraulique de rétablissement du ruisseau de Quievelon sous le projet, nous retenons en conséquence le débit de projet $Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3 / \text{s}$.

A titre de comparaison, le débit $Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3 / \text{s}$ correspond à une hauteur d'eau de 1,40 m dans l'ouvrage existant situé en aval du projet (par utilisation de la formule de Manning Strickler avec un coefficient de rugosité K estimé à 40 et une pente $p = 0,0030 \text{ m/m}$). Dans la mesure où cet ouvrage permet une hauteur d'eau allant jusqu'à 2 m, le débit retenu paraît cohérent. L'enquête menée auprès des riverains confirme qu'aucune insuffisance n'a été relevée sur cet ouvrage et rend notre résultat de calcul acceptable.

4.2 - Éléments d'hydraulique générale

4.2.1 - Rappels sur la théorie des écoulements

Les rétablissements des écoulements naturels font appel à la théorie des écoulements à surface libre*. Un écoulement est dit libre si, à sa partie supérieure, le liquide est soumis à la pression atmosphérique (pour une canalisation, la ligne d'eau de l'écoulement n'atteint pas la partie supérieure de la canalisation).

Les écoulements sont classés selon deux types :

Écoulements uniformes

Un écoulement est uniforme si le débit, la pente, la section transversale (forme et nature des parois) sont constants (cf. schéma n° 17).

L'écoulement dans les ouvrages d'assainissement de plate-forme est néanmoins considéré comme un écoulement uniforme.

Dans de telles conditions, la formule de Manning – Strickler peut s'appliquer :

$$Q = K \cdot R_h^{2/3} \cdot p^{1/2} \cdot S_m$$

avec :

Q : débit en m^3/s

K : coefficient de rugosité

R_h : rayon hydraulique en m avec $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

S_m : section mouillée* en m^2

P_m : périmètre mouillé* en m

p : pente en m/m

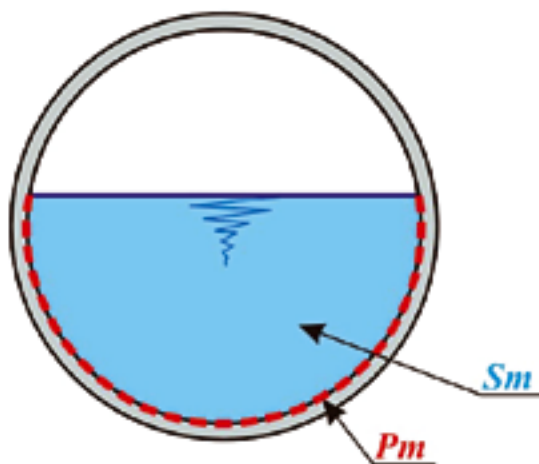


Schéma n° 17 : section transversale d'un ouvrage d'assainissement

Cette formule permet de déterminer la hauteur de la ligne d'eau en un point de l'écoulement dans une section donnée. Cette hauteur d'eau est alors appelée hauteur normale* (elle est dénommée y_n dans le cas d'un ouvrage hydraulique et h_n dans le cours d'eau)

Choix du coefficient de rugosité* K

Les valeurs usuelles des coefficients de rugosité des ouvrages d'assainissement routier, mentionnées dans le tableau n° 18, tiennent compte du vieillissement de l'ouvrage et de l'architecture du réseau. Il s'agit de valeurs communément admises pour la route.

Pour les natures d'ouvrage non mentionnées dans le tableau n° 18, se reporter aux fiches produit des fabricants et intégrer les aspects vieillissement et architecture du réseau.

Écoulements graduellement variés

Un écoulement est graduellement varié si ses différents paramètres (pente, section transversale et vitesse) varient de façon continue, progressive et lente.

Dans le cadre du présent guide, il est considéré que l'écoulement passant d'un cours d'eau à un ouvrage de rétablissement (via la tête d'ouvrage) s'effectue en écoulement graduellement varié et que le fluide est parfait.

Fréquences de retour	Hauteur en mm
Ouvrages enherbés plats peu profonds	
$h \leq 0,15$ m	10
$h \leq 0,20$ m	15
h : hauteur d'eau dans l'ouvrage en m	
Fossés enherbés (fossés trapézoïdaux et triangulaires)	25
Ouvrages superficiels en béton (fossés, cunettes et caniveaux)	70
Canalisations lisses (béton, PVC, PEHD, etc.)	80

Tableau n° 18 : coefficients de rugosité K dans les ouvrages d'assainissement

Équation de Bernoulli

Dans les conditions définies ci-avant, l'équation de BERNOULLI s'applique sur une ligne de courant, à chaque section de l'écoulement libre :

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} = \text{Cte}$$

avec

H : charge totale en mètre

z : cote du fond par rapport à un plan de référence en mètre

y : hauteur piézométrique en mètre (hauteur réelle du niveau de l'écoulement)

V : vitesse de l'écoulement en m/s

g : accélération de la pesanteur = 9,81 m/s²
(arrondi partout à 10 m/s²)

$\frac{V^2}{2g}$: représente l'énergie cinétique en m

En prenant en compte la perte de charge le long de l'écoulement, l'équation de Bernoulli (cf. schéma n°18) s'écrit :

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} + \Delta_H = \text{Cte}$$

(Δ_H = perte de charge en m)

L'application du théorème de Bernoulli à l'entrée de l'ouvrage projeté permet d'évaluer la hauteur d'eau H_{AM} à l'amont* de l'ouvrage, alors

$$H_{AM} = y_c + (1 + K_c) \frac{V_c^2}{2g}$$

y_c : hauteur d'eau à l'entrée immédiate de l'ouvrage (en m)

K_c : coefficient d'entonnement

V_c : vitesse à l'entrée de l'ouvrage en m/s

Charge spécifique

On appelle charge spécifique la valeur $H_s = y + \frac{V^2}{2g}$

En remplaçant $V = \frac{Q}{S}$, on obtient $H_s = y + \frac{Q^2}{2gS^2}$

La variation de H_s , en fonction de y pour un débit constant, est représentée par la courbe (schéma n° 19) :

La charge spécifique passe par un minimum pour une hauteur d'eau y_c appelée hauteur critique*. La charge spécifique est alors appelée charge spécifique critique.

La hauteur y_c satisfait la relation : $\frac{Q^2 L_c}{gS^3} = 1$

L_c est la largeur au miroir de l'écoulement pour la hauteur d'eau y_c .

- si la hauteur d'eau y de l'écoulement est $< y_c$, l'écoulement est en régime torrentiel* ;
- si la hauteur d'eau y de l'écoulement est $> y_c$, l'écoulement est en régime fluvial* ;
- si la hauteur d'eau y de l'écoulement est $= y_c$, l'écoulement est en régime critique*.

La ligne d'eau en régime fluvial* remonte vers l'amont ce qui n'est pas le cas du régime torrentiel*. Le régime critique* le long de l'écoulement dans l'ouvrage est à proscrire.

Pour le régime d'écoulement à l'intérieur des ouvrages, on recherche les configurations suivantes (cf. tableau n°19) :

Régime aval de l'ouvrage	Régime dans l'ouvrage
Fluvial	Fluvial
Torrentiel	Fluvial ou torrentiel

Tableau n° 19 : configurations pour le régime d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage

Nota : lors du passage du régime torrentiel au régime fluvial, il y a création d'un ressaut* qui est préjudiciable à la pérennité de l'ouvrage projeté. Cette configuration doit être exceptionnelle.

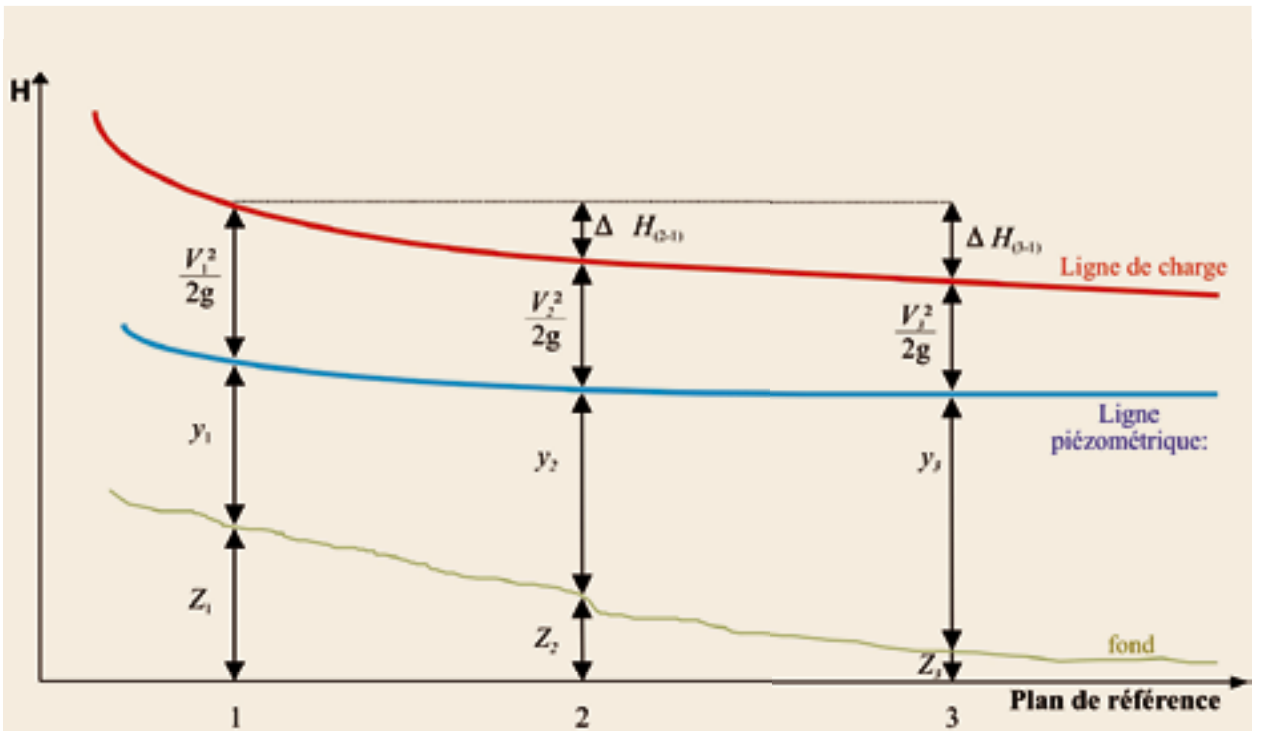


Schéma n° 18 : représentation de l'équation de Bernoulli

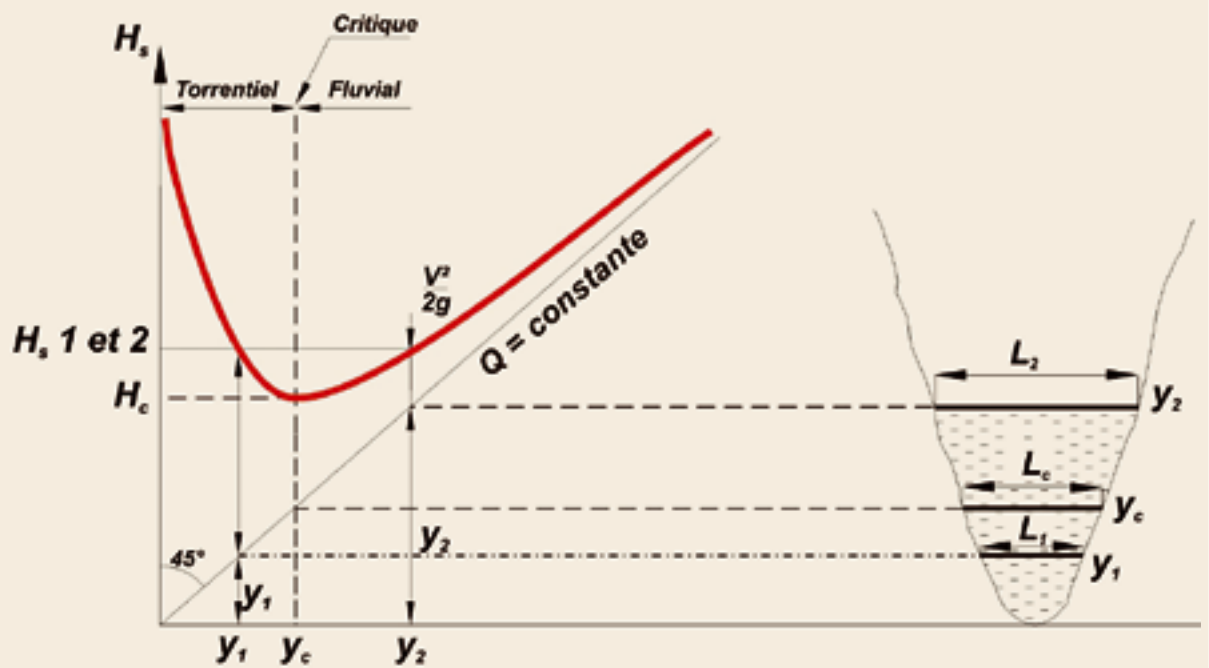


Schéma n° 19 : variation de H_s , en fonction de y

Dimensionnement hydraulique

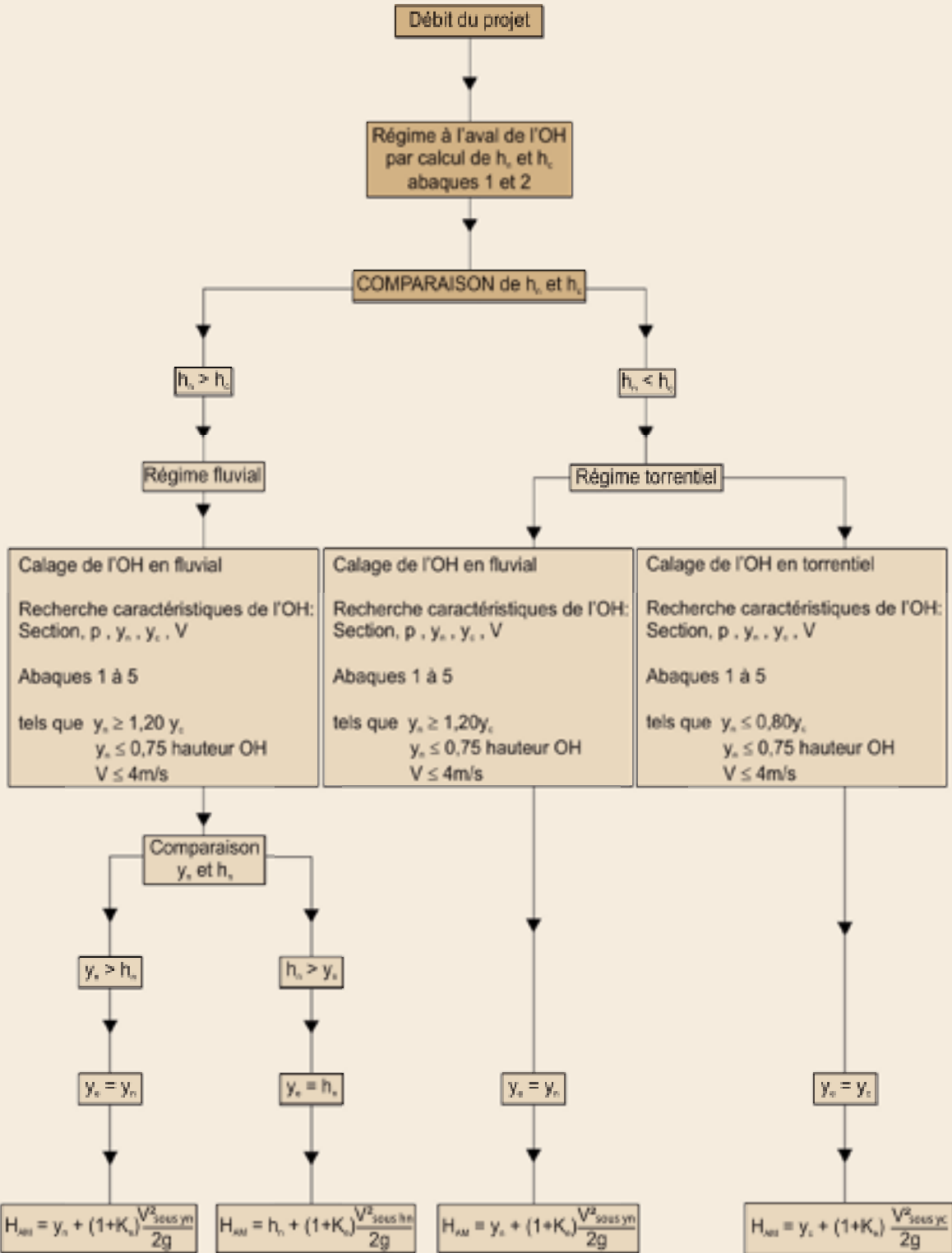


Schéma n° 22 : démarche pour le dimensionnement hydraulique

Démarche de dimensionnement des ouvrages

La démarche consiste à rechercher :

- le régime d'écoulement à l'aval. Les schémas n° 20 et 21 résument les cas de figures possibles à savoir :
 - régime fluvial* à l'aval (ouvrage calé en fluvial) ;
 - régime torrentiel* à l'aval (ouvrage calé en fluvial) ou en torrentiel ;

- le calage d'ouvrage dans le régime approprié au régime aval (ce qui détermine la hauteur d'eau y_e à l'entrée de l'ouvrage) ;
- la hauteur d'eau à l'amont* H_{AM} de l'ouvrage.

Le logigramme du schéma n° 22 synthétise cette démarche :

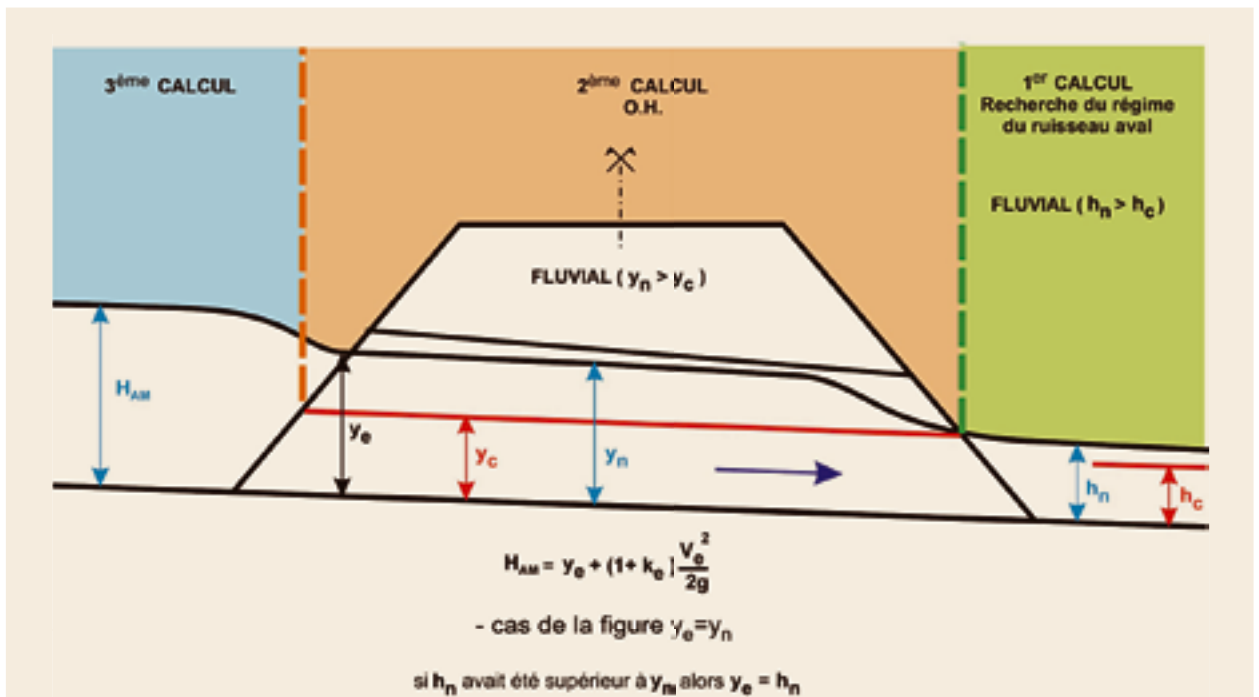


Schéma n° 20 : cas du régime fluvial à l'aval de l'ouvrage

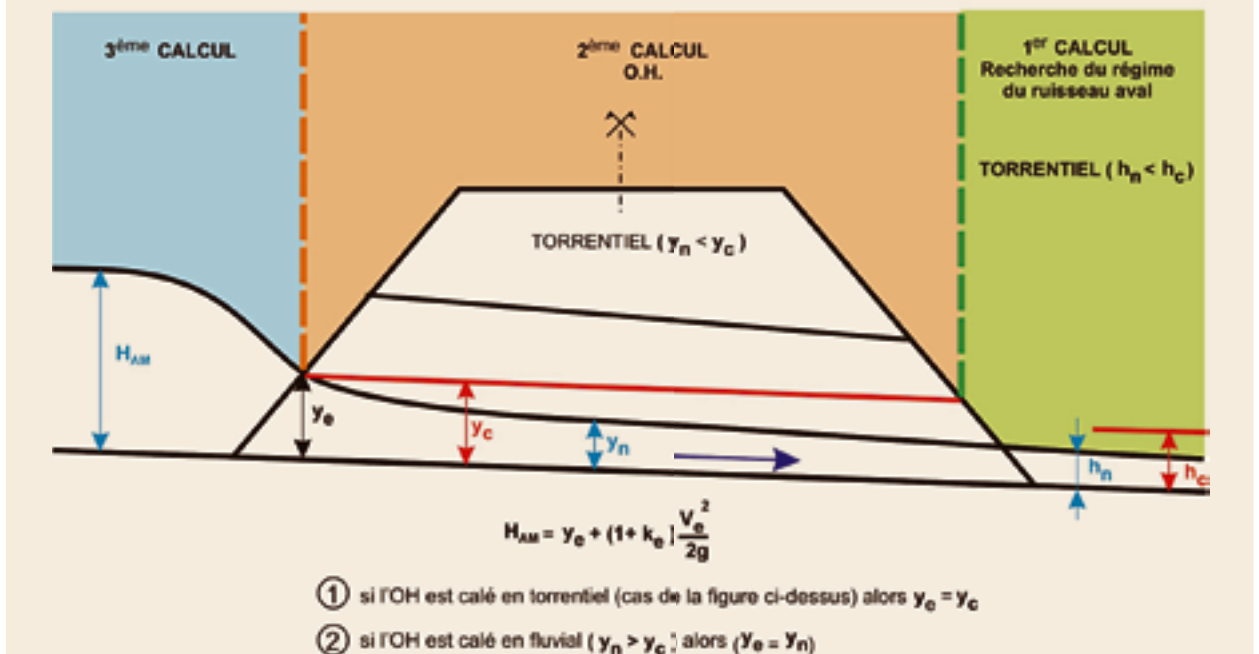


Schéma n° 21 : cas du régime torrentiel à l'aval de l'ouvrage

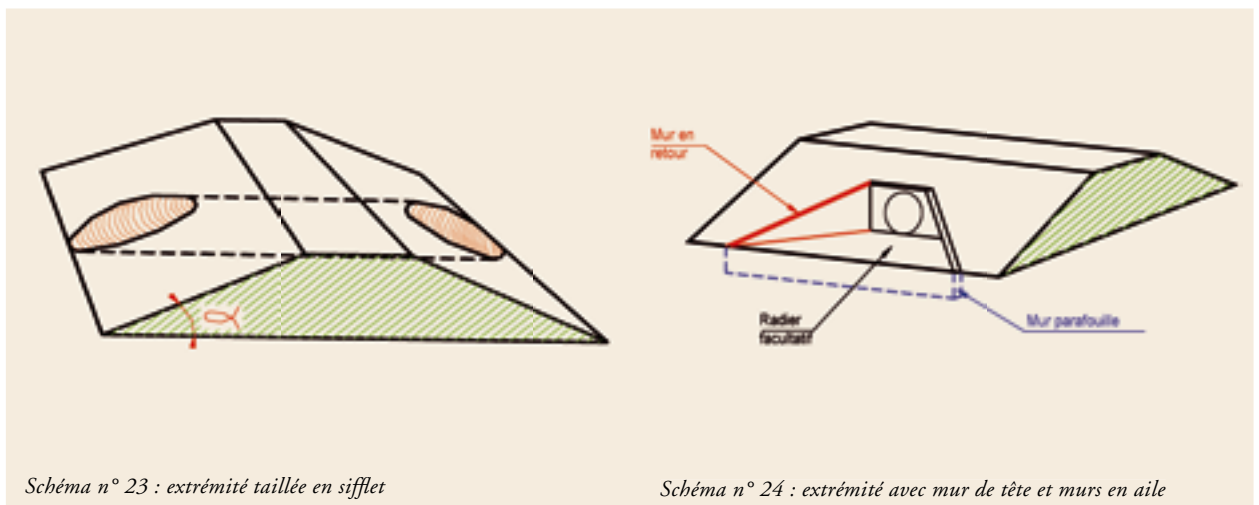
Coefficient d'entonnement* K_e

Ce coefficient varie selon le type de l'entrée de l'eau dans l'ouvrage. Prendre les valeurs dans le tableau n° 20 :

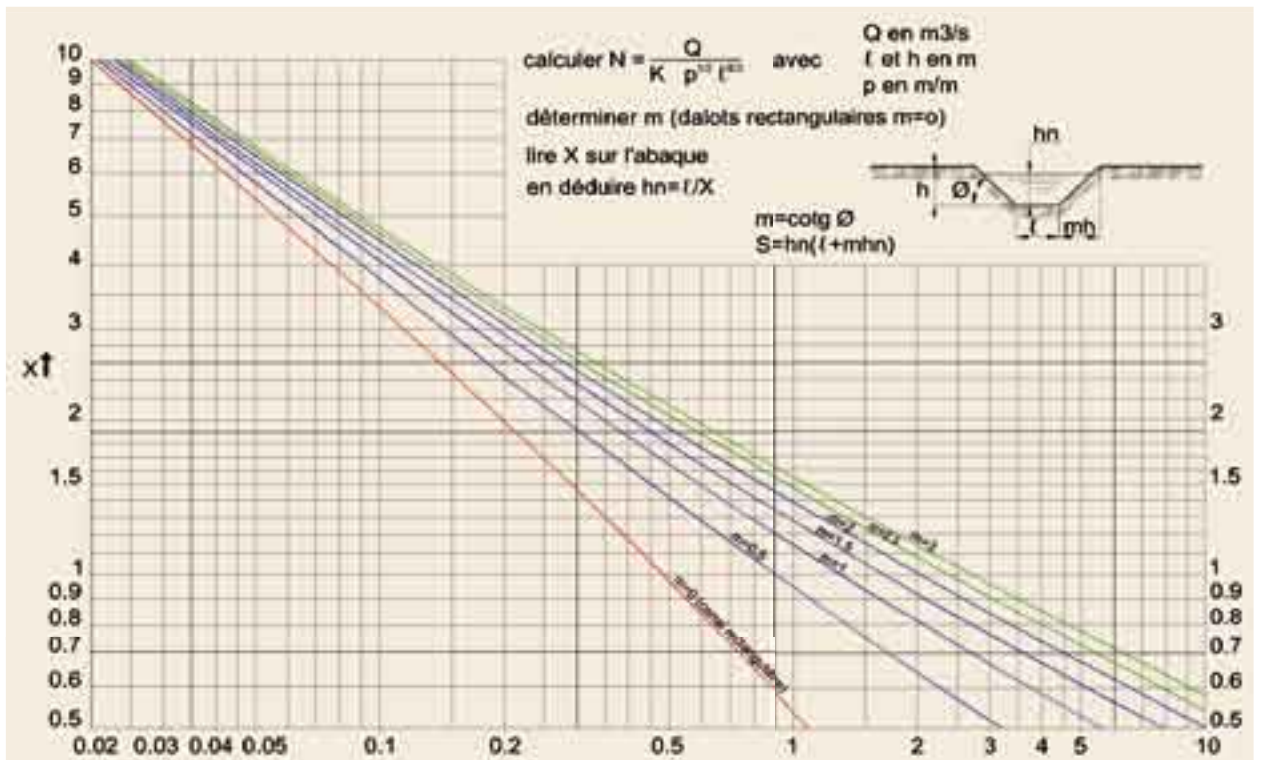
Ces coefficients d'entonnement K_e du tableau n°20 ne tiennent pas compte d'un rétrécissement parfois important de l'écoulement dû au remblai routier et à l'ouvrage. Aussi, pour ces cas de figures plus complexes, il faut utiliser d'autres relations données dans des ouvrages spécialisés non mentionnés dans le présent document.

Type de l'entrée	K_e
Extrémité taillée en sifflet (schéma n°23)	0,7
Extrémité avec mur de tête et murs en aile (schéma n°24)	0,5

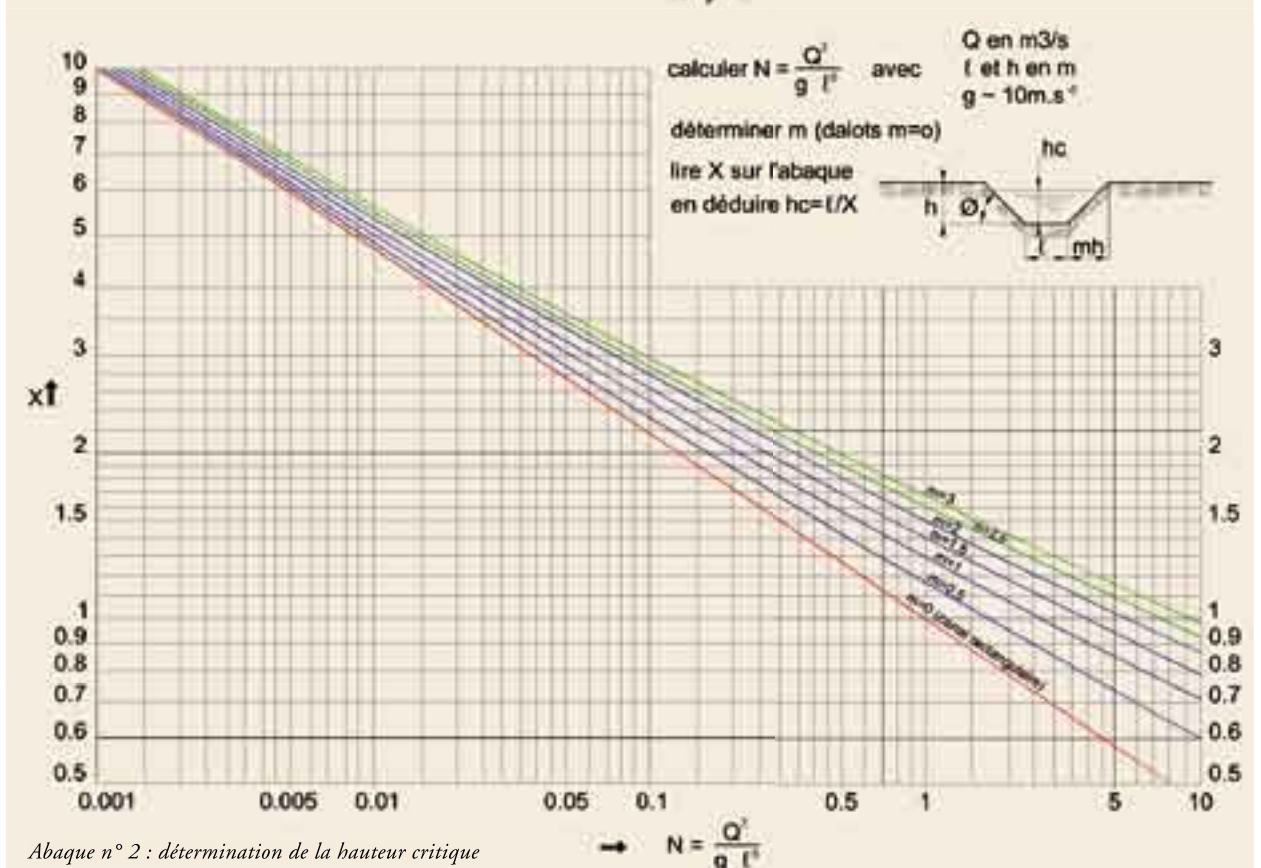
Tableau n° 20 : coefficient d'entonnement* K_e en fonction du type d'entrée de l'eau dans l'ouvrage



4.2.2 - Abaques de dimensionnement de petits ouvrages hydrauliques pour le rétablissement des écoulements naturels
 Canaux trapézoïdaux, dalots (m=0)



Abaque n° 1 : détermination de la hauteur d'eau normale.



Abaque n° 2 : détermination de la hauteur critique

Buses–arches*. Passages. Arches (abaques n° 3, 4 et 5)

Détermination des hauteurs d'eau normales, critiques et de la section de l'écoulement.

Pour utiliser ces abaques, il est nécessaire de calculer, à partir des caractéristiques de l'ouvrage choisi, des paramètres sans dimension.

La forme des buses-arches et passages a été assimilée à un demi-cercle surmontant une demi-ellipse (cf. schéma n° 25). L'erreur par rapport à la section réelle est très faible dès que le taux de remplissage dépasse 0,50.

P_0 : portée de la buse-arche,

F : flèche de celle-ci,

$$R = \frac{P_0}{2} \text{ (différent du rayon hydraulique)}$$

$$\text{Taux de remplissage } \tau = \frac{h}{F}$$

Le coefficient d'aplatissement λ de la buse est défini par la relation

$$\frac{R}{\lambda} = F - R \text{ (demi petit axe de l'ellipse) d'où}$$

$$\lambda = \frac{P_0}{2F - P_0} \left(= \frac{R}{F - R_0} \right)$$

- buses circulaires : $\lambda = 1$
- buses-arches et passages : λ varie de 1,25 à 5
- arches semi-circulaires : on admettra $\lambda = \infty$

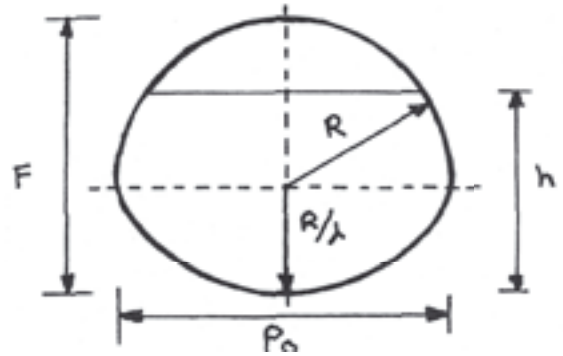
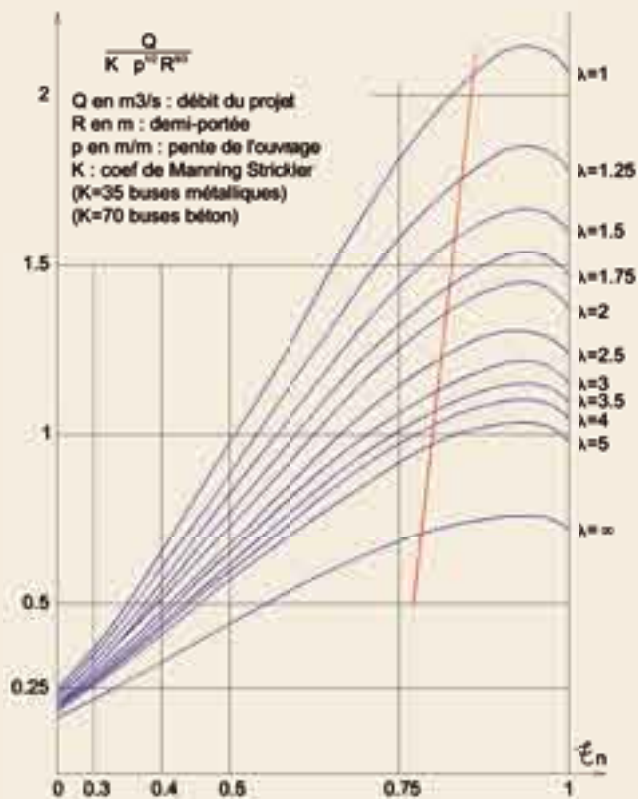


Schéma n° 25 : buse-arche

λ	$\frac{Q}{K.p^{1/2}.R^{8/3}}$	$\frac{Q}{\sqrt{g}.R^{5/2}}$	$\frac{S}{R^2}$
1,2	1,62	2,75	2,34
1,3	1,55	2,64	2,26
1,4	1,49	2,55	2,20
1,5	1,44	2,46	2,14
1,6	1,39	2,39	2,09
1,7	1,35	2,33	2,05
1,8	1,32	2,27	2,01
1,9	1,28	2,22	1,98
2,0	1,25	2,18	1,95
2,1	1,23	2,14	1,92
2,2	1,20	2,10	1,89
2,3	1,18	2,07	1,87
2,4	1,16	2,04	1,85
2,5	1,14	2,01	1,83
2,6	1,12	1,98	1,81
2,7	1,10	1,96	1,79
2,8	1,09	1,94	1,78
2,9	1,08	1,92	1,76
3,0	1,07	1,90	1,75
3,1	1,05	1,88	1,74

λ	$\frac{Q}{K.p^{1/2}.R^{8/3}}$	$\frac{Q}{\sqrt{g}.R^{5/2}}$	$\frac{S}{R^2}$
3,2	1,04	1,86	1,72
3,3	1,03	1,85	1,71
3,4	1,02	1,83	1,70
3,5	1,01	1,82	1,69
3,6	1,00	1,80	1,68
3,7	0,99	1,79	1,67
3,8	0,99	1,78	1,67
3,9	0,98	1,77	1,66
4,0	0,97	1,76	1,65
4,1	0,96	1,75	1,64
4,2	0,96	1,74	1,64
4,3	0,95	1,73	1,63
4,4	0,94	1,72	1,62
4,5	0,94	1,71	1,62
4,6	0,93	1,71	1,61
4,7	0,93	1,70	1,61
4,8	0,92	1,69	1,60
4,9	0,92	1,68	1,60
5,0	0,91	1,68	1,59

Tableau n° 21 : éléments d'interpolation pour les abaques n°3, 4 et 5 pour $\tau = 0,75$



Abaque n° 5 : détermination de la hauteur d'eau normale (y_n).

Abaque n° 5 : détermination de y_n (hauteur d'eau normale)

Calculer $\frac{Q}{K \cdot p^{1/2} \cdot R^{8/3}}$; τ_n est déduit sur l'abaque n° 5

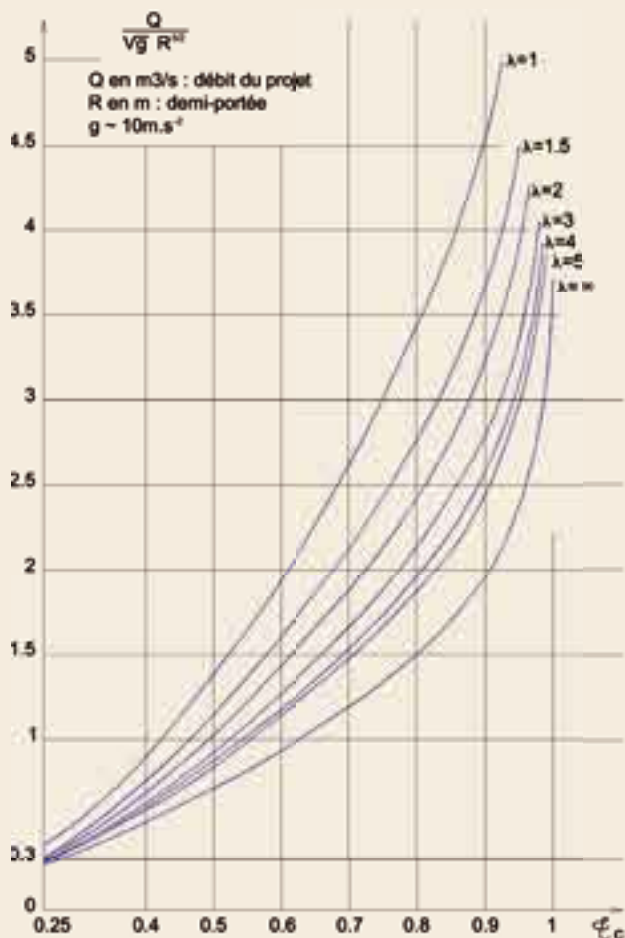
$$y_n = \tau_n \times F$$

Remarques :

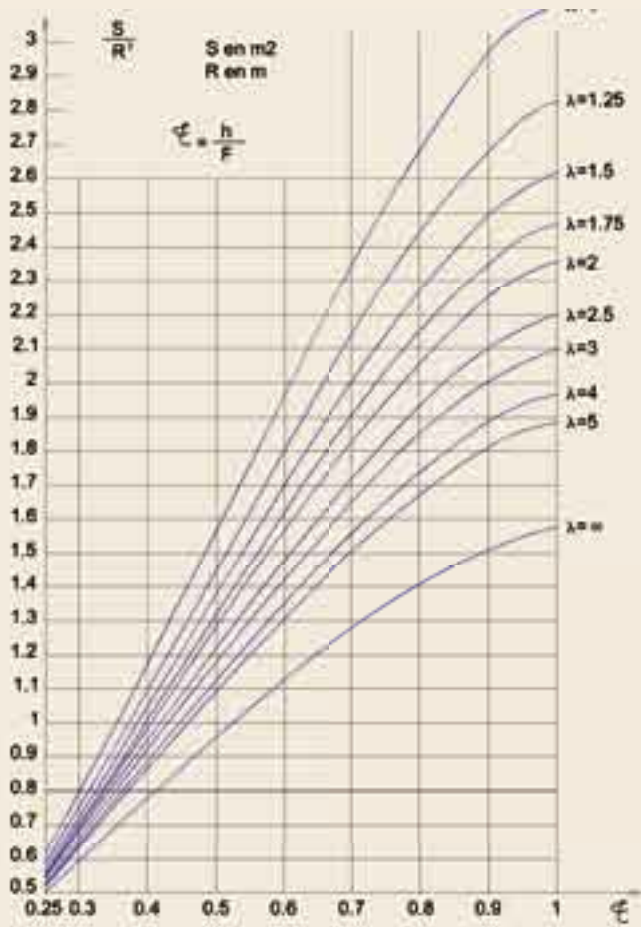
- la droite oblique indique la limite pratique du taux de remplissage en régime fluvial ($\tau = 0,8$). En effet, toute augmentation de débit au-delà de la valeur correspondant à $\tau = 0,8$ et $\tau = 1$ risque de mettre l'ouvrage en charge ;
- lorsque le coefficient d'aplatissement de la buse ne figure pas sur l'abaque, le tableau n°21 donne pour $\tau = 0,75$, les éléments facilitant l'interpolation. Tracer la courbe correspondant au λ le plus proche de celui de la buse, au voisinage de la valeur $\tau_n = 0,75$;
- si $\tau_n < 0,5$: essayer un ouvrage plus petit.

Abaque n° 3 : détermination de y_c (hauteur d'eau critique). La procédure est la même que pour l'abaque n°5 ; on calculera ici la valeur de :

$$\frac{Q}{\sqrt{g} \cdot R^{5/2}}$$
 ; d'où τ_c et $y_c = \tau_c \times F$.



Abaque n° 3 : détermination de la hauteur d'eau critique (y_c).



Abaque n° 4 : détermination de la section mouillée (S_m).

Abaque n° 4 : détermination de S (section de l'écoulement) pour la hauteur d'eau (ou plus simplement pour le taux de remplissage) déterminée précédemment.

On en déduira la vitesse moyenne pour cette hauteur

$$V = \frac{Q}{S}$$

Buses circulaires (abaques n°6 à 11)

Les abaques n° 6, 7, 8 sont relatives aux buses en béton.

Les abaques n° 9, 10, 11 sont relatives aux buses métalliques circulaires

Ces abaques sont applicables lorsque l'écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique ne crée pas une réaction aval (cf. schéma n° 26).

Mode d'emploi :

Calculer pour l'ouvrage choisi le rapport

$$\frac{L}{100P} \frac{L(m)}{P(m/m)} \quad \text{ou} \quad \frac{L}{P} \frac{L(m)}{P(\%)}$$

Comparer ce rapport aux nombres index figurant sur les deux courbes (en plein et en tireté) correspondant à chaque diamètre.

Trois cas peuvent se présenter :

1. $\frac{L}{100P} \leq$ index amont (courbe en trait plein).

La hauteur d'eau amont est lue en se plaçant sur la courbe en trait plein.

2. Index amont $< \frac{L}{100P} \leq$ index aval (courbe tireté).

Se placer sur une courbe interpolée linéairement entre les deux courbes de l'abaque et déterminer ainsi H amont.

3. $\frac{L}{100P} >$ index aval.

Ces abaques sont inutilisables. Procéder comme pour les buses-arches et dalots.

Remarque :

- les traits horizontaux pointillés sur les abaques n°6 à 11 indiquent pour chaque courbe les limites de précision à ne pas dépasser. Ces limites se situent sensiblement à la hauteur d'eau amont égale à deux diamètres ($H_{AM} = 2 \phi$) ;
- l'écoulement doit être libre à la sortie de la buse ($H_{aval} < \phi$) ;
- ces abaques correspondent à des ouvrages de tête simples. L'utilisation d'une tête amont profilée, donc une hypothèse différente de celle des abaques peut être possible : se reporter à la méthodologie exposée pour les buses-arches et dalots.

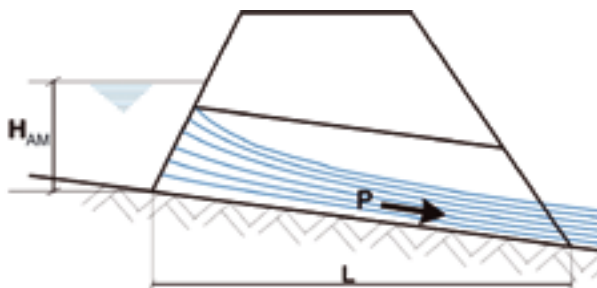
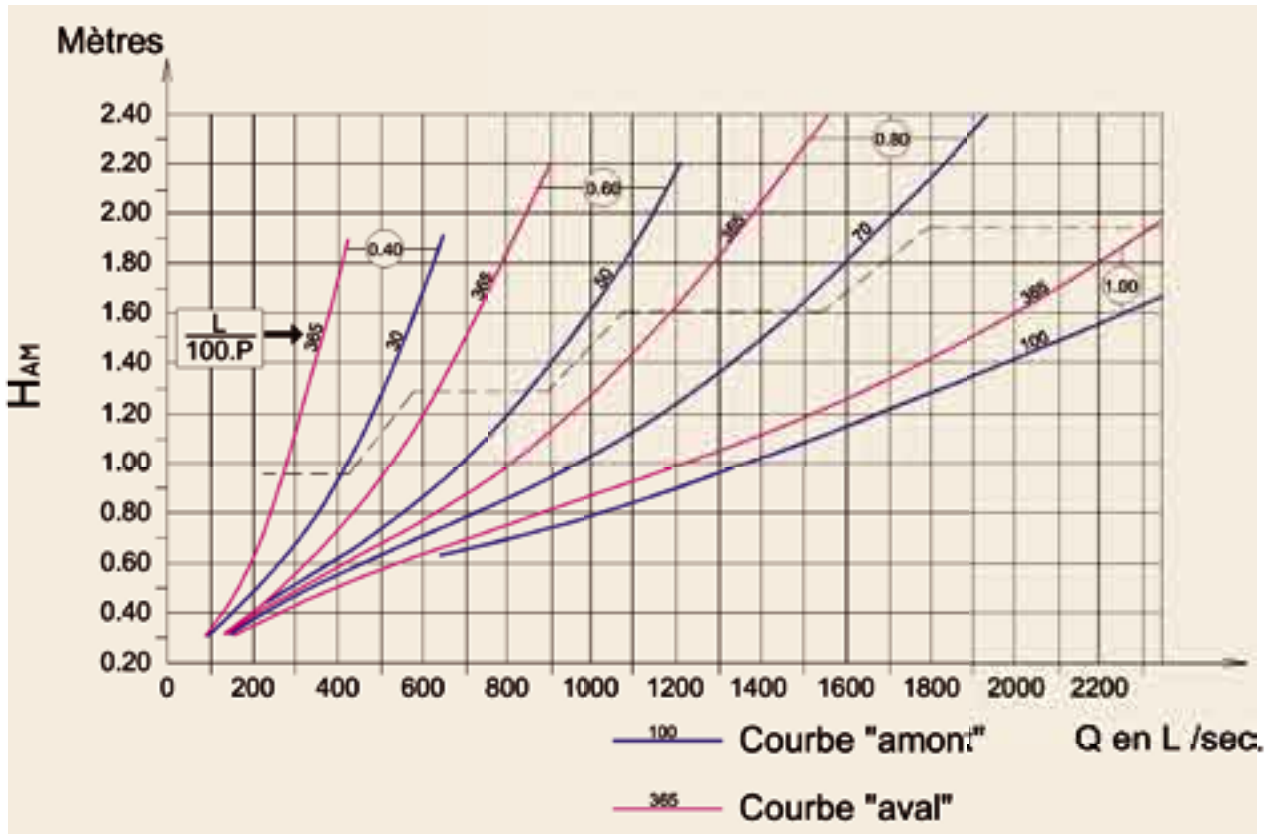
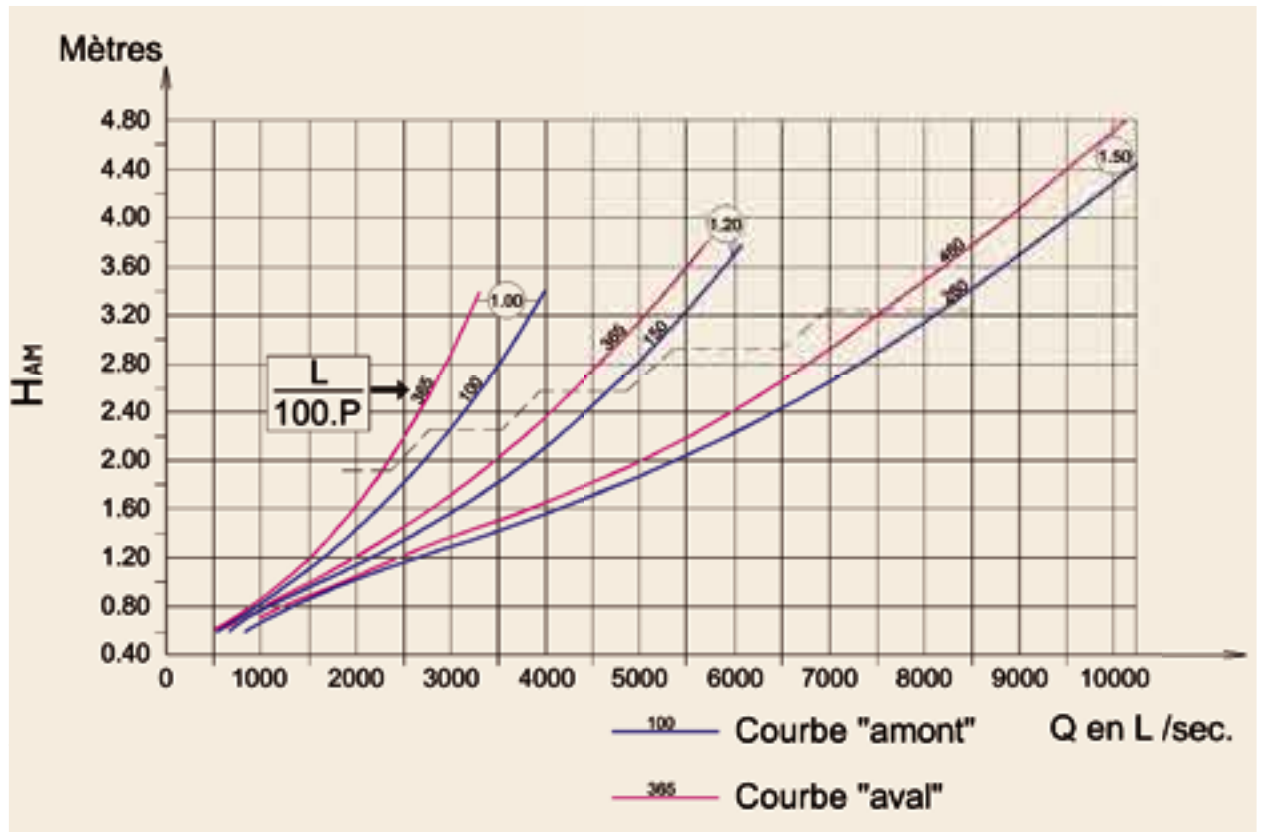


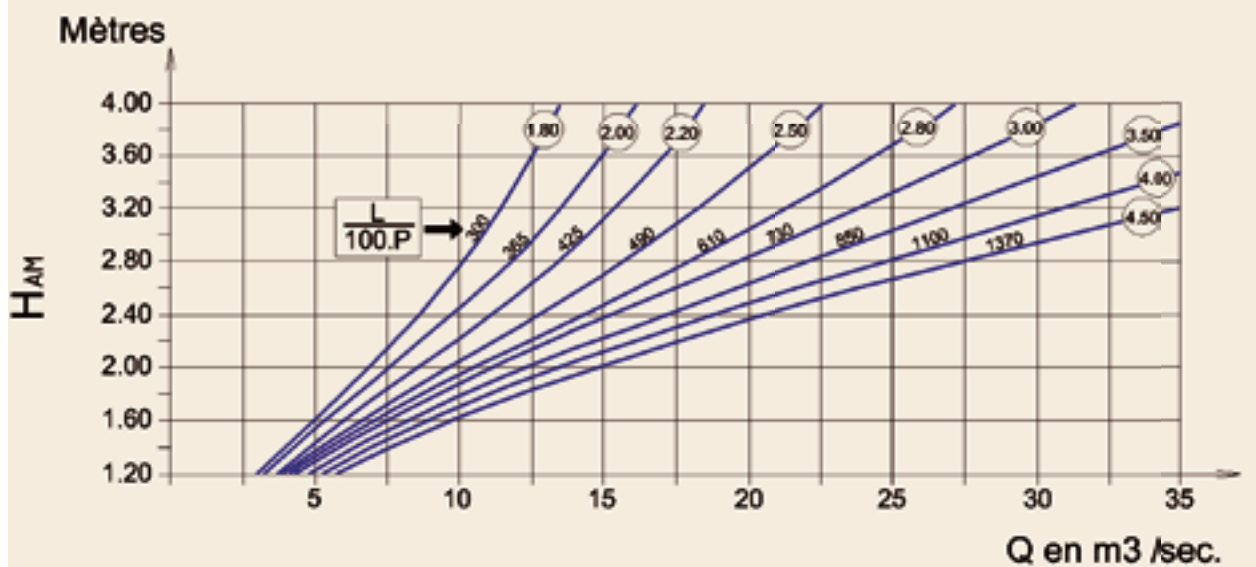
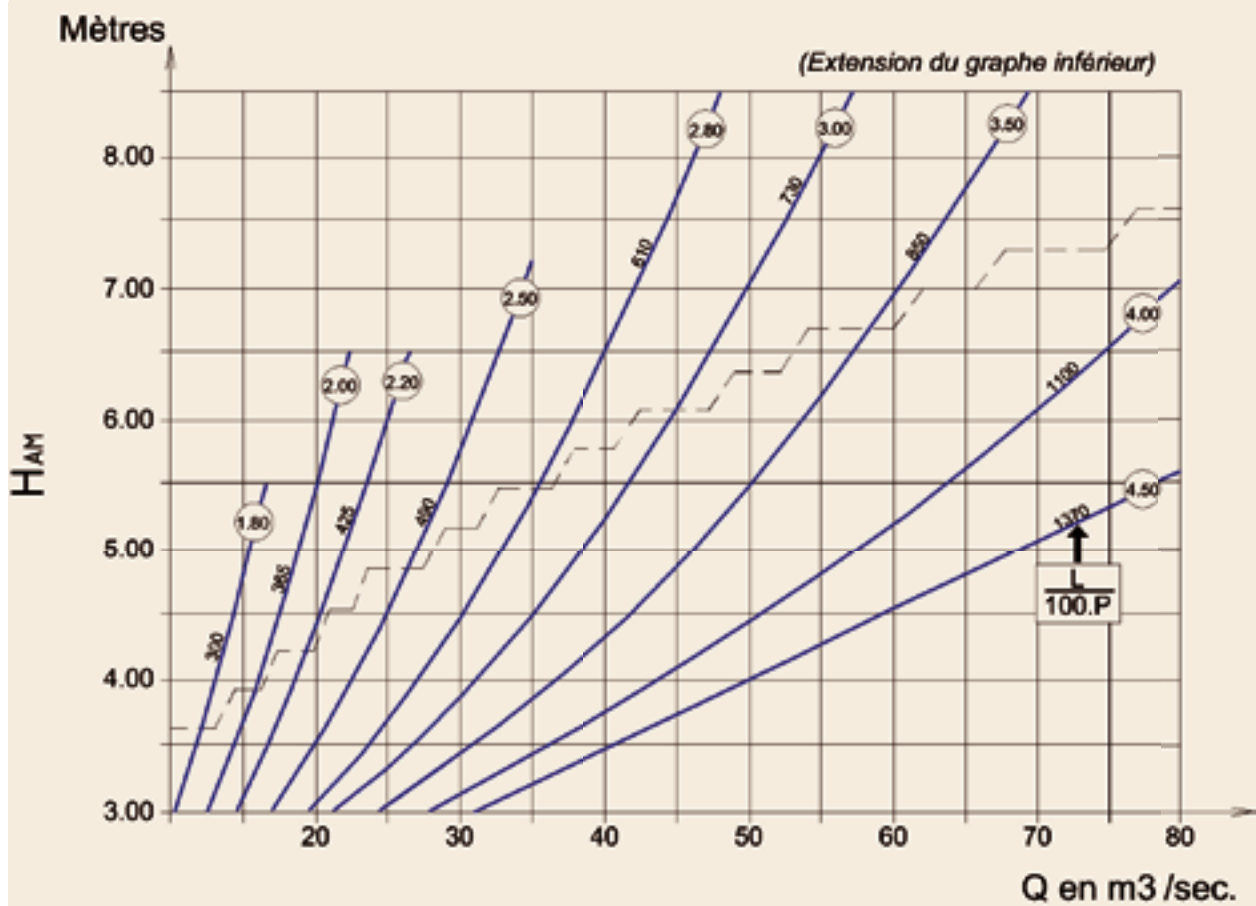
Schéma n° 26 : application des abaques n° 6 à 11 pour un écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique ne créant pas une réaction aval



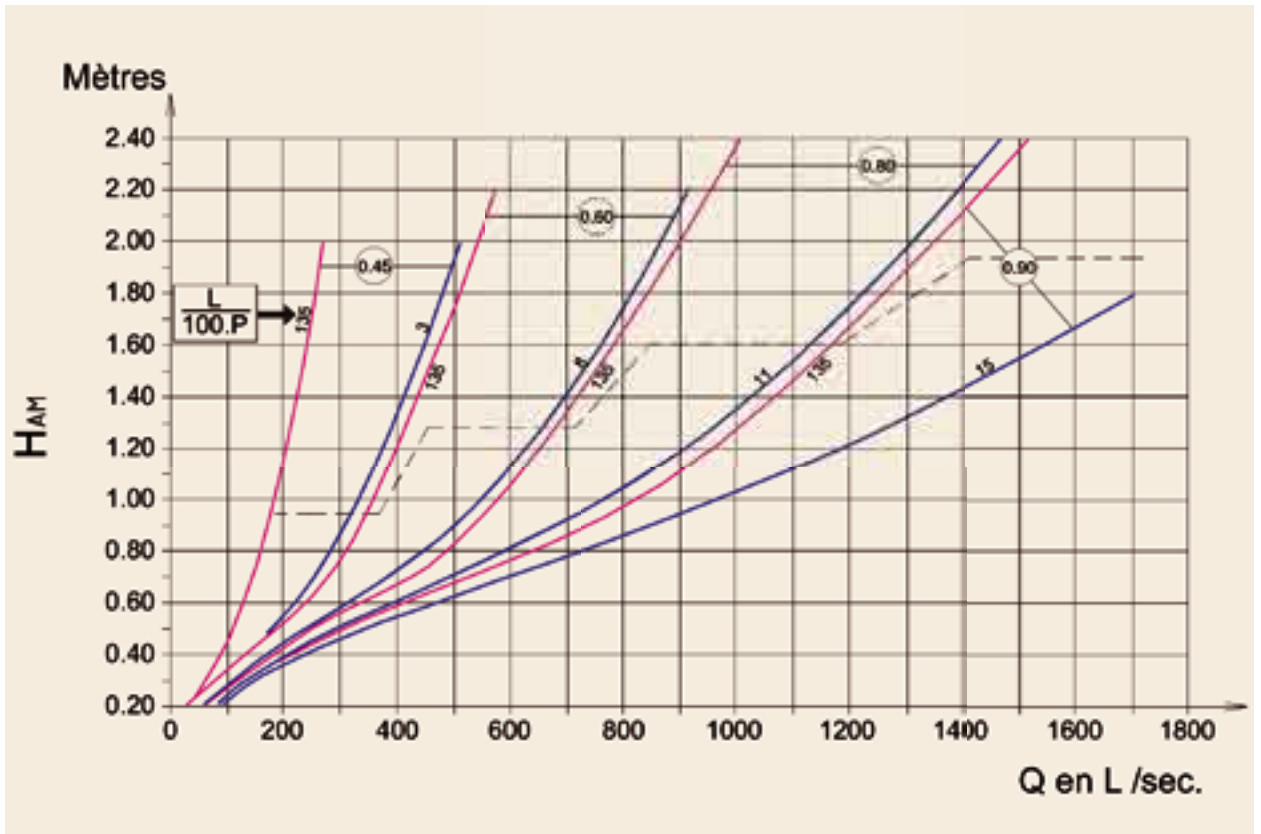
Abaque n° 6 : buses en béton de 0,40 à 1,50 m de diamètre. Contrôle amont.



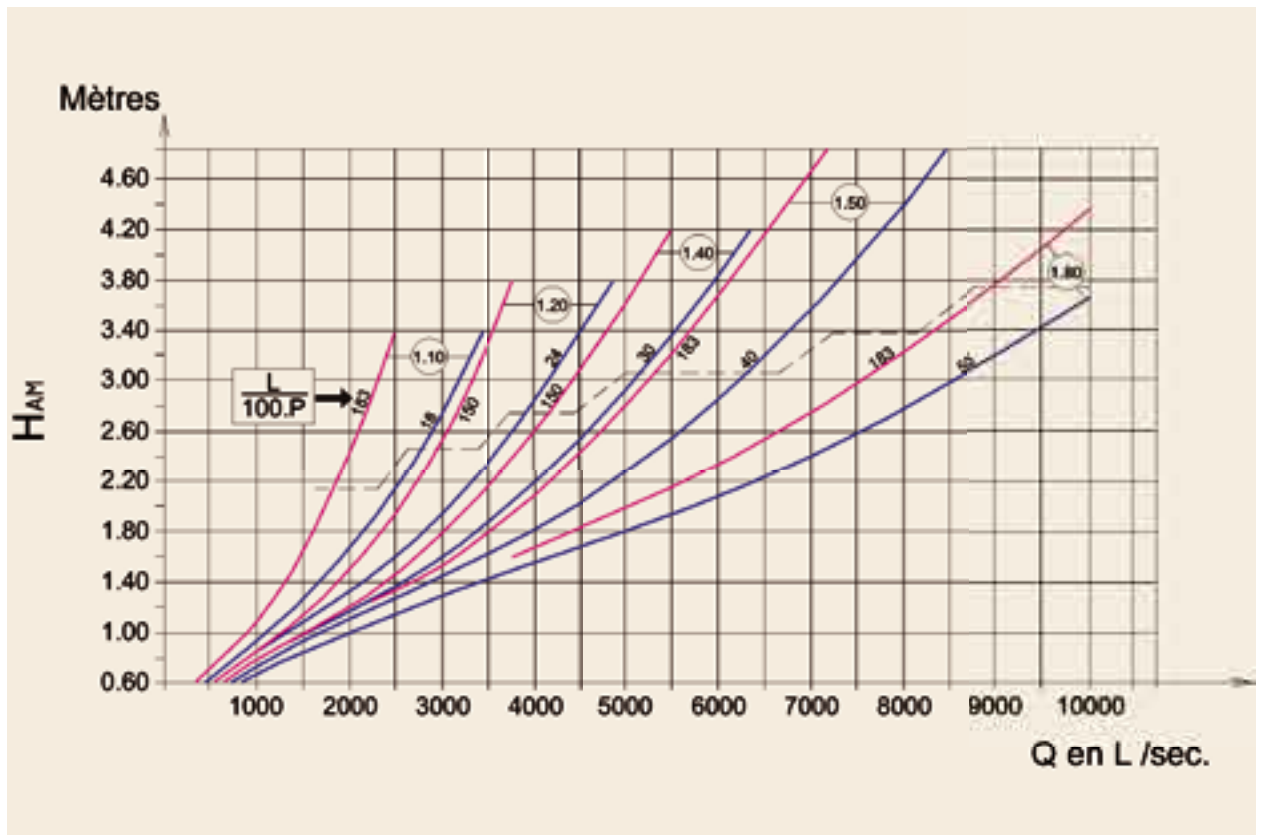
Abaque n° 7 : buses en béton de 0,40 à 1,50 m de diamètre. Contrôle amont.



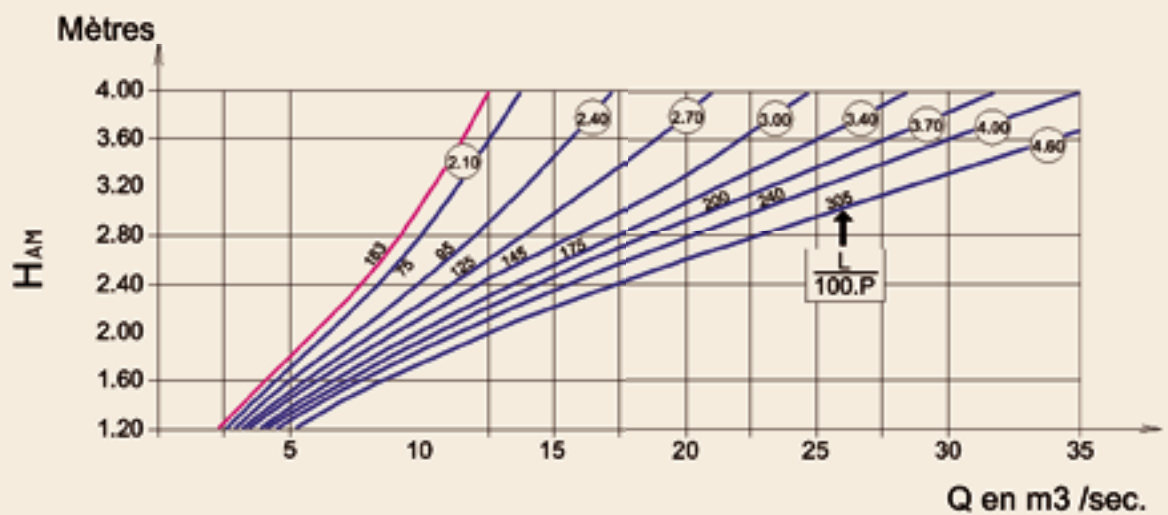
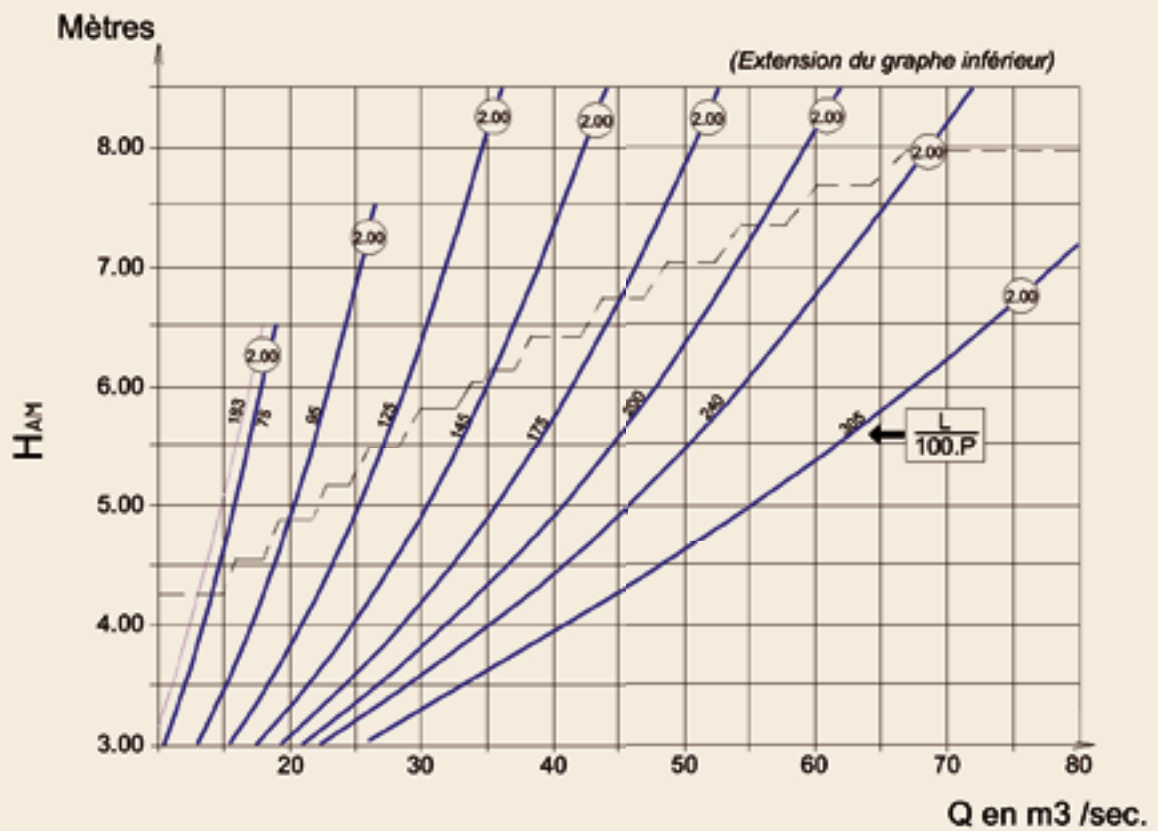
Abaque n° 8 : buses en béton de 1,80 à 4,50 m de diamètre. Contrôle amont.



Abaque n° 9 : buses métalliques circulaires de 0,45 à 1,80 m de diamètre. Contrôle amont.



Abaque n° 10 : buses métalliques circulaires de 0,45 à 1,80 m de diamètre. Contrôle amont.



Abaque n° 11 : buses métalliques circulaires de 2,10 à 4,60 m de diamètre. Contrôle amont.

4.2.3 - Dispositions constructives et protections des ouvrages hydrauliques

Calage

L'implantation d'un ouvrage se fait en priorité dans le lit du cours d'eau. Si cela n'est pas possible (tracé sinueux, biais prononcé) il faudra assurer :

- la conservation d'un bon écoulement hydraulique à l'amont et à l'aval de l'ouvrage (une rectification du lit peut s'avérer nécessaire) ;
- la protection des coudes du nouveau lit et zones remblayées de l'ancien.

Si l'écoulement est pérenne, il faut également tenir compte dans le projet de la mise en place d'une déviation provisoire du cours d'eau ou éventuellement de la construction de l'ouvrage à côté du lit (cf. schéma n° 27).

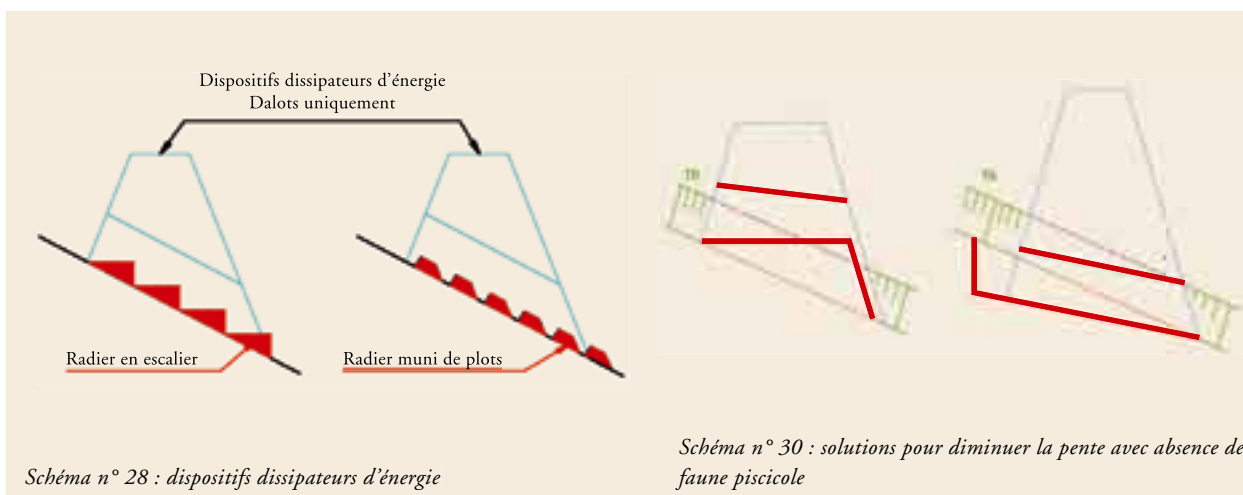
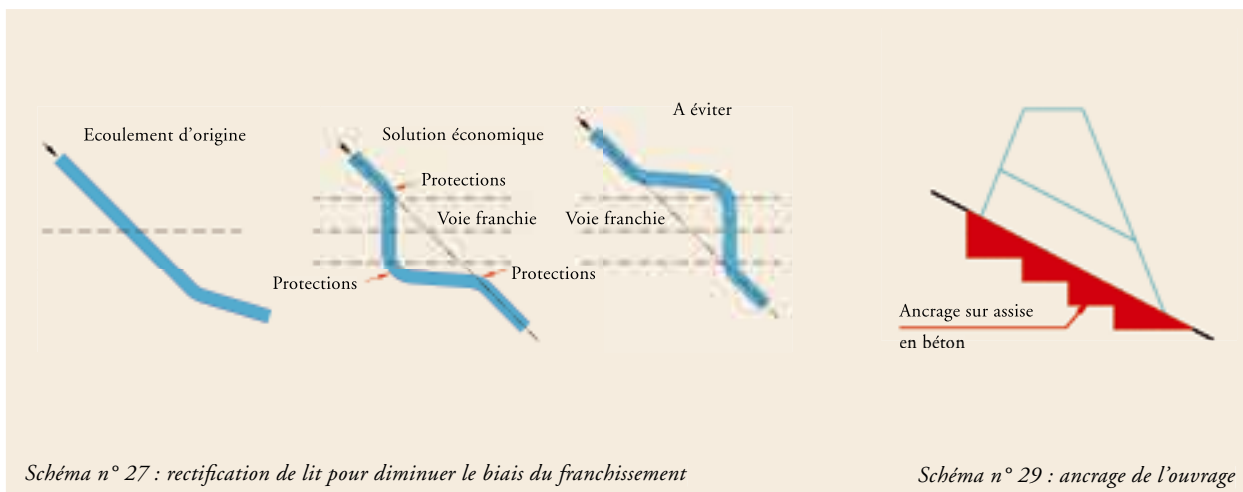
Le calage de l'ouvrage est lié à la pente du lit et aux contraintes éventuelles liées au niveau du profil en long de la voie.

Si la pente du lit est peu élevée (0,5 % à 6 %) et s'il n'y a pas de contraintes de profil en long de la voie, l'ouvrage sera calé suivant le profil en long du cours d'eau (radier à -0,20 m environ par rapport à ce profil en long théorique).

Dans tous les cas de figure, le calage de l'ouvrage devra tenir compte de la faune piscicole.

Si la pente du lit est trop élevée, d'autres types de solutions sont possibles :

- aménager des dispositifs de ralentissement de l'eau (dissipateurs d'énergie) en conservant le profil en long du lit. (cf. schéma n° 28). Cette solution, valable uniquement dans le cas de dalots peut nécessiter la réalisation d'ancrages de l'ouvrage (cf. schéma n° 29) ;
- caler l'ouvrage avec une pente plus faible que celle du cours d'eau en faisant déboucher l'ouvrage à flanc de talus ou en creusant la tête amont par rapport au terrain naturel. (cf. schéma n° 30).



Le choix entre ces solutions dépend du débit et de la nature du terrain.

Si la pente est faible ou nulle, l'ouvrage sera implanté avec la pente maximale que permet l'approfondissement du lit par curage (cf. schéma n° 31) ;

Si le profil en long de la voie nécessite un approfondissement de l'ouvrage, on peut prévoir :

- des ouvrages surbaissés : buses-arches ou dalots * ;
- plusieurs ouvrages de plus faible capacité (solution moins bonne hydrauliquement) ;
- un approfondissement du lit si un curage à l'aval permet d'évacuer l'eau ;
- dans les cas extrêmes, un siphon ou un pont-canal après avoir étudié toutes les autres solutions, y compris **une adaptation du profil en long de l'infrastructure**.

Protections

Ce sont essentiellement celles que l'on dispose à l'entrée et à la sortie de l'ouvrage.

La tête amont est protégée par un parafeuille et un mur de tête, le talus par des murs en aile et un mur de tête jusqu'à la hauteur d'eau amont précédemment déterminée (prise en compte de la crue exceptionnelle).

La tête aval est également protégée par un parafeuille et un mur de tête. En outre, le lit et les berges sont à protéger, par une protection végétale en priorité et le cas échéant, par un revêtement ou des enrochements, lorsque la vitesse de l'eau à la sortie est telle que des érosions sont à craindre ($V > 2$ à 4 m/s suivant les sols), ou lorsque le tracé du cours d'eau forme un coude à l'aval de l'ouvrage.

Le remblai routier ou autoroutier traversé par l'ouvrage hydraulique doit impérativement être protégé jusqu'à la hauteur d'eau amont, projet ou crue exceptionnelle.

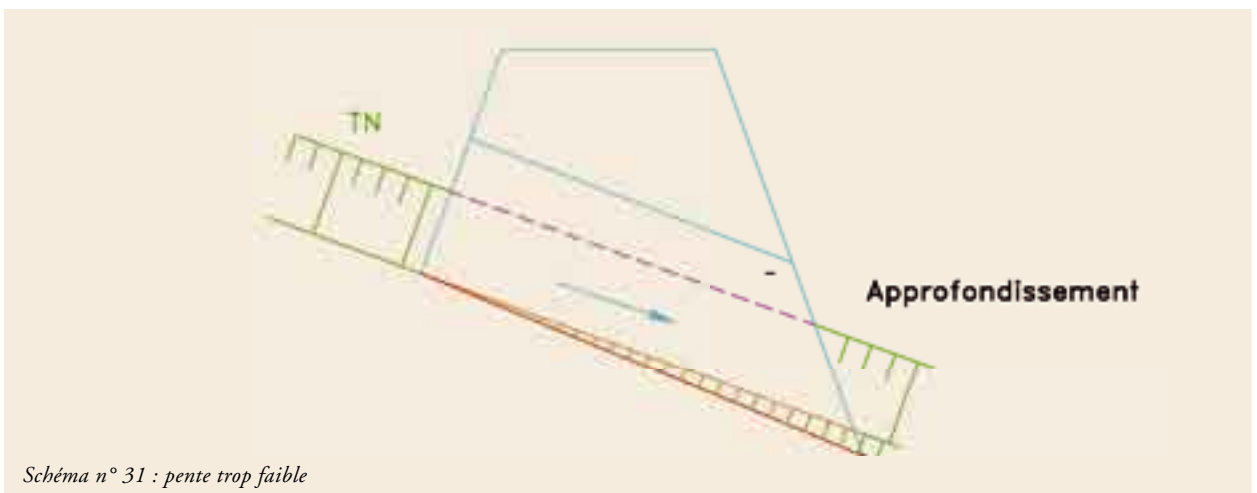


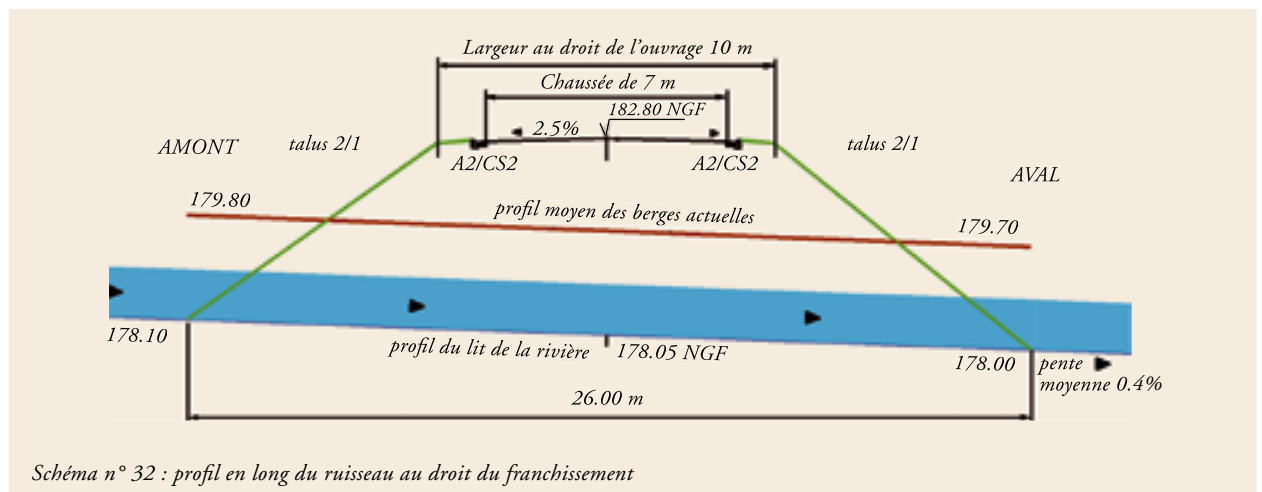
Schéma n° 31 : pente trop faible

4.2.4 - Dimensionnement d'un ouvrage hydraulique de rétablissement des écoulements naturels - Exemple d'application

Suite au calcul du débit d'apport du bassin versant naturel, on retient un débit de projet $Q_{(100)}$ de $7,40 \text{ m}^3/\text{s}$ pour dimensionner l'ouvrage hydraulique. La vérification des conditions d'écoulement est également réalisée pour un débit exceptionnel égal à $1,5 \times Q_{(100)}$ soit pour un débit de $11,10 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le but d'évaluer les impacts sur la pérennité de l'infrastructure et la sécurité des riverains et des usagers. Il s'agit alors de déterminer l'ouvrage hydraulique et la hauteur d'eau amont associée (H_{AM}) permettant de rétablir l'écoulement naturel au travers du remblai ainsi que la mise en place des dispositifs de protections nécessaires en tenant compte des éléments suivants :

Données géométriques du terrain à proximité du franchissement :

Profil en long du ruisseau au droit du franchissement (cf. schéma n° 32)

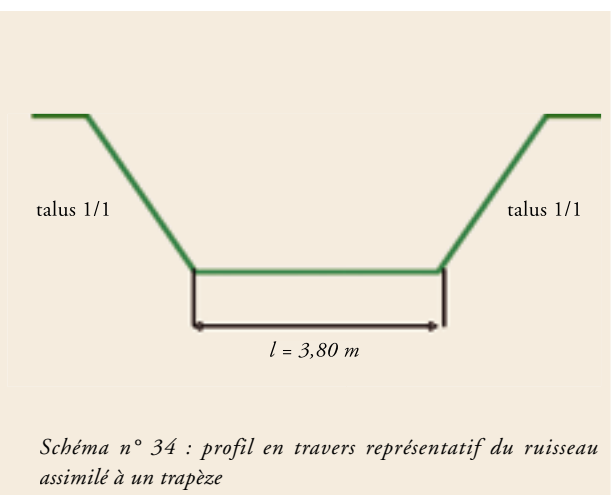
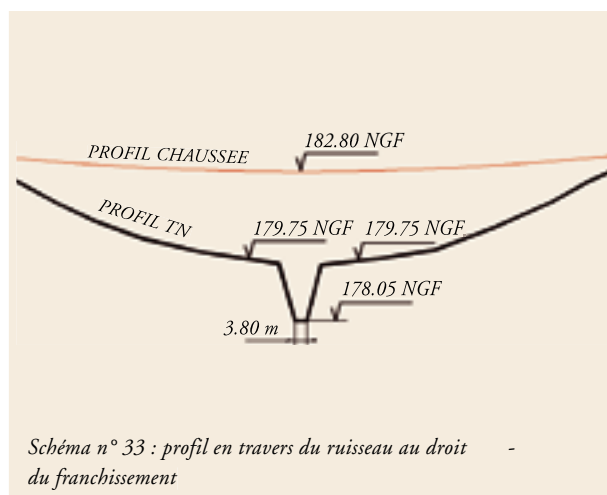


Profil en travers du ruisseau au droit du franchissement (cf. schéma n° 33) :

Le profil en travers (schéma n° 33) représentatif du ruisseau de Quievelon à l'aval du franchissement peut être assimilé à un trapèze (cf. schéma n° 34). En fonction de la nature des parois constituées de terre enherbée, nous avons pris un coefficient de rugosité $K = 25$ (cf. tableau n° 18 annexe 4.2.1). La pente des talus est estimée à 1/1 (45 degrés) ce qui donne $m = \cotg 45^\circ = 1$

La pente actuelle du ruisseau en aval du franchissement est de $0,004 \text{ m/m}$ soit $0,4 \%$.

Le niveau amont admissible a été fixé à la cote $179,75 \text{ NGF}$ ce qui représente la limite de débordement du lit mineur. Le niveau amont admissible exceptionnel a été fixé à la cote $182,00 \text{ NGF}$. Ce niveau correspond au seuil des premières habitations et assure la mise hors eau de la structure de chaussée.



Régime de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique :

Dans un premier temps il s'agit de définir le régime d'écoulement du ruisseau à l'aval de l'ouvrage hydraulique.

Détermination de la hauteur d'eau normale h_n (utilisation de l'abaque n° 1)

Valeur de

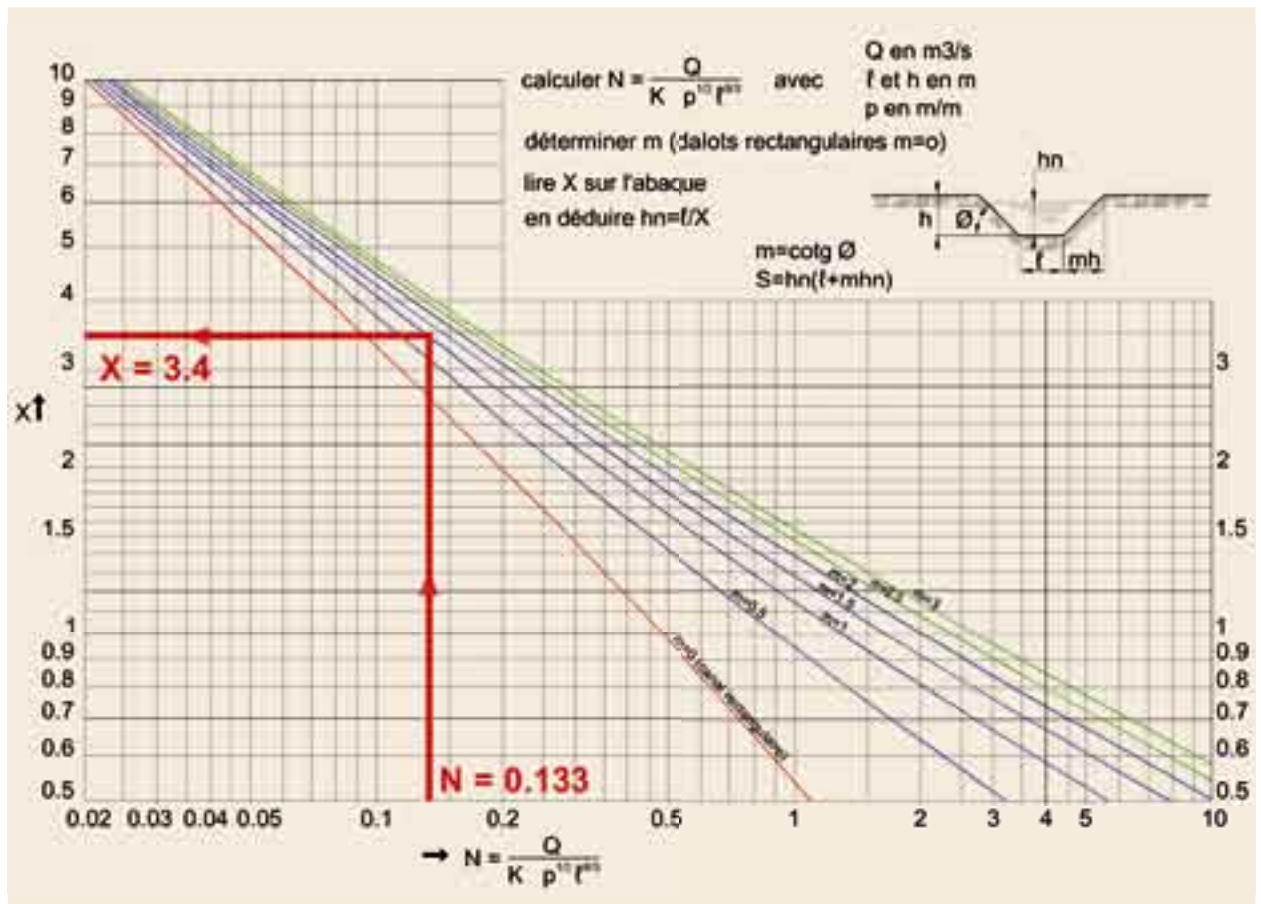
$$N = \frac{Q}{K \times p^{1/2} \times l^{8/3}} = \frac{7,4}{25 \times 0,004^{1/2} \times 3,8^{8/3}} = 0,133$$

Avec : $Q = Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $K = 25$ (rugosité du lit du ruisseau), $p = 0,004 \text{ m/m}$ (pente du ruisseau en aval du franchissement), $l = 3,80 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé) et $m = \cotg 45^\circ = 1$ (pente des parois)

En utilisant l'abaque 1, on lit : $X = 3,4$

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \frac{l}{X} = \frac{3,8}{3,4} = 1,12 \text{ m}$$



Exemple d'utilisation de l'abaque n°1

Détermination de la hauteur critique h_c (utilisation de l'abaque n° 2)

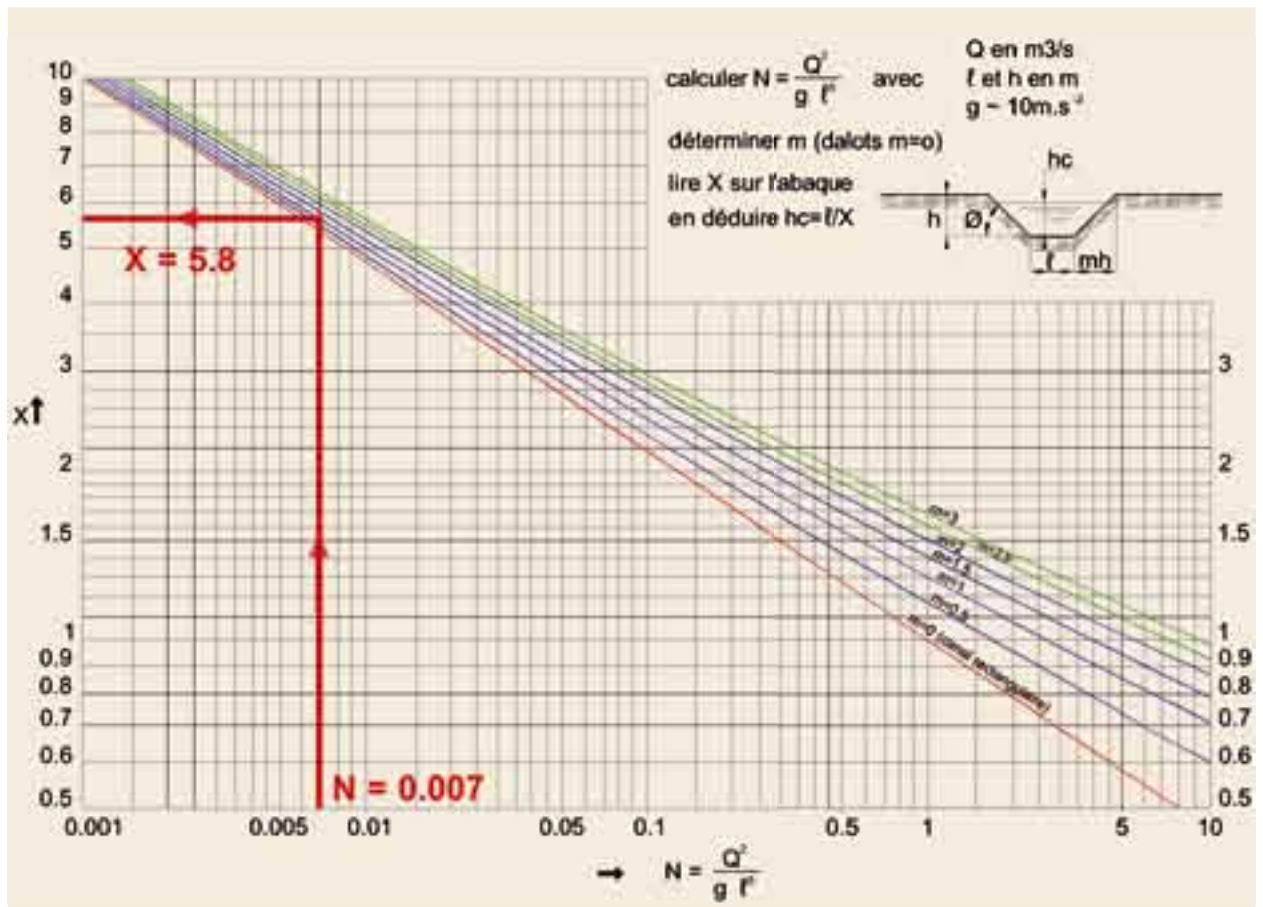
Valeur de $N = \frac{Q^2}{g \times l^3} = \frac{7,4^2}{9,81 \times 3,8^3} = 0,007$

Avec : $Q = Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $l = 3,80 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé), $m = \cotg 45^\circ = 1$ et g accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$

Par utilisation de l'abaque 2, on lit : $X = 5,8$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \frac{l}{X} = \frac{3,8}{5,8} = 0,66 \text{ m}$$



Exemple d'utilisation de l'abaque n° 2

Régime d'écoulement dans le ruisseau à l'aval de l'ouvrage hydraulique

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique h_c : $h_n = 1,12 > h_c = 0,66$ donc le régime d'écoulement est fluvial.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

Caractéristiques générales de l'ouvrage hydraulique

Il s'agit de définir un ouvrage tel que ses caractéristiques géométriques, son implantation et son fonctionnement hydraulique assurent un régime fluvial dans cet ouvrage en respectant les conditions générales de hauteur amont pour le débit de projet, le débit exceptionnel et le tirant d'air.

Choix de l'ouvrage hydraulique

À partir de ces données, il faut vérifier si les conditions d'écoulement sont satisfaisantes (régime fluvial, vitesse, proportions entre la hauteur d'eau normale h_n et la hauteur d'eau critique h_c , hauteur d'eau amont H_{AM}).

Si l'ouvrage choisi ne donne pas satisfaction, il faut reprendre le processus de calcul avec des caractéristiques d'ouvrage différentes.

Dans notre cas, l'ouvrage hydraulique choisi en première approche est un dalot béton de dimension 3 m de largeur et 2 m de hauteur avec un coefficient de rugosité $K = 70$ (par analogie à l'ouvrage existant situé à l'aval du projet cf. annexe 4.1.2). Le choix s'est porté sur un dalot rectangulaire car il permet une faible hauteur d'eau en fonction de l'importance du débit, et répond aux contraintes géotechniques (conditions de fondation de l'ouvrage, hauteur du remblai). Pour faciliter les écoulements, nous avons choisi la mise en place à chaque extrémité de l'ouvrage d'un mur de tête et des murs en aile.

Détermination de la hauteur critique h_c (utilisation de l'abaque n° 2)

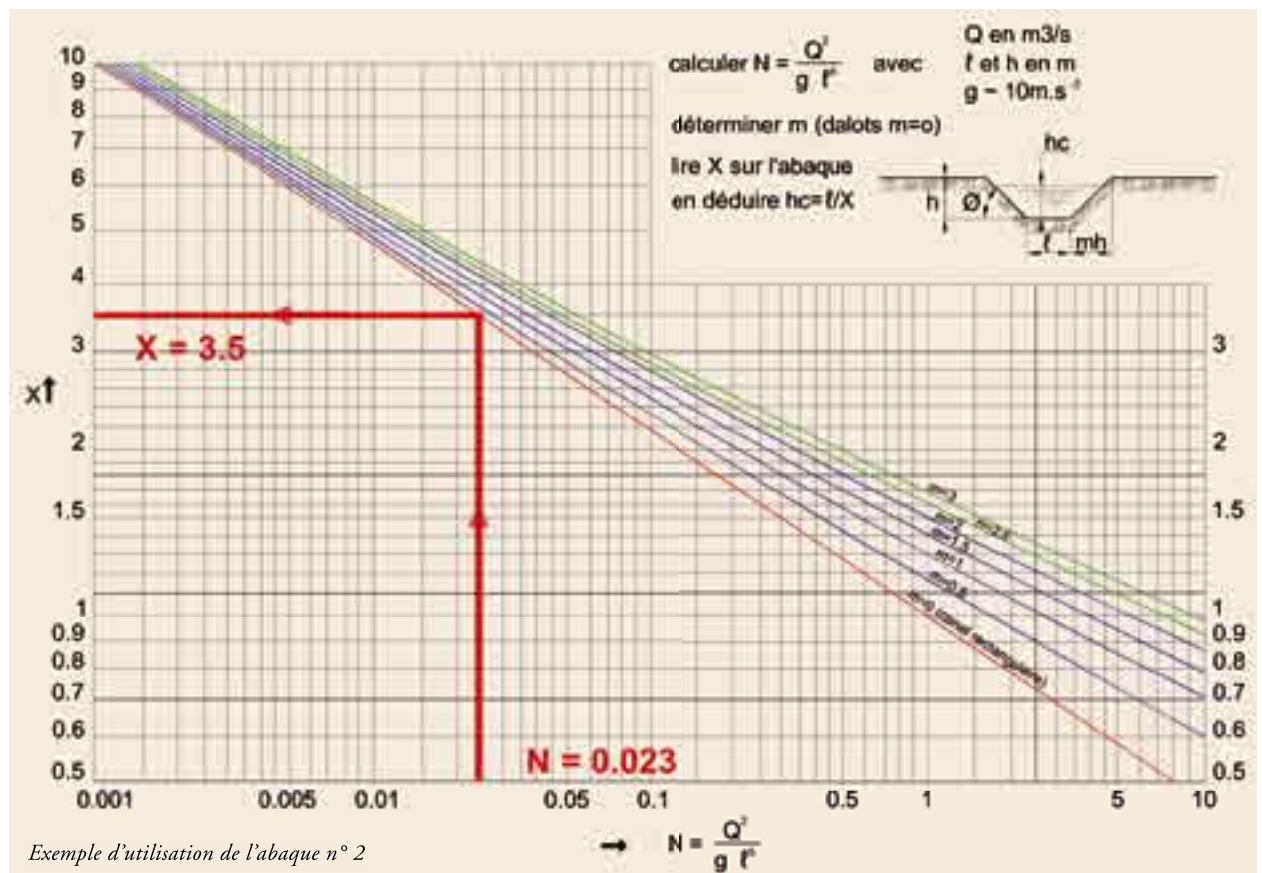
$$\text{Valeur de } N = \frac{Q^2}{g \times l^3} = \frac{7,4^2}{9,81 \times 3^3} = 0,023$$

Avec : $Q = Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $l = 3 \text{ m}$ (largeur du dalot), $m = \cotg 90^\circ = 0$ (parois verticales) et g accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$

Par utilisation de l'abaque n° 2, on lit : $X = 3,5$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \frac{l}{X} = \frac{3}{3,5} = 0,86 \text{ m}$$



Détermination de la hauteur d'eau normale y_n à donner à l'ouvrage hydraulique

L'ouvrage devant fonctionner en régime fluvial, nous prendrons $y_n = 1,2 \times y_c$ (selon la doctrine la hauteur normale y_n doit au moins être supérieure de 20 % par rapport à la hauteur critique y_c)

À partir de la connaissance de hauteur critique : $y_c = 0,86 \text{ m}$, on obtient pour la hauteur normale :

$$y_n = 1,2 \times 0,86 = 1,032 \text{ m}$$

Régime d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique

Le régime d'écoulement dans l'ouvrage se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale y_n et critique y_c : $y_n = 1,032 \text{ m} > y_c = 0,86 \text{ m}$

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial ce qui est cohérent avec le régime aval dans le ruisseau de Quievelon.

Calcul de la pente à donner à l'ouvrage hydraulique (par utilisation de l'abaque n° 1).

La hauteur normale $y_n = \frac{l}{X} = 1,032 \text{ m}$ donc

$$X = \frac{l}{y_n} = \frac{3}{1,032} = 2,907$$

Par utilisation de l'abaque 1, on lit : $N = 0,12$

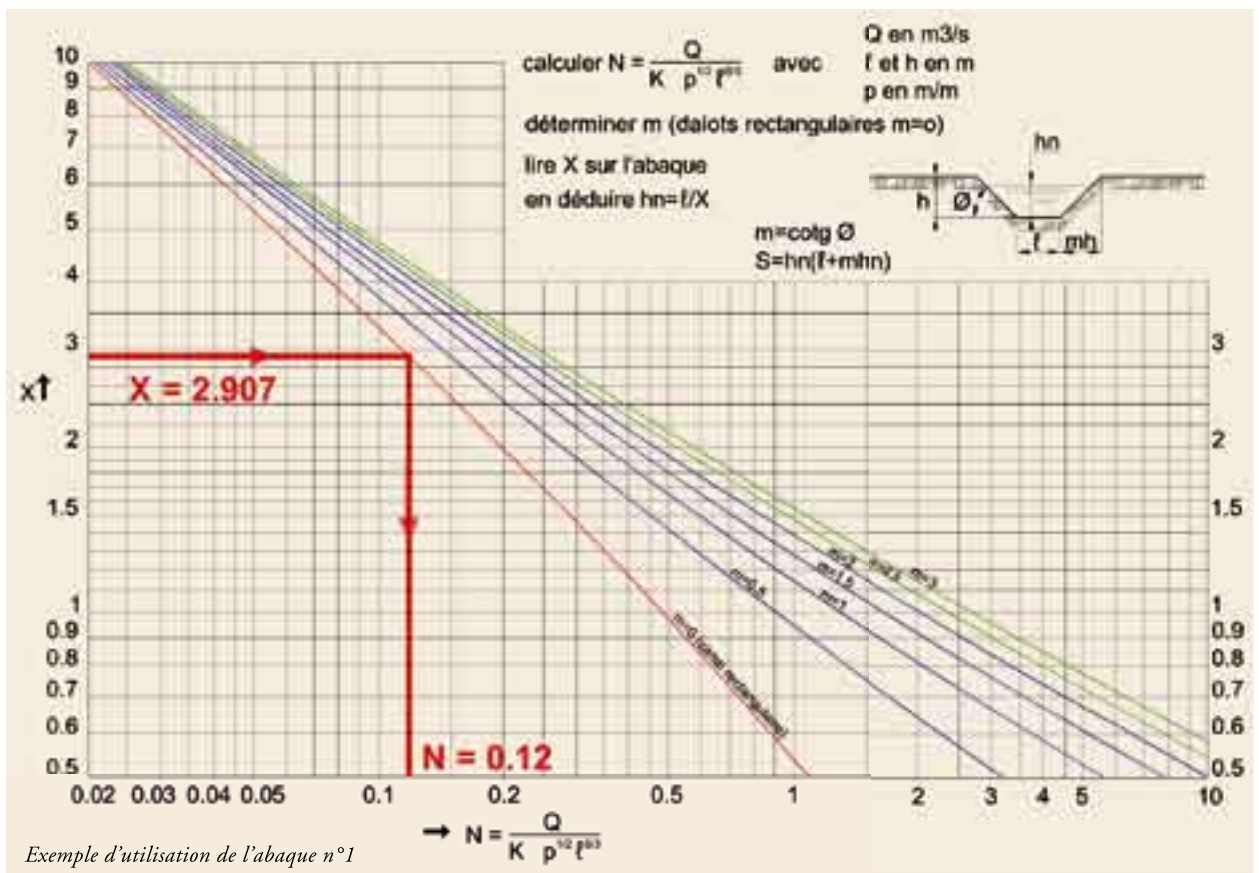
Comme $N = \frac{Q}{K \times p^{1/2} \times l^{8/3}}$ on peut obtenir la valeur

de la pente :
$$p = \left(\frac{Q}{K \times N \times l^{8/3}} \right)^2$$

avec $Q = Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $l = 3,00 \text{ m}$ (largeur du dalot), $m = \cotg 90^\circ = 0$ (parois verticales), $K = 70$ (rugosité du dalot) et $N = 0,12$ (obtenu par l'utilisation de l'abaque 1).

$$p = \left(\frac{7,4}{70 \times 0,12 \times 3^{8/3}} \right)^2 = 0,0022 \text{ m/m}$$

En conséquence, on peut donner à l'ouvrage hydraulique une pente de 0,0022 m/m.



Calcul de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique

Rappel :

- le régime d'écoulement dans le ruisseau est fluvial : $hn_{\text{aval}} = 1,12 \text{ m}$;
- le régime d'écoulement dans l'ouvrage est fluvial : $yn = 1,03 \text{ m}$.

La hauteur d'eau normale dans l'ouvrage (yn) et la hauteur d'eau à l'entrée de l'ouvrage (ye) est égale à hauteur d'eau normale (hn) en aval dans le ruisseau de Quievelon soit $1,12 \text{ m}$ (cf. schéma n° 22). Nous sommes dans le cas d'un ouvrage en régime fluvial avec une réaction aval.

Calcul de la section mouillée et de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique

La hauteur de la ligne d'eau étant à $1,12 \text{ m}$ et la largeur du dalot : $l = 3 \text{ m}$, on peut donc calculer la section mouillée (Sm) dans l'ouvrage :

$$Sm = hn_{\text{aval}} \times l = 1,12 \times 3 = 3,36 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{Sm} \text{ avec, } Q = Q_{(100)} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s} \text{ et } Sm = 3,36 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{Sm} = \frac{7,4}{3,36} = 2,20 \text{ m/s}$$

Cette vitesse de $2,20 \text{ m/s}$ est acceptable car elle est bien inférieure à 4 m/s et ne nécessite pas la mise en place de protections particulières dans l'ouvrage.

Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (H_{AM}) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

Nous sommes en régime fluvial dans l'ouvrage et dans le ruisseau avec une hauteur d'eau aval : hn_{aval} dans le ruisseau supérieure à la hauteur d'eau normale : (yn) dans l'ouvrage (cas d'un ouvrage en régime fluvial avec une réaction aval voir chapitre 4.2.1).

$$H_{AM} = hn + (1 + Ke) \frac{V^2}{2g}$$

Le coefficient de perte de charge à l'entonnement Ke est pris égal à $0,5$ (utilisation d'une tête d'ouvrage classique avec murs en aile) d'où :

$$H_{AM} = 1,12 + (1 + 0,5) \frac{2,20^2}{2 \times 9,81} = 1,49 \text{ m}$$

La cote amont s'élève à $178,10 + 1,49 = 179,59 \text{ m}$.

La cote admissible étant de $179,75 \text{ m}$ NGE, l'ouvrage posé avec une pente de $0,22 \%$ convient.

Vérification du tirant d'air (TA) :

Le tirant est mesuré au-dessus de la hauteur d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage. La hauteur d'eau est calculée en considérant cette hauteur égale à la moyenne entre la hauteur d'eau amont de l'ouvrage : $H_{AM} = 1,49 \text{ m}$ et la hauteur à l'entrée de l'ouvrage : $hn_{\text{aval}} = 1,12 \text{ m}$, ce qui donne $1,30 \text{ m}$.

L'ouvrage ayant 2 m d'ouverture, le tirant d'air (TA) est donc de $0,70 \text{ m}$.

Le taux de remplissage est de $0,65$ et n'excède pas la valeur de $0,75$ (voir chapitre 1.1.2).

Vérification de l'ouvrage hydraulique pour un débit exceptionnel

Pour le débit exceptionnel égal à $1,5 \times Q_{(100)} = 11,10 \text{ m}^3/\text{s}$, la démarche de calcul reste similaire et aboutit aux résultats suivants :

• régime de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique :

- hauteur d'eau normale hn : $1,41 \text{ m}$
- hauteur d'eau critique hc : $0,93 \text{ m}$

$hn = 1,41 > hc = 0,93$ donc le régime d'écoulement est fluvial dans le ruisseau

• régime de l'écoulement dans l'ouvrage hydraulique :

- hauteur d'eau normale yn : $1,40 \text{ m}$
- hauteur d'eau critique yc : $1,13 \text{ m}$

$yn = 1,40 > yc = 1,13$ donc le régime d'écoulement est fluvial dans l'ouvrage

• vitesse de l'écoulement dans l'ouvrage hydraulique :

La hauteur d'eau normale hn_{aval} ($1,41 \text{ m}$) étant supérieure à la hauteur d'eau normale yn dans l'ouvrage ($1,40 \text{ m}$), la hauteur de la ligne d'eau dans l'ouvrage s'établira à la même hauteur que la hauteur d'eau normale hn_{aval} soit à $1,41 \text{ m}$

- section mouillée Sm : $4,23 \text{ m}^2$
- vitesse de l'eau dans l'ouvrage : $2,63 \text{ m/s}$

• calcul de la hauteur d'eau amont :

- perte de charge à l'entonnement : $0,53 \text{ m}$
- hauteur d'eau amont (H_{AM}) : $180,04$

Le niveau amont admissible exceptionnel fixé à la cote $182,00 \text{ NGE}$ est respecté. Le niveau ($H_{AM} = 180,04 \text{ m}$) atteint correspond à un léger débordement du ruisseau qui reste acceptable.

• tirant d'air :

- tirant d'air : $0,23 \text{ m}$
- taux de remplissage : $0,83$

Le taux de remplissage excède la valeur de $0,75$ recommandée. Pour respecter cette valeur, il faut mettre en place un dalot de $2,30 \text{ m}$ de hauteur.

Tracé schématique de la ligne d'eau à hauteur du franchissement

À partir des résultats de calculs effectués, on peut retracer de manière schématique la ligne d'eau atteinte pour ce rétablissement (cf. schéma n° 35).

4.2.5 - Assainissement de la plate-forme - mode calculatoire

Les réseaux ont à collecter et évacuer des eaux issues d'un impluvium* « géométrique » linéaire dont la superficie est assimilable à $S = L \times l$ (cf. schéma n° 36). Ils sont calculés pour une période de retour $T = 10$ ans.

Après avoir organisé le réseau à partir des contraintes structurelles (points hauts, points bas, point de rejet, changement de dévers...) les points de calculs minima sont connus (rupture de pente, rejet dans un autre réseau à partir d'un ouvrage transversal...). La méthodologie générale de dimensionnement consiste alors à vérifier que le débit à évacuer est inférieur ou égal au débit capable de l'ouvrage choisi, tout au long de l'écoulement.

Débit capable* de l'ouvrage (à saturation) noté Q_c :

L'ouvrage est saturé lorsqu'il coule à pleine section. La relation de MANNING STRICKLER donne le débit capable à pleine section Q_c de l'ouvrage :

$$Q_c = 1000 \cdot K \cdot r_h^{2/3} \cdot p^{1/2} \cdot S_m$$

Q_c = Débit capable à pleine section en l/s

K = Coefficient de rugosité* (cf. tableau n°18)

R_h = Rayon hydraulique en m avec $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

S_m = Section mouillée en m^2

p = Pente en m/m

V = Vitesse de l'écoulement à pleine section en m/s

avec $V = \frac{Q_c}{S_m}$ (à saturation)

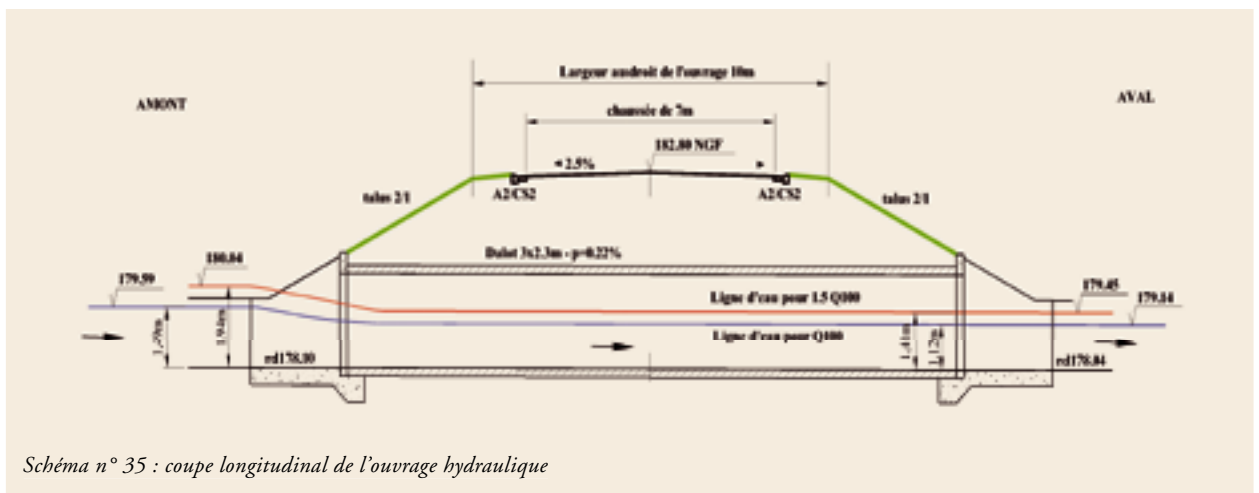


Schéma n° 35 : coupe longitudinale de l'ouvrage hydraulique

Calcul du débit à évacuer (noté Q_{ev}) :

Le débit à évacuer est obtenu par la méthode rationnelle :

$$Q_{ev} = 2,78 \times C \times i \times A$$

Q_{ev} est exprimé en l/s

C = coefficient de ruissellement pondéré de l'impluvium

$C = 1$ pour les chaussées et parties revêtues

$C = 0,8$ pour accotement en grave stabilisé traité

$C = 0,5$ pour accotement en grave stabilisé non traité

$C = 0,7$ pour la terre végétale engazonnée recevant l'eau de la chaussée

$C = 0,3$ pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la chaussée et pour les talus hors région méditerranéenne.

$C = 0,5$ pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la chaussée et les talus en région méditerranéenne

Au stade avant-projet sommaire, on peut négliger les talus dans la plupart des cas. On peut également prendre $C = 1$ sur l'ensemble de l'impluvium pour prédimensionner les réseaux.

i = intensité moyenne de l'averse décennale en mm/h correspondant au temps de concentration au point de calcul et donné par la formule de MONTANA :

$$i = a \times t_c^{-b} \quad (t_c \text{ en mn}).$$

A = surface de l'impluvium en ha
(A = longueur du projet x largeur)

En un point de calcul donné, on constate une fois l'ouvrage choisi que la seule inconnue est l'intensité i ; or celle-ci est fonction du temps de concentration t_c en ce point. Le temps de concentration en minute t_c se calcule de la façon suivante :

$$t_c = t_1 + t_2$$

avec - t_1 = temps nécessaire à l'eau de la plate-forme pour atteindre l'ouvrage de recueil.

Dans la pratique, t_1 est pris égal à 3 mn :

- t_2 = temps en mn mis par l'écoulement dans l'ouvrage sur une longueur L

$$t_2 = \frac{L}{0,85 \times 60 \times V (\text{à saturation})} = \frac{L}{51 \times V}$$

L = longueur de l'ouvrage en m ;

V = Vitesse à section pleine de l'ouvrage en m/s projeté, au point de calcul, 0,85 est un coefficient minorant de V pour tenir compte de l'inégal remplissage de l'ouvrage entre l'origine du réseau et le point de saturation.

Comparaison de Q_{ev} et Q_c

La démarche consiste à choisir un ouvrage a priori jusqu'à une certaine longueur et de calculer si ses caractéristiques sont soit suffisantes ou insuffisantes ou trop importantes pour évacuer le débit d'apport. Dans les deux derniers cas, il convient de proposer un ouvrage de plus forte ou de plus faible capacité :

- si $Q_{ev} > Q_c$, la capacité de l'ouvrage retenu est insuffisante : il faut réduire la longueur L de l'ouvrage et faire suivre cet ouvrage d'un ouvrage de capacité supérieure jusqu'à l'exutoire ;
- si $Q_{ev} = Q_c$, l'ouvrage convient, le débit à évacuer est alors égal au débit capable de l'ouvrage ;
- si $Q_{ev} < Q_c$, l'ouvrage possède une capacité surabondante. Pour des raisons d'économies, il convient d'apprécier si on peut réduire l'ouvrage d'une ou plusieurs classes.

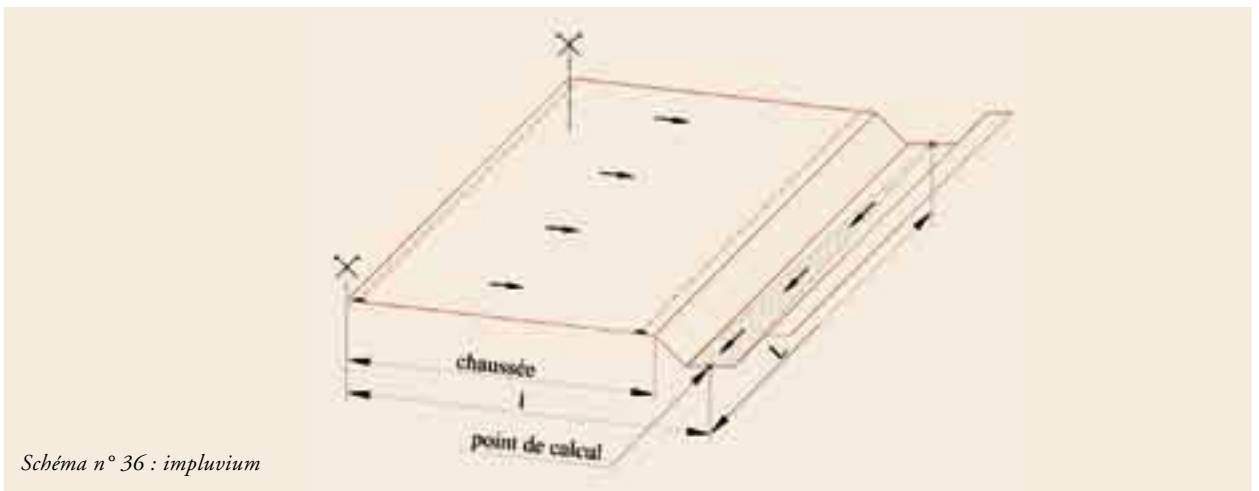


Schéma n° 36 : impluvium

4.2.6 - Assainissement de la plate-forme - Calculs hydrauliques - exemples d'applications

Cunette en pied de talus de déblai

Les caractéristiques du projet sont les suivantes (cf. schéma n° 37) :

Profil en toit :

- déblai de 200 m de longueur : $L = 200$ m
- largeur de plate-forme : $l = 13,50$ m
- pente du profil en long : $p = 0,01$ m/m
- coefficient de ruissellement pondéré de la plate-forme :

$$C = \frac{\sum C_i \ell_i}{\sum \ell_i} = \frac{(1 \times 1,5) + (1 \times 7) + (0,7 \times 3) + (0,7 \times 2)}{1,5 + 7 + 3 + 2} = 0,89$$

- cunette enherbée de 2 m de large et 0,25 m de profondeur (avec $K = 15$) ; cet ouvrage est imposé par le profil en travers,
- courbe I.D.F. de la région d'étude pour $T = 10$ ans :

$$i_{10} = 392 \times t_c^{-0,51} \quad i \text{ en mm/h et } t_c \text{ en mn.}$$

La première itération pour l'ouvrage à saturation conduit aux résultats suivants :

1) calcul du débit capable de l'ouvrage :

$$Q_c = 1000 \cdot K \cdot R_h^{2/3} \cdot p^{1/2} \cdot S_m = 1000 \times 15 \times 0,121^{2/3} \times 0,01^{1/2} \times 0,25 = 92 \text{ l/s}$$

2) calcul du débit à évacuer :

$$t_c = 3 + \frac{200}{51 \times V}$$

$$\text{avec } V = \frac{Q_c}{S_m} = \frac{0,092}{0,25} = 0,367 \text{ m/s}$$

d'où $t_c \approx 13,66$ mn

$$i_{10} = 392 \times 13,66^{-0,51} = 103 \text{ mm/h}$$

$$Q_{ev} = 2,78 \times C \times i \times A$$

$$\text{avec } A = L \times l = 200 \text{ m} \times 13,5 \text{ m} = 2700 \text{ m}^2 = 0,27 \text{ ha}$$

$$Q_{ev} = 2,78 \times 0,89 \times 103 \times 0,27 = 69 \text{ l/s}$$

Q_{ev} (69 l/s) < Q_c (92 l/s) : l'ouvrage convient mais n'est pas saturé à la sortie du déblai.

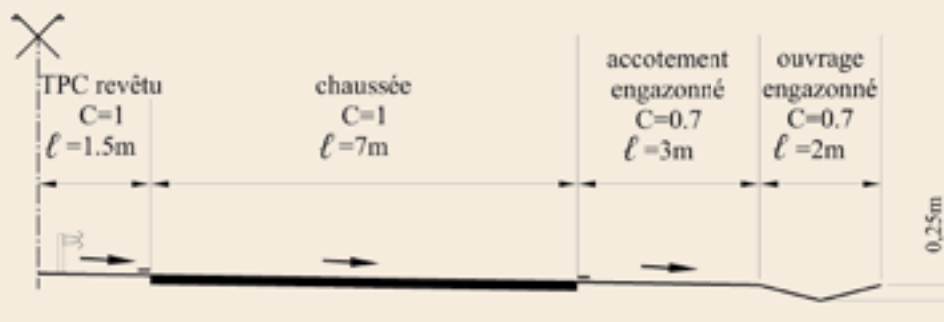


Schéma n° 37 : cunette en pied de talus de déblai

Si l'on veut obtenir une connaissance « plus précise » du débit en sortie de la zone en déblai, on peut procéder à une deuxième itération en prenant comme paramètre d'entrée un $Q_c = Q_{cv} = 69$ l/s.

Il s'agit de connaître la vitesse de l'eau dans l'ouvrage pour un débit de 69 l/s en utilisant la formule de MANNING STRICKLER. On obtient les résultats en construisant les graphiques n°1 et 2 (ou par l'emploi d'un logiciel). Il est également intéressant de connaître la hauteur d'eau générée dans l'ouvrage (principe général pour apprécier si on peut réduire les caractéristiques de l'ouvrage).

Pour une cunette enherbée larg. 2 m, prof. 0,25 m, pente 1 %, on a :
 Graphique n° 1 : abaque débit / hauteur
 Graphique n° 2 : abaque débit / vitesse

Ainsi pour un débit de 69 l/s, on obtient une hauteur d'eau de 22,50 cm avec une vitesse de 0,343 m/s dans la cunette. A partir de là, on peut recalculer la nouvelle valeur de t_c .

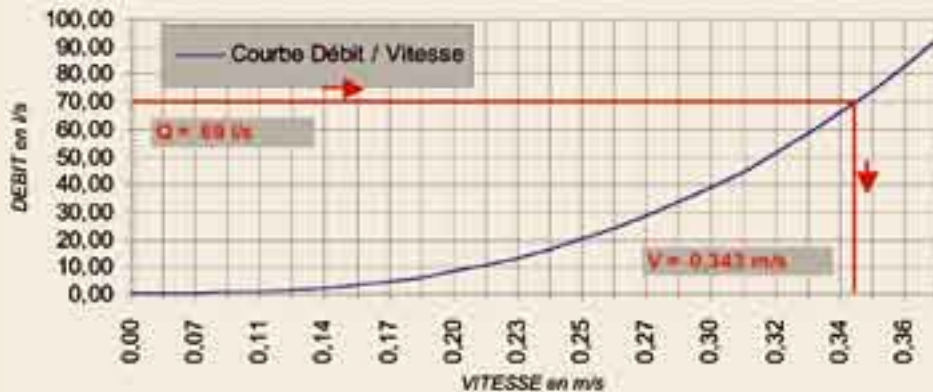
- $t_c = 3 + \frac{200}{51 \times V}$ avec $V = 0,343$ m/s ce qui donne $t_c \approx 14,43$ mn
- $i_{10} = 392 \times 14,43^{-0,51} = 100,5$ mm/h
- $Q_{cv} = 2,78 \times 0,89 \times 103 \times 0,27 \approx 67$ l/s

En conclusion, le débit de pointe décennal en sortie de la demi-plate-forme en déblai s'élève à 67 l/s.

Nota : cette itération est donnée en tant que démarche possible ; dans notre cas de figure la différence de débit est dérisoire. Cette démarche peut s'avérer intéressante pour d'autres situations.



Graphique n° 1 : abaque débit / hauteur de la cunette



Graphique n° 2 : abaque débit / vitesse de la cunette

Fossé en pied de talus de remblai

Les caractéristiques du projet sont les suivantes :
(cf. schéma n° 38)

Profil en toit :

- remblai de 400 m de longueur : $L = 400$ m
- largeur de plate-forme : $l = 14,00$ m
- pente du profil en long : $p = 0,01$ m/m
- coefficient de ruissellement pondéré de la plate-forme : $C = 0,88$
- fossé trapézoïdal enherbé de 1,5 m de largeur au miroir, 0,5 m de plafond et 0,5 m de profondeur avec un coefficient de rugosité $K = 25$
- courbe I.D.F. de la région d'étude pour $T = 10$ ans :
 $i_{10} = 392 \times t_c^{-0,51}$ i en mm/h et t_c en mn

La première itération pour l'ouvrage à saturation conduit aux résultats suivants :

1) calcul du débit capable de l'ouvrage :

$$Q_c = 1000 \cdot K \cdot R_h^{2/3} \cdot p^{1/2} \cdot S_m = 1000 \times 25 \times 0,261^{2/3} \times 0,01^{1/2} \times 0,5 \approx 510 \text{ l/s}$$

2) calcul du débit à évacuer :

$$\bullet t_c = 3 + \frac{400}{51 \times V} \text{ avec } V = \frac{0,510}{0,5} = 1,02 \text{ m/s}$$

$$t_c \approx 10,69 \text{ mn}$$

$$\bullet i_{10} = 392 \times 10,69^{-0,51} = 117 \text{ mm/h}$$

$$\bullet Q_{ev} = 2,78 \times 0,88 \times 117 \times 0,56$$

($A = 400 \text{ m} \times 14 \text{ m} = 5600 \text{ m}^2 = 0,56 \text{ ha}$)

$$Q_{ev} \approx 160 \text{ l/s}$$

$Q_{ev} (160 \text{ l/s}) < Q_c (510 \text{ l/s})$: l'ouvrage convient mais n'est pas saturé à la sortie du remblai.

Si l'on veut obtenir une connaissance « plus précise » du débit en sortie de la zone en remblai, on peut identiquement au premier exemple procéder à une deuxième itération en prenant comme paramètre d'entrée un $Q_c = Q_{ev} = 160 \text{ l/s}$.

Pour un fossé trapézoïdal enherbé de largeur 1,50 m, de plafond 0,50 m, de profondeur 0,50 m, de pente 1 % : cf. graphiques n° 3 et 4.

Ainsi pour un débit de 160 l/s, on obtient une hauteur d'eau de 27,5 cm et une vitesse de 0,75 m/s dans le fossé. A partir de là, on peut recalculer la nouvelle valeur de t_c

$$\bullet t_c = 3 + \frac{400}{51 \times V} \text{ avec } t_c \approx 13,46 \text{ mn}$$

avec $V = 0,75 \text{ m/s}$

$$\bullet i_{10} = 392 \times 13,46^{-0,51} = 104,1 \text{ mm/h}$$

$$\bullet Q_{ev} = 2,78 \times 0,88 \times 104,1 \times 0,56 \approx 143 \text{ l/s}$$

En conclusion, le débit de pointe décennal en sortie de la demi-plate-forme en remblai s'élève à 143 l/s.

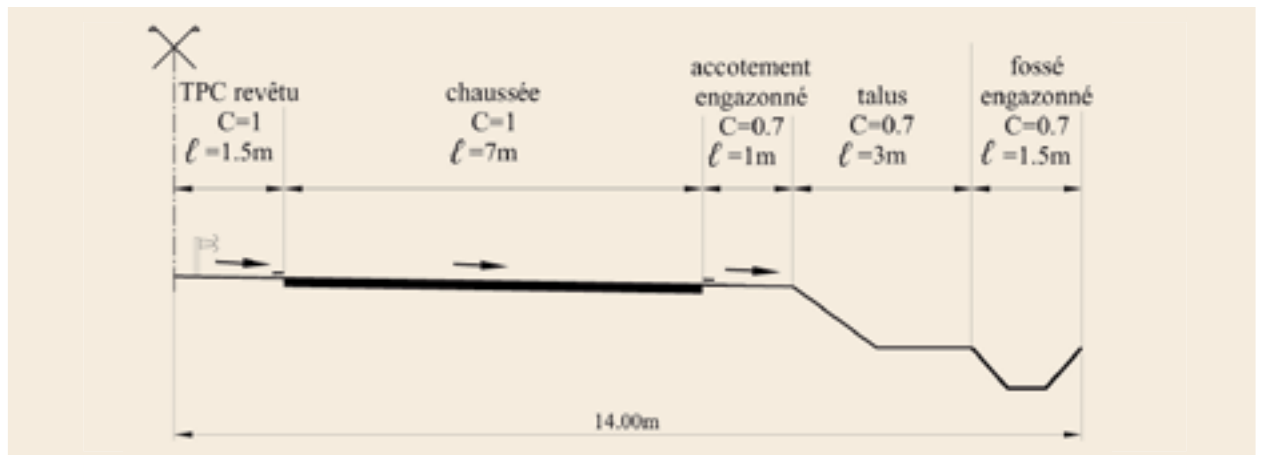
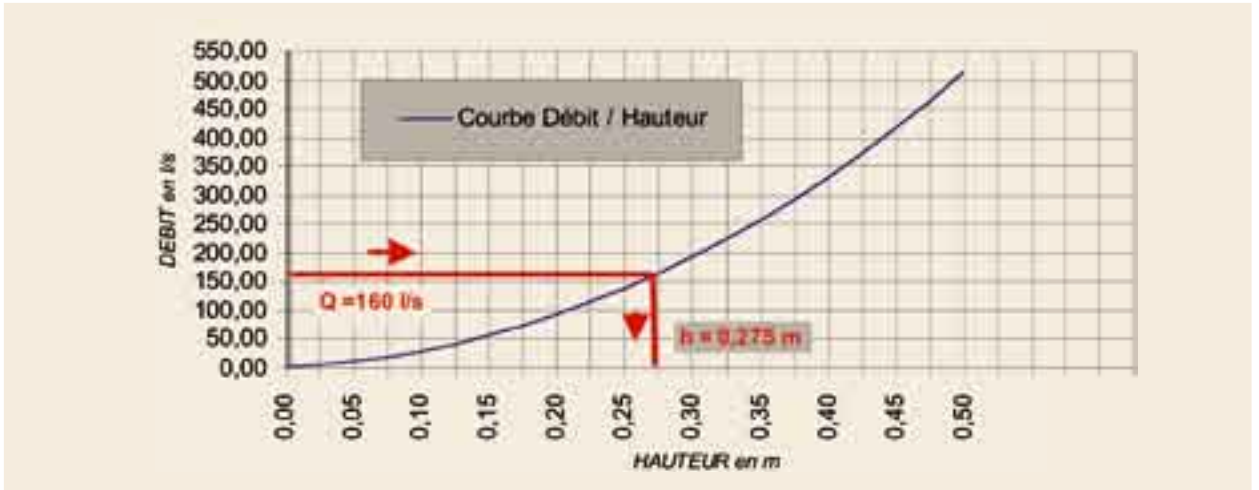
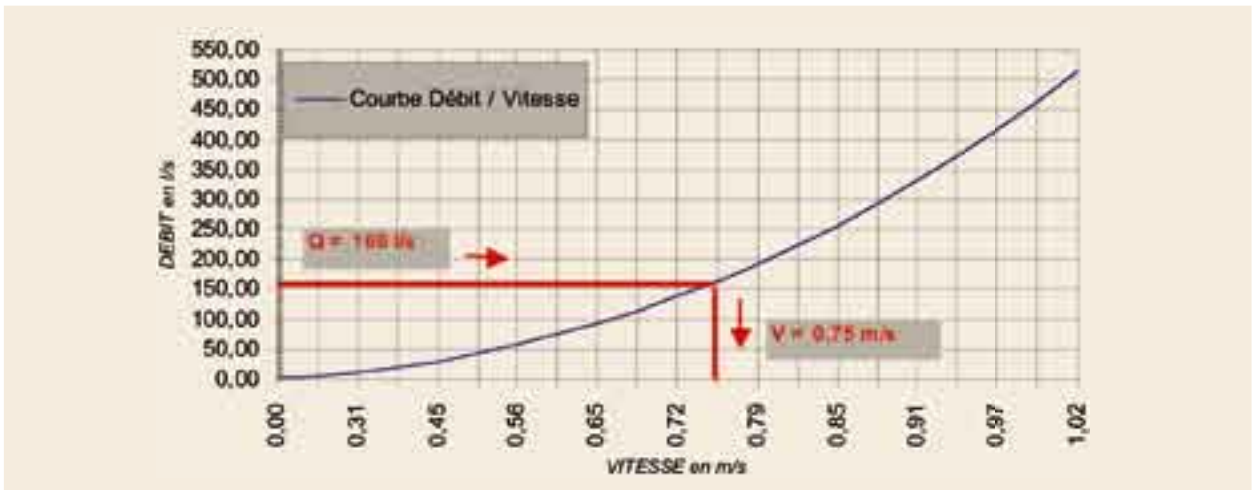


Schéma n° 38 : fossé en pied de talus de remblai



Graphique n° 3 : abaque débit / hauteur pour un fossé trapézoïdal



Graphique n° 4 : abaque débit / vitesse pour un fossé trapézoïdal

Succession de deux ouvrages

En considérant les deux exemples précédents mis bout à bout (la partie située en déblai en amont suivie de la partie située en remblai) (cf. schéma n° 39), les calculs peuvent être menés de la manière suivante :

Du point de calcul P0 (point haut BVR) au point P1 (passage remblai / remblai), la section est en déblai (reprise du 1^{er} exemple de calcul avec recueil par une cunette enherbée sur 200 m), et on a les résultats suivants :

- $Q_{ev} = 67 \text{ l/s}$;
- $A = 0,27 \text{ ha}$;
- $C = 0,89$;
- $t_{c1} = 14,43 \text{ mn}$

Du point P1 jusqu'au point de calcul P2, la section passe en remblai (2^{ème} exemple avec recueil par un fossé trapézoïdal enherbé sur 400 m).

Les données du calcul sont les suivantes :

- surface totale de l'impluvium (partie en déblai + partie en remblai) : $0,27 + 0,56 = 0,83 \text{ ha}$,
- coefficient de ruissellement pondéré :

$$C = \frac{0,89 \times 0,27 + 0,88 \times 0,56}{0,83} = 0,88$$

- fossé de pied de talus de remblai dont les lois débit/hauteur et débit/vitesse sont données par les graphiques 3 et 4.

Pour connaître le débit à évacuer au point P2, il faut calculer le nouveau temps de concentration en ce point ; il est égal à :

$$t_c = t_{c1} + t_{c2}$$

- t_{c1} est connu et correspond au temps de transfert entre le point haut du bassin versant routier jusqu'au point P1 pour parcourir les 200 m de partie en déblai soit 14,43 mn
- t_{c2} correspond au temps de transfert entre P1 et P2 pour parcourir les 400 m de partie en remblai soit :

$$t_{c2} = \frac{L}{60 \times V} \text{ avec } V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

- V_1 vitesse à l'entrée dans le fossé au point P1, pour 67 l/s, $\Rightarrow V_1 = 0,60 \text{ m/s}$ (valeur obtenue par calcul ou par l'utilisation du graphique n°4),

- V_2 vitesse à saturation au point P2, pour 510 l/s, $\Rightarrow V_2 = 1,02 \text{ m/s}$.

On obtient une vitesse moyenne :

$$V = \frac{0,6 + 1,02}{2} = 0,81 \text{ m/s}$$

Nota : dans notre cas, la vitesse moyenne reprise est inférieure à 0,85 V. Au niveau pratique, on accepte cette démarche de calcul.

Le temps de concentration t_{c2} est de :

- $t_{c2} = \frac{400}{60 \times 0,81} = 8,23 \text{ min}$
- $t_c \approx 14,43 + 8,23 = 22,66 \text{ mn}$
- $i_{10} = 392 \times 22,66^{-0,51} = 79,8 \text{ mm/h}$
- $Q_{ev} = 2,78 \times 0,88 \times 79,8 \times 0,83 \approx 162 \text{ l/s}$,

$Q_{ev} (162 \text{ l/s}) < Q_c (510 \text{ l/s})$: l'ouvrage convient mais n'est pas saturé à la sortie du remblai.

En pratiquant une deuxième itération en utilisant le graphique 4, on obtient pour un débit de 162 l/s une vitesse de 0,76 m/s.

d'où une vitesse moyenne : $V = \frac{0,6 + 0,76}{2} = 0,68 \text{ m/s}$ ce qui donne :

$$t_{c2} = \frac{400}{60 \times 0,68} = 9,80 \text{ min}$$

$$t_c \approx 14,43 + 9,80 = 24,23 \text{ mn}$$

- $i_{10} = 392 \times 24,23^{-0,51} = 77,1 \text{ mm/h}$
- $Q_{ev} = 2,78 \times 0,88 \times 77,1 \times 0,83 \approx 156 \text{ l/s}$

En conclusion, le débit de pointe décennal en sortie de la demi-plate-forme au point P2 s'élève à 156 l/s.

Nota : dans notre cas, le fossé utilisé a une capacité d'évacuation très importante (510 l/s) par rapport au débit d'apport (156 l/s) ; cependant, s'agissant d'un fossé conventionnel, on conserve cet ouvrage.

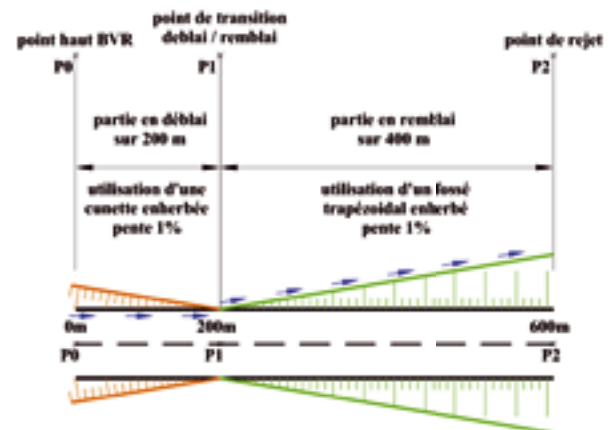


Schéma n° 39 : succession de deux ouvrages

Association de plusieurs réseaux (au voisinage d'un point bas, par exemple)

Le point bas au droit de la traversée est engendré par deux bretelles d'échangeurs. La branche 1 est constituée par les caractéristiques mentionnées dans l'exemple ci-avant, la branche 2 possède un impluvium plus important que la branche 1 et les branches 3 et 4 sont constituées par les bretelles de l'échangeur qui sont symétriques (cf. schéma n° 40).

Les caractéristiques des branches étudiées séparément sont les suivantes :

$$\text{Branche n°1 : } \begin{cases} Q_{ev} = 156 \text{ l/s} \\ t_c = 24,23 \text{ mn} \\ i_{10} = 77,1 \text{ mm/h} \\ A = 0,83 \text{ ha} \\ C = 0,88 \end{cases}$$

$$\text{Branche n°2 : } \begin{cases} Q_{ev} = 195 \text{ l/s} \\ t_c = 34,50 \text{ mn} \\ i_{10} = 64,4 \text{ mm/h} \\ A = 1,184 \text{ ha} \\ C = 0,92 \end{cases}$$

$$\text{Branches n° 3 et 4 : } \begin{cases} Q_{ev} = 76 \text{ l/s} \\ t_c = 10 \text{ mn} \\ i_{10} = 121 \text{ mm/h} \\ A = 0,238 \text{ ha} \\ C = 0,95 \end{cases}$$

La connaissance du débit entrant dans le bassin nécessite l'association des apports des quatre branches : ce n'est pas la somme des apports respectifs qui donnerait un débit de 503 l/s.

En effet, le fondement de la méthode rationnelle étant basé sur le temps de parcours le plus long lorsqu'il y a une association de bassins versants, le temps de concentration à retenir dans notre cas est le temps de concentration le plus important soit $t_c = 34,50 \text{ mn}$ (branche n° 2).

Les paramètres d'entrée dans la formule rationnelle deviennent :

C pondéré = 0,91

$i_{10} = 64,4 \text{ mm/h}$

A = 2,49 ha (somme des impluviums)

• $Q_{ev} = 2,78 \times 0,91 \times 64,4 \times 2,49 \approx 406 \text{ l/s}$ (débit inférieur à la somme des apports élémentaires)

En conclusion, le débit de pointe décennal d'assemblage s'élève à 406 l/s.

Nota : dans certains cas rares, le débit résultant peut être inférieur au seul apport de l'une des branches ; on retiendra alors le débit le plus fort.

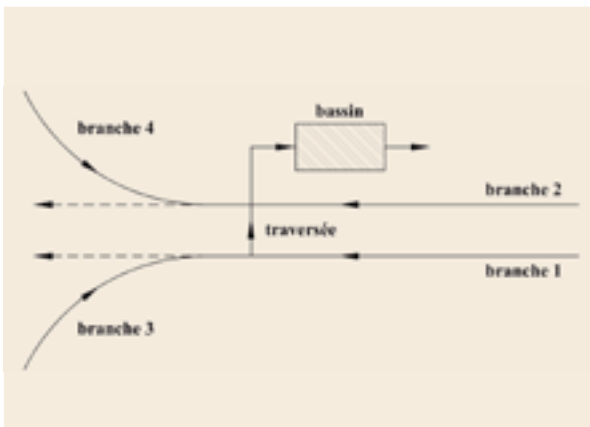


Schéma n° 40 : bretelles symétriques de l'échangeur



4.3 - Glossaire

<i>Assainissement routier :</i>	Ensemble des dispositifs constructifs contribuant à assainir la route dans trois domaines à savoir : <ul style="list-style-type: none">- la collecte et l'évacuation des eaux de surface,- le drainage des eaux internes,- le rétablissement des écoulements naturels.
<i>Atterrissement :</i>	Amas de terre, de sable, de limon, formé par les cours d'eau ou par la mer. Alluvion, sédiment.
<i>Bassin versant :</i>	Surface aménagée ou naturelle telle que toute l'eau reçue sur sa surface s'écoule vers un point unique : l'exutoire du bassin versant (bassin versant naturel et bassin versant routier).
<i>Bassin de contenance :</i>	Terme générique désignant un ouvrage installé en série ou en parallèle d'un réseau et destiné à stocker temporairement les eaux de ruissellement. Autres termes usités : bassin d'amortissement, de rétention, de stockage ou tampon et bassin écrêteur.
<i>Berme :</i>	Partie non roulable de l'accotement
<i>Bief de confinement :</i>	Ouvrage linéaire de capacité destiné à confiner des pollutions accidentelles.
<i>Bourrelet fil d'eau :</i>	Dispositif constructif linéaire de petites dimensions en crête de talus de remblai généralement en béton ou en enrobé destiné à guider latéralement une lame d'eau vers une descente d'eau.
<i>Buse-arche :</i>	Ouvrage hydraulique en béton ou métallique utilisé pour le rétablissement des écoulements naturels et caractérisé par sa portée et sa flèche.
<i>Caniveau :</i>	Famille d'ouvrages de collecte et de transport longitudinal des eaux de ruissellement de la route (cf. Acsare).
<i>Coefficient d'entonnement K_e :</i>	Paramètre lié à la forme de l'entonnement de l'OH pour la détermination des pertes de charge en amont du dispositif.
<i>Coefficient de rugosité K ou de Manning Strickler :</i>	Coefficient traduisant l'aptitude à l'écoulement d'un ouvrage hydraulique.
<i>Coefficient de ruissellement :</i>	Théoriquement fraction du débit ruisselé de la pluie nette par rapport au débit de pluie brute. En première approximation, il s'agit du rapport de la surface imperméabilisée sur la surface totale d'un bassin versant (coefficient d'imperméabilisation).
<i>Cours d'eau :</i>	Aucun critère technique. L'existence d'un cours d'eau n'est reconnue que si les 3 conditions suivantes sont réunies : <ul style="list-style-type: none">- permanence d'un caractère naturel du lit ;- un certain débit qui dépend des conditions climatiques locales, sans pour autant être un débit permanent ;- affectation à l'écoulement normal des eaux.
<i>Crue :</i>	Phénomène caractérisé par une montée plus ou moins brutale du niveau d'un cours d'eau, lié à une croissance du débit jusqu'à un niveau maximum. Ce phénomène peut se traduire par un débordement du lit mineur. Les crues font partie du régime d'un cours d'eau. On caractérise aussi les crues par leur période de récurrence ou période de retour. La crue centennale correspond ainsi à une crue de récurrence de 100 ans.
<i>Cunette :</i>	Fossé peu profond engazonné ou revêtu et aux formes douces pour améliorer la sécurité des usagers.

<i>Dalot :</i>	Ouvrage hydraulique enterré de section rectangulaire préfabriqué ou coulé en place et à forte capacité.
<i>Débit capable :</i>	Débit maximal que l'on peut faire transiter par un ouvrage coulant à plein.
<i>Débit de projet :</i>	Valeur du débit dimensionnante pour les ouvrages hydrauliques. Généralement, débit centennal pour les OH de rétablissement des écoulements naturels et décennal pour la plate-forme routière.
<i>Écoulement à surface libre :</i>	Terme se rapportant à un écoulement à ciel ouvert dont la surface en miroir est en contact avec l'air.
<i>Écoulement en charge :</i>	Par analogie à l'écoulement à surface libre, ce terme désigne par exemple un écoulement à pleine section dans une canalisation, c'est à dire sans volume d'air résiduel.
<i>Effet de bord :</i>	Mouvement d'eau latéral dans le sol au bord de la partie revêtue de la route.
<i>Exutoire :</i>	Généralement, point de rejet des eaux hors de l'emprise routière. Désigne également l'extrémité aval d'un ouvrage d'assainissement.
<i>Fossé :</i>	Ouvrage hydraulique rustique, longitudinal et de collecte des eaux de ruissellement creusé dans le terrain au-delà de l'accotement, caractérisé par sa section courante et sa pente.
<i>Gabion :</i>	Ouvrage constitué d'une cage ou panier en treillis métallique rempli de cailloux ou blocs de faibles dimensions, utilisé pour consolider les berges d'un cours d'eau.
<i>Géomembrane :</i>	Produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche au liquide même sous les sollicitations en service.
<i>Hauteur d'eau amont :</i>	H_{AM} , hauteur de la ligne d'eau à l'entrée de l'ouvrage hydraulique.
<i>Hauteur d'eau aval :</i>	H_{AV} , hauteur de la ligne d'eau à l'aval immédiat de l'OH. Sa valeur est fonction du régime à l'aval de l'ouvrage. (cf. 4.2.1 Rappels sur les théories des écoulements).
<i>Hauteur d'eau critique :</i>	Valeur théorique déterminée à partir d'abaque pour définir le régime d'écoulement (fluvial, torrentiel ou critique).
<i>Hauteur d'eau normale :</i>	<i>Idem</i> ci-dessus.
<i>Hydraulique :</i>	Étude de l'écoulement des liquides et en particulier de l'eau.
<i>Hydrogéomorphologie :</i>	Discipline scientifique qui consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques associées aux différentes gammes de crues qui les ont façonnées.
<i>Hydrogéologie :</i>	Discipline scientifique qui s'intéresse à la circulation des eaux souterraines et au comportement des nappes.
<i>Hydrologie :</i>	Discipline scientifique qui s'intéresse au cycle de l'eau.
<i>Hydroplanage :</i>	Phénomène de perte de contact par interposition d'eau en couche épaisse entre le pneu et la chaussée.
<i>Impluvium :</i>	Surface recevant la pluie, synonyme de bassin versant.
<i>Noue :</i>	Terre grasse et humide – extrémité des bras morts.
<i>Plate-forme :</i>	Au sens géométrique, surface de la route qui comprend les chaussées et les accotements.

<i>Perméabilité :</i>	Aptitude d'un sol ou d'un matériau à laisser s'écouler un fluide.
<i>Périmètre mouillé :</i>	Dans une section d'écoulement, longueur de contact entre l'eau et la paroi de l'ouvrage.
<i>Période de retour :</i>	Intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé. Noté T, c'est l'inverse de la fréquence.
<i>Pluie journalière :</i>	Pluie non centrée mesurée de 6 h (Temps universel) le Jour J à 6h (Temps universel) le Jour J+1.
<i>Pluviographe :</i>	Appareil enregistreur des événements pluvieux. Son dépouillement permet notamment d'obtenir les courbes intensité-durée de pluie pour différentes fréquences.
<i>Point d'arrêt :</i>	Point défini dans un document approprié au-delà duquel une activité ne doit pas se poursuivre sans l'accord d'un organisme ou d'une autorité désignée.
<i>Portance :</i>	Comportement en déformation d'un sol, remanié ou non, sous l'action des charges qui lui sont appliquées.
<i>Radier (rd) :</i>	Fond de bassin
<i>Rayon hydraulique :</i>	Rapport de la surface mouillée sur le périmètre mouillé.
<i>Régime critique :</i>	Frontière théorique entre le fluvial et le torrentiel
<i>Régime fluvial :</i>	Écoulement à surface libre dont le nombre de Froude est inférieur à 1 (une perturbation peut remonter le courant). En régime fluvial une perte de charge se traduit par un abaissement de la ligne d'eau.
<i>Régime torrentiel :</i>	Écoulement dont le nombre de Froude est supérieur à 1, caractérisé par le fait qu'une perturbation ne peut remonter le courant. En régime torrentiel, une perte de charge se traduit par un exhaussement de la ligne d'eau.
<i>Ressaut hydraulique :</i>	Elévation de la ligne d'eau due au passage du régime torrentiel au régime fluvial.
<i>Section mouillée :</i>	Section d'un ouvrage occupée par l'écoulement.
<i>Substratum :</i>	Roche en place plus ou moins masquée par des dépôts superficiels
<i>Taux de remplissage :</i>	Rapport entre la hauteur d'eau et la hauteur nominale ou le diamètre nominal d'un ouvrage hydraulique.
<i>Temps de concentration :</i>	Temps mis par l'eau pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné de l'exutoire et ce dernier.
<i>Talweg :</i>	Ensemble des points les plus bas d'une vallée
<i>Tirant d'air :</i>	Hauteur libre entre la ligne d'eau et l'intrados d'un ouvrage hydraulique type conduite.

4.4 - Abréviations et symboles

Abréviations

AEP :	Adduction d'Eau Potable
APS :	Avant Projet Sommaire
AR :	Assainissement Routier
BAU :	Bande d'Arrêt d'Urgence
BE :	Bureau d'Etudes
BV, BVR, BVN :	Bassin Versant, Bassin Versant Routier, Bassin Versant Naturel
CE :	Cours d'Eau
CETE :	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
DIREN :	Direction Régionale de l'Environnement
DDAF :	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DLE :	Dossier Loi sur l'Eau
DUP :	Déclaration d'Utilité Publique
EN :	Écoulement Naturel
GNT :	Grave Non Traitée
MISE :	Mission Inter-service de l'Eau
MO :	Maître d'Ouvrage
NGF :	Nivellement Général de la France
OA :	Ouvrage d'Art
OH :	Ouvrage Hydraulique
PDC :	Perte de Charge
PE :	Police de l'Eau
PF :	Plate-forme
PL :	Profil en Long
PIPO :	Passage Inférieur à Portique Ouvert
PPRN :	Plan de Prévention des Risques Naturels
PT :	Profil en Travers
PLU :	Plan Local d'Urbanisme
RE :	Ressource en Eau
SAGE :	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
TPC :	Terre-Plein Central

Symboles

A :	surface du bassin versant
a et b :	Coefficients pluviométriques ou de Montana
α et β :	Coefficients de pondération de la formule de transition
b' :	Coefficient régional de calcul du Q_{100}
$C_{(T)}$:	Coefficient de ruissellement pour la période de retour T
F :	Flèche
f.e :	Fil d'eau
g :	Accélération de la pesanteur en m/s^2
H_{AM} :	Hauteur d'eau amont
h_C :	Hauteur d'eau critique hors ouvrage
h_n :	Hauteur d'eau normale hors ouvrage
h_r :	Hauteur de remplissage
$i_{(T)}$:	Intensité de la pluie pour la période de retour T
I.D.F :	Courbe Intensité Durée Fréquence
K :	Coefficient de rugosité* ou coefficient de Manning Strickler
K_e :	Coefficient d'entonnement*
L :	Longueur du plus long chemin hydraulique
m :	Valeur de $\cotg \varnothing$ (abaques 1 et 2)
N :	Paramètre de calcul d'entrée dans abaques 1 et 2
λ :	Coefficient de surbaissement ou d'aplatissement d'une buse-arche
p :	Pente
P_0, P_{10}, P_{100} :	Pluie journalière de temps de retour
P_0 :	Portée d'une buse-arche
P_m :	Périmètre mouillé
Q_c :	Débit capable
Q_{ev} :	Débit à évacuer
Q_{10} :	Débit décennal
Q_{100} :	Débit centennal
Q_{ex} :	Débit exceptionnel
Q_{MNA5} :	Débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans
Q_p :	Débit de projet
R :	Coefficient régional de la formule Crupedix
R_d :	Radier

R_h :	Rayon hydraulique
S :	Surface du bassin versant
S, S_{EM} :	Section d'un ouvrage – Section mouillée
T :	Période de retour
TA :	Tirant d'Air
TN :	Terrain Naturel
τ :	Taux de remplissage
t_c :	Temps de concentration
V_e :	Vitesse de l'écoulement
X :	Index (calcul de h_n et h_c abaque 1 et 2)
y_c :	Hauteur d'eau critique dans l'ouvrage hydraulique
y_e :	Hauteur d'eau à l'entrée de l'ouvrage hydraulique
y_n :	Hauteur d'eau normale dans l'ouvrage hydraulique



4.5 - Tableau de synthèse des formules courantes

Formules	Désignation																				
$Q = V \times S$ <ul style="list-style-type: none"> • Q en m³/s • V en m/s • S en m² 	Formule fondamentale de l'hydraulique																				
$Q = K \times R_h^{1/3} \times p^{1/2} \times S$ <ul style="list-style-type: none"> • Q en m³/s • K Coefficient sans dimension • R_h en m • p en m/m • S en m² 	Formule de Manning Strickler																				
$H = z + y + \frac{V^2}{2g} = \text{cte}$ <ul style="list-style-type: none"> • H en m • z en m • y en m • V en m/s • g en m/s² 	Equation de Bernoulli																				
$Q = 2,78 \times C \times i \times A$ <ul style="list-style-type: none"> • Q en l/s • C coefficient de ruissellement sans dimension • i en mm/h • A en ha 	Formule rationnelle																				
$i = a \times t^b$ <ul style="list-style-type: none"> • i en mm/h • a coefficient sans dimension • b coefficient sans dimension • t en min 	Formule de Montana																				
$Q_c = R \times \left(\frac{P_{100}}{80} \right) \times S^{0,67}$ <ul style="list-style-type: none"> • Q_c en m³/s • R coefficient régional sans dimension • P₁₀₀ en mm • S en km² 	Formule Crupedix																				
$t_c = 60 \times 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$ <ul style="list-style-type: none"> • t_c en minute • A en Km² • L en Km • p en mm $t_c = 60 \times 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	Formules empiriques pour le calcul du temps de concentration Passini Ventura																				
$t_c = \frac{L}{60 \times V}$ <ul style="list-style-type: none"> • t_c en minute • L en m • V en m/s <p>V en m/s à extraire du tableau ci-après :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pente en ‰</th> <th>Pénurie partie supérieure du BV</th> <th>Bois partie supérieure du BV</th> <th>Impérialisme mal défini</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-3</td> <td>0,45</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> </tr> <tr> <td>4-7</td> <td>0,90</td> <td>0,60</td> <td>0,90</td> </tr> <tr> <td>8-11</td> <td>1,30</td> <td>0,90</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>12-15</td> <td>1,70</td> <td>1,05</td> <td>2,40</td> </tr> </tbody> </table>	Pente en ‰	Pénurie partie supérieure du BV	Bois partie supérieure du BV	Impérialisme mal défini	0-3	0,45	0,20	0,30	4-7	0,90	0,60	0,90	8-11	1,30	0,90	1,50	12-15	1,70	1,05	2,40	Méthode des vitesses
Pente en ‰	Pénurie partie supérieure du BV	Bois partie supérieure du BV	Impérialisme mal défini																		
0-3	0,45	0,20	0,30																		
4-7	0,90	0,60	0,90																		
8-11	1,30	0,90	1,50																		
12-15	1,70	1,05	2,40																		

4.6 - Bibliographie (liste non exhaustive)

Documents techniques :

- [1] M. Larinier. Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, Bulletin Français de la Pêche et de la pisciculture (BFPP) –1992 – vol 65 – n° 326-327.
- [2] C. Gosset, M. Larinier, J.P. Porcher, F. Travade. « Passes à poissons : expertise, conception des ouvrages de franchissement » (recueil)– disponible au Conseil Supérieur de la Pêche, 134, avenue de Malakoff à Paris.
- [3] Guide L'eau et la route - Sétra - 1994 à 1999. Volume 1 : problématique des milieux aquatiques ; volume 2 : l'élaboration du projet ; volume 3 : la gestion de la route ; volume 4 : les atteintes aux milieux aquatiques ; volume 5 : lois et réglementation sur les ressources en eau ; volume 6 : la pollution accidentelle sur les grandes infrastructures ; volume 7 : dispositifs de traitement des eaux pluviales.
- [4] CCTG - ouvrages d'assainissement - fascicule 70. Titre I : réseaux – titre II : ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales – novembre 2003.
- [5] Réhabilitation des voies rapides urbaines : thème assainissement – Guide technique Sétra – 2001-*Réf.* D 0025
- [6] Traitement des obstacles latéraux – Guide technique Sétra – 2002 – *Réf.* E0233
- [7] Aide au Choix des Solutions d'Assainissement et de drainage des Routes Existantes (ACSARE) - Guide technique Sétra – 1993 – *Réf.* D9232
- [8] Buses métalliques : recommandations et règles de l'art – Guide technique Sétra/LCPC – septembre 2001 – *Réf.* F8105
- [9] Nomenclature de la loi sur l'eau : application aux infrastructures routières – Guide Sétra – juin 2004 – *Réf.* 0412
- [10] B. Lachat. Protection des berges de cours d'eau en techniques végétales – Éditions Ministère de l'environnement – 1994.
- [11] L'entretien courant de l'assainissement de la route. Guide pratique Sétra – 1998 - *Réf.* D9841
- [12] Drainage routier – Guide technique Sétra – 2006 – *Réf.* 0605
- [13] Traitement de la pollution routière – Guide technique Sétra – à paraître.

Textes réglementaires :

Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau (intégrée au titre I du livre II du Code de l'environnement) et ses décrets d'application.

Décret n° 93-742 du 29 mars 1993 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues par l'article de la loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau.

Circulaire n° 94-56 du 5 mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissements sur le réseau routier national non concédé.

Circulaire Direction des Routes n° 18 581 du 22 décembre 1992 sur la qualité de la route – disponible au Sétra – *Réf.* A 9353.

Pour information

Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations – circulaire interministérielle 77.284/INT du 22 juin 1977 remplacée par « la ville et son assainissement » du Certu – juin 2003.

Ouvrages routiers et inondations : « des idées pour mieux gérer les écoulements dans les petits bassins versants » – note d'information Sétra n°56 – économie environnement conception – juin 1998 (en téléchargement sur le site internet du Sétra).





46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.equipement.gouv.fr

Ce guide technique sur l'assainissement routier propose une démarche méthodologique pour la conception technique des ouvrages au niveau des écoulements naturels, de l'assainissement de la plate-forme et du drainage interne.

Ce guide s'adresse aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage et aux bureaux d'études concernés par la conception des ouvrages d'assainissement pour les projets routiers neufs et par les études de réhabilitation de routes existantes.



Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0632** - Prix de vente : **19 €**

*Crédits photos : Marc VALIN (CETE Nord-Picardie), Serge CRISCIONE (DREIF - LREP), Marie-Odile CAVAILLES (Sétra).
Conception graphique, mise en page : Domigraphic, 16 rue Diderot, ZAC Les Radars - 91353 GRIGNY*

*L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document.
© 2006 Sétra - Dépôt légal : 3^{ème} trimestre 2006 - ISBN : 2-11-094629-6*

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

