

COMMUNE DE BELLEGARDE

ALEA INONDATION SUR LES QUARTIERS DE LA VAQUES

Rapport 2 – Extension de la zone d'étude vers
l'amont

Mai 2010

TRACES DE L'ALEA 50 CM SUR LES QUARTIERS DE LA VAQUES

1. CONTEXTE	1
2. INTRODUCTION	1
3. LE BASSIN VERSANT	2
4. ANALYSE DE LA FORMATION DES CRUES ET ESTIMATION DU DEBIT CENTENNAL.....	2
5. MODELISATION HYDRAULIQUE	4
5.1 Données topographiques	4
5.2 Construction du modèle hydraulique	4
5.3 Résultats	4

1. CONTEXTE

BRL ingénierie a réalisé en décembre 2006 une étude pour définir l'aléa inondation sur les quartiers de la Vaques et du Pendant de l'Enfer dans le cadre de l'élaboration du PLU.

La commune a souhaité étendre la zone d'étude du ruisseau de la Vaques. Les objectifs et méthodes restent en tout point similaires à la présente analyse.

Le présent dossier est donc une reprise du document de 2006 avec une zone d'étude élargie.

2. INTRODUCTION

Afin d'élaborer des règles de construction et d'extension du bâti existant, la DDTM demande à la commune de Bellegarde de fournir une étude hydraulique permettant de préciser l'emprise de l'aléa 50 cm d'eau en cas de crue centennale de la Vaques au droit des zones potentiellement urbanisables. Un tracé a déjà été réalisé par BRLi sur ce secteur, mais sur la partie aval. La carte réalisée dans le cadre de l'étude antérieure est, dans la présente étude, complétée en amont afin d'obtenir un rendu cohérent à l'échelle du quartier de la Vaques, jusqu'à la moitié de la parcelle 690.



Sur le quartier de la Vaques, le ruisseau de la Vaques traverse le secteur et s'écoule en fond de thalweg. Des débordements peuvent se produire sur les 2 berges du cours d'eau en fonction des niveaux topographiques. Le risque d'inondation cartographié dans la présente étude est celui lié aux débordements du ruisseau de la Vaques.

3. LE BASSIN VERSANT

Le ruisseau de la Vaques correspond à un bassin versant d'un peu plus de 3,6 km² (voir carte en page suivante) et produit en cas de fort orage des apports de débit et de volume de crue importants.

Le bassin versant amont est constitué de vignes. Le terrain naturel a une pente très faible voire quasi nulle, ce qui entraîne vraisemblablement une infiltration plus importante. De plus, d'un point de vue géologique, le bassin versant amont est situé sur une zone de sable profonde (voir extrait de carte géologique en annexe 1).

La partie aval est plus pentue mais représente une superficie plus modeste.

4. ANALYSE DE LA FORMATION DES CRUES ET ESTIMATION DU DEBIT CENTENNAL

Compte tenu de la description du bassin versant ci-dessus et des témoignages de riverains, on peut penser lors de crues fréquentes (de 2 à 10 ans), l'infiltration importante permet un très faible ruissellement, entraînant peu de désordres, mis à part l'inondation de la RN113 due notamment à la trop faible capacité de la buse exutoire. Cependant lors de crues plus rares (50 ans, 100 ans), le ruissellement est plus important, malgré l'infiltration qui a lieu en début de phénomène. Les sols se saturent et le débit et le volume écoulés deviennent très importants.

Le bassin versant a donc été modélisé en sous découpant l'ensemble :

- le bassin versant amont, à très faible pente,
- le bassin versant aval, thalweg vraiment marqué de la Vaques à forte pente.

La transformation pluie-débit a été réalisée à l'aide du logiciel CANOE (présentation en annexe 2) pour un événement centennal. Une loi de Horton a été utilisée afin de modéliser l'infiltration.

Le débit donné par le modèle CANOE, prenant en compte la platitude du bassin versant amont donne un débit de 45 m³/s. C'est ce débit qui a été choisi pour déterminer la limite de la zone inondable et de l'aléa 50cm sur le secteur de la Vaques situé de part et d'autre de l'ancienne voie ferrée.

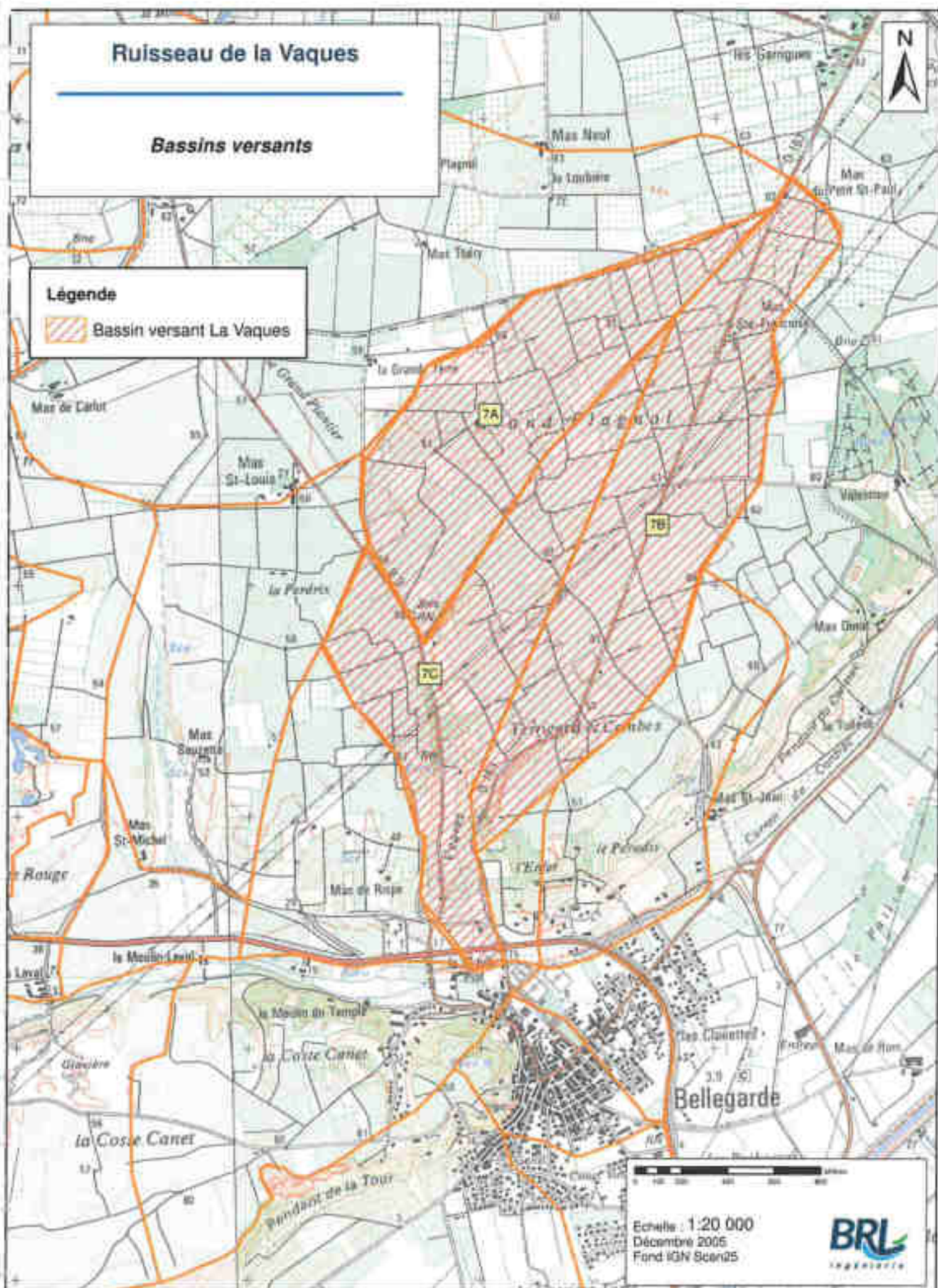
A titre de comparaison, l'application de la formule de Bressand-Golossof (couramment utilisée dans le département du Gard) sur un bassin de 364 ha donne un débit pour l'occurrence rare de 65 m³/s.

Ruisseau de la Vaques

Bassins versants

Légende

 Bassin versant La Vaques



5. MODELISATION HYDRAULIQUE

5.1 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

6 profils en travers ont levés dans le cadre de l'étude antérieure par le cabinet POUJOL.

2 profils en travers viennent compléter le levé. Ils ont été réalisés par le cabinet BALP dans le cadre de la présente étude.

5.2 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

Le modèle hydraulique a été réalisé à l'aide du logiciel ISIS.

Le terrain naturel est décrit par les profils en travers. Le remblai de l'ancienne voie SNCF et son ouvrage ont été introduits dans le modèle.

Une loi de seuil représentant la RN113 est intégrée en tant que condition limite aval.

5.3 RESULTATS

Les résultats au droit de chaque profil en travers sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Profil en travers	PN	Z basal (mNGF)	Z max (mNGF)	V moy (m/s)	V max (m/s)
V13	0.00	26.15	27.25	2.05	Gauche : 1.8
V14	81.00	23.14	24.83	1.32	Gauche : 1.1
V01	169.00	21.30	22.28	1.47	Gauche : 1.3
V02	263.00	17.24	19.15	0.85	
V03am	297.00	16.58	19.14	0.63	
V04	297.00	16.41	17.49	1.94	
V05	368.00	14.82	15.72	0.66	
V06	392.00	15.15	15.52	0.89	

Les profils en travers complémentaires correspondant à l'extension de la zone d'étude sont les profils V14 et V13.

Les débordements se font principalement en rive gauche entre les profils V13 et V1. Les hauteurs d'eau sont globalement inférieures à 50 cm. La largeur de la zone inondable est d'une soixantaine de mètres en moyenne. Les vitesses en lit majeur sont assez élevées et dépassent les 1 m/s.

Plus en aval les hauteurs d'eau dépassent 50 cm (zones rouges sur la carte).

Les profils en travers sont fournis en annexe 3.

CARTOGRAPHIES

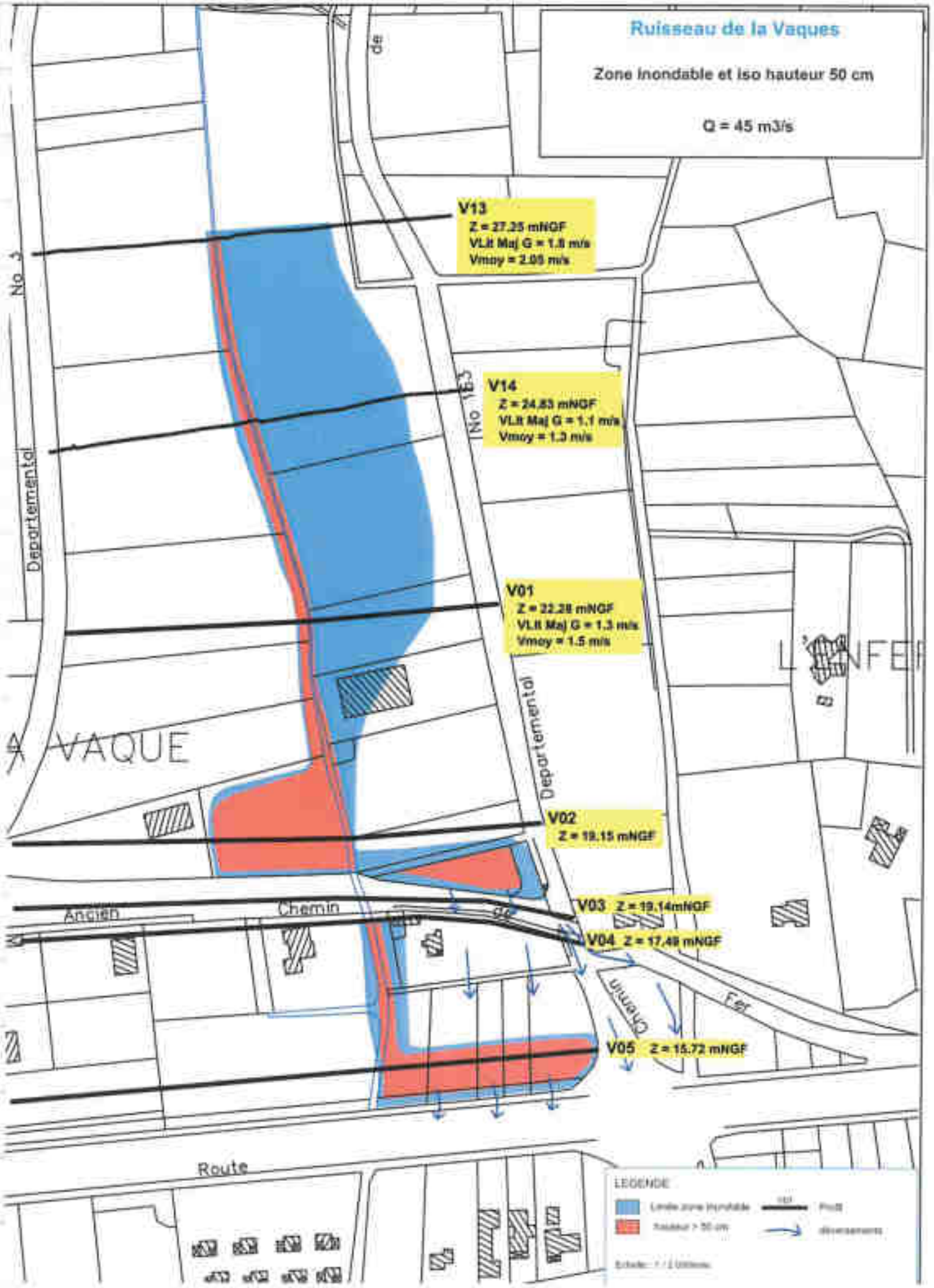
Le croisement de la topographie et de ces résultats permet ensuite de tracer la zone inondable correspondante à une crue de débit de pointe $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le tracé de la zone inondable et de la zone où la hauteur d'eau calculée dépasse 50 cm pour une crue centennale de la Vaques est représenté sur la carte en page suivante.

Ruiseau de la Vaques

Zone Inondable et iso hauteur 50 cm

Q = 45 m³/s



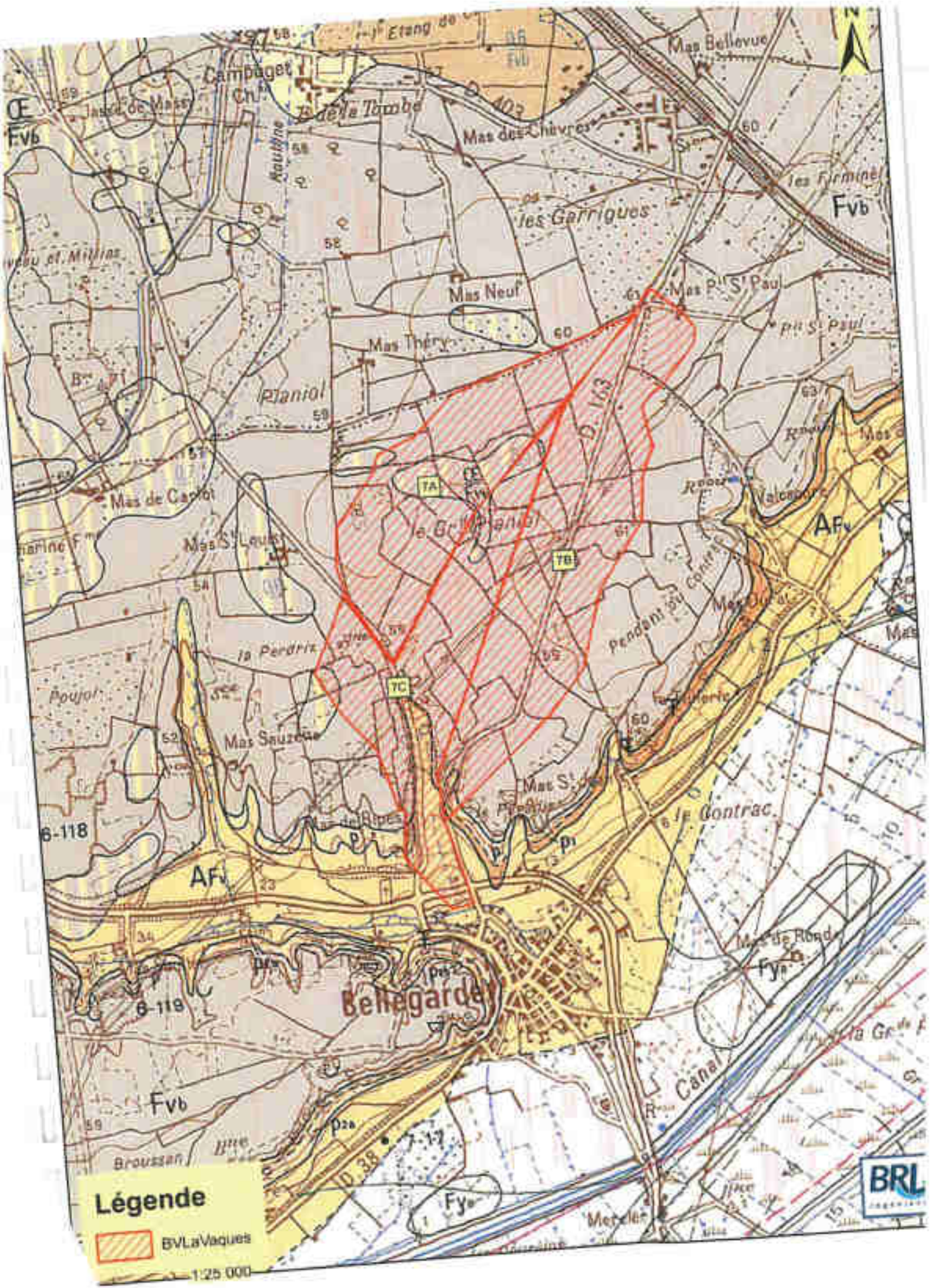
LEGENDE

- Limite zone Inondable
- Tailleur > 50 cm
- Plot
- directions

Echelle: 1 / 2 000ème

ANNEXE

Annexe 1 : carte géologique – bassin versant de la Vaques



Légende

 BVL a Vaques

1:25 000



Annexe 2 :

Présentation du logiciel CANOE

NOTICE CANOE

1. PRESENTATION GENERALE

Canoe est un logiciel d'aide à la conception et à la gestion des réseaux d'assainissement qui offre la possibilité d'utiliser des modèles variés pour représenter les phénomènes physiques qui se produisent lors d'une pluie. Tous reposent sur une décomposition de la structure physique du site étudié, en éléments réputés homogènes (bassins versants, tronçons, ouvrages spéciaux,...), et sur la décomposition du phénomène en phénomènes s'appliquant chacun sur un type donné d'éléments.

2. LES MODELES UTILISES

2.1 MODELISATION DE LA PLUIE

Au sens de Canoe, une pluie est représentée par un hyétoGramme, un épicycle, un coefficient d'abattement spatial et éventuellement une date de début.

Les pluies utilisées peuvent être des pluies réelles (mesurées) ou des pluies de projet.

2.1.1 HyétoGramme

Selon la dimension du bassin, deux formes de hyétoGrammes sont utilisées : simple triangle pour les BV de moins de 12 ha ; double triangle au-delà.

Les données nécessaires sont :

- soit la région pluviométrique (cas de la France) et la période de retour,
- soit les coefficients de la formule de Montana.

2.1.2 Abattement spatial

L'abattement spatial permet de tenir compte du fait que les intensités instantanées ne sont pas partout les mêmes sur tout le bassin versant. Le modèle utilisé est très simple. Il repose sur la définition d'un épicycle (point où l'intensité est maximum), et sur la prise en compte d'un amortissement des intensités variant selon la distance à cet épicycle.

Les recherches les plus récentes montrent que le coefficient d'abattement (a) doit en général être pris nul tant que la surface totale drainée est inférieure à 2 000 hectares.

2.1.3 Bibliothèque de pluies

Canoe permet la constitution d'une bibliothèque de pluies réelles (mesurées) ou de projet (construites). A chaque pluie sont associés : un nombre de pas de temps, une valeur de pas de temps, un tableau d'intensités discrétisées, un coefficient d'abattement spatial.

2.2 MODELISATION DE LA TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT

Deux modèles permettent de simuler la transformation de la pluie en débit. Le premier modèle représente les pertes et le ruissellement sur les bassins versants urbains ; le second sur les bassins versants ruraux. Les deux modèles produisent un hydrogramme discrétisé avec la même valeur de pas de temps que la pluie qui en est à l'origine.

2.2.1 Modèle urbain

Le calcul du débit de pluie nette $Q_e(t)$ (lame d'eau efficace par pas de temps), est effectué par la formule $Q_e(t) = C.S.i(t)$ en prenant en compte un coefficient C de ruissellement constant égal au pourcentage de surface S imperméabilisée.

Le calcul de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant est effectué de façon très classique à partir du modèle à réservoir linéaire :

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) ; V(t) = K Q_s(t)$$

avec :

$V(t)$: volume stocké à l'instant t

$Q_s(t)$: débit à l'exutoire à l'instant t

Le lag time K est calculé à partir d'un ajustement de Desbordes faisant intervenir : la surface, le coefficient d'imperméabilisation, la longueur du plus long parcours de l'eau, la pente le long de ce parcours.

2.2.2 Modèle rural

Trois types de pertes sont pris en compte :

⇒ INTERCEPTION PAR LA VEGETATION

Un bassin versant rural est divisé en trois types de surface :

- les surfaces boisées, considérées comme inactives vis à vis du ruissellement direct,
- les surfaces couvertes par une végétation autre que des bois pour lesquelles il faut satisfaire une perte initiale de 0 à 6 mm d'eau avant d'observer un ruissellement,
- les surfaces nues ou à végétation rase qui ne sont pas sujettes à une interception préalable par la végétation.

⇒ STOCKAGE DANS LES DEPRESSIONS DU SOL

Le volume de stockage est évalué par la hauteur moyenne des dépressions (de 0 à 5 mm). Ce stockage ne constitue pas une perte initiale puisque le ruissellement peut commencer même si la hauteur d'eau dans les dépressions est très faible. Cependant plus la hauteur d'eau augmente dans les dépressions et plus les pertes instantanées par stockage deviennent faibles (loi exponentielle).

⇒ INFILTRATION

Il s'agit de la perte principale. Elle est évaluée par la loi de Horton :

$$f(t) = f_0 - (f_0 - f_c)e^{-at}$$

où f_0 et f_c sont les valeurs d'infiltration pour le sol sec et le sol saturé

Le calcul de l'hydrogramme à la sortie du bassin est effectué à partir du modèle de Nash (cascade de deux réservoirs linéaires).

Le temps de concentration global du bassin versant est calculé à l'aide de la formule de Passini.

2.3 MODELISATION SIMPLIFIEE DES ECOULEMENTS EN RESEAU

La simulation simplifiée d'un réseau nécessite l'utilisation de deux types de modèles :

- des modèles permettant de représenter la déformation de l'onde de crue entre l'amont et l'aval des conduites,
- des modèles permettant de simuler les ouvrages spéciaux.

2.3.1 Modèles de propagation

Canoo propose le choix entre 2 modèles de propagation :

- **Le premier repose sur le modèle MUSKINGUM**, c'est à dire sur les deux équations suivantes :

$$\frac{dS(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$$

$$S(t) = K [\alpha Q_e(t) + (1 - \alpha) Q_s(t)]$$

avec :

$Q_e(t)$: débit entrant dans la conduite
$Q_s(t)$: débit sortant de la conduite
$S(t)$: stock dans la conduite
K	: lag time = L/V_m
α	: coefficient sans dimension (pris égal à 0,8)
L	: longueur du tronçon
V_m	: vitesse moyenne de l'écoulement

Ce modèle peut être misé avec un minimum d'information sur la conduite (seule la longueur est indispensable)

- | | | |
|--|---|--|
| <p>si la pente est inconnue, le logiciel demandera une valeur de vitesse ou en choisira une,</p> | <p>si la pente est connue mais le type de conduite inconnu, le programme proposera une valeur de dimension de conduite ou choisira une vitesse,</p> | <p>en cas de mise en charge, deux options sont possibles, l'option "écrêtement" permet de limiter le débit à l'aval à la capacité de la conduite à surface libre, le choix "sans écrêtement" permet d'écouler tout le débit.</p> |
|--|---|--|

- **Le second modèle est basé sur un modèle de stock original** qui permet de simuler des écoulements à surface libre ou en charge. Dans tous les cas, le stock est évalué comme étant le produit de la section mouillée de l'eau par la longueur de la conduite.

Une des conséquences de la formulation, est que lorsque la conduite est pleine, aucune augmentation du stock n'est alors possible. Le débit de sortie Q_s sera donc égal au débit d'entrée Q_e .

Cette formulation est défavorable. Elle néglige, en effet, les effets de stockage provoqués par la mise en charge de l'amont de la conduite étudiée, ainsi que les limitations de débit provoquées par les débordements. Elle conduira donc à une surestimation du débit de pointe à l'aval.

2.3.2 Modèles d'ouvrages spéciaux

- **Jonctions** : le modèle suppose que l'hydrogramme juste à l'aval de la jonction est égal à la somme des hydrogrammes à l'amont.
- **Défluences et déversoirs d'orage** : le débit dans chaque branche aval est déterminé grâce à un coefficient de répartition (éventuellement fonction du débit amont) calculé préalablement.

2.4 MODELISATION HYDRAULIQUES DES ECOULEMENTS EN RESEAU

Elle repose sur les équations complètes de Barré se Saint Venant :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g = g(1-J)$$

avec

λ = coefficient des pertes de charges (COLEBROOK)
 t = temps
 x = variable d'espace
 Q = débit ($Q = v \cdot S$)
 v = vitesse moyenne
 S = section mouillée
 h = hauteur d'eau
 l = pente
 J = pertes de charge par unité de longueur
 $J = \lambda \frac{v^2}{8gRh}$

Ces équations sont résolues par un schéma semi-explicite de différences finies utilisant la discrétisation volumique suivante :

$$\frac{S_{i+1}^{n+1} - S_i^n}{\Delta t} = \frac{Q_i^n - Q_{i+1}^{n+1}}{\Delta x} = 0$$

avec

$Q_i^n = V_i^n \cdot \frac{S_{i+1}^n + S_i^n}{2} \quad ; \quad Q_{i+1}^{n+1} = V_{i+1}^{n+1} \cdot \frac{S_i^{n+1} + S_{i+1}^{n+1}}{2}$

$\frac{V_{i+1}^{n+1} - V_i^n}{\Delta t} + V_i^n \cdot \frac{V_{i+1}^n - V_i^n}{2\Delta x} + g \cdot \frac{h_{i+1}^{n+1} - h_i^n}{\Delta x} = g(1-J)$

$J = \lambda \cdot V_{i+1}^{n+1} \cdot \frac{V_i^n}{8gRh_{i+1}^5}$



2.5 MODELISATION DES BASSINS DE RETENUE ET/OU D'INFILTRATION

Canoe offre un grand nombre de solutions pour modéliser les bassins de retenue et/ou d'infiltration.

Chacun de ces modèles fonctionne sur le même principe de base, qui consiste à calculer les valeurs de débit de fuite (Q_s), hauteur d'eau dans les bassins (h) et volume stocké V vérifiant simultanément les trois équations :

$$\frac{dV}{dt} = Q_e - Q_s \qquad V = f(h) \qquad Q_s = g(h)$$

(Q_e = débit d'entrée)

La résolution est faite numériquement à partir d'un schéma des différences finies :

$$\frac{V(t + \Delta t) - V(t)}{\Delta t} = \frac{Q_e(t) + Q_e(t + \Delta t)}{2} - \frac{Q_s(t) + Q_s(t + \Delta t)}{2}$$

Ce problème se ramène à la résolution numérique d'une équation transcendante à chaque pas de temps.

2.6 MODELISATION DES DEVERSOIRS D'ORAGE

Canoe offre de très nombreuses possibilités pour représenter les déversoirs d'orage. Toutes conduisent nécessairement à des formulations explicites, permettant de calculer le débit à l'aval du D. O. par une relation univoque avec le débit de l'amont.

⇨ UTILISATION DIRECTE DE MESURES

Des mesures simultanées (débit entrant - débit sortant) peuvent être utilisées directement, le logiciel se chargeant de les lisser pour construire une loi numérique débit sortant = f (débit entrant).

⇨ MODELE SIMPLIFIE

Le fonctionnement du déversoir est simulé par trois segments de droite.

⇨ MODELE STANDARD, SEUIL FRONTAL

$$Q = 0,45 * l * (h - \text{seuil})^{3/2} \sqrt{2g}$$

Q : le débit dérivé au dessus du seuil

h : hauteur d'eau

seuil : hauteur du seuil

l : longueur du seuil

⇨ MODELE STANDARD, SEUILS LATERAUX

Canoe permet de représenter le fonctionnement hydraulique des déversoirs à seuils latéraux bas, simples ou doubles, rectilignes ou obliques.

Il permet de déterminer la forme de la ligne d'eau le long du seuil du déversoir et d'évaluer le débit déversé pour des valeurs de débit incident connu. Le modèle utilisé est celui proposé par ELKHASHAB et repris par MITRI et JAMES pour le programme OVRFLO. Les équations de base sont fondées sur la conservation de la quantité de mouvement parallèle au lit de la canalisation et sur la formule de DE MARCHI.

2.7 MODELISATION DES DEFLUENCES

Par opposition aux déversoirs d'orage, une défluence (au sens de CANOE) est caractérisée par l'absence de seuil. Le nombre de tronçons aval doit être inférieur à quatre .

Le principe de traitement est le même que pour les déversoirs d'orage, c'est à dire l'établissement et le stockage d'une relation univoque $Q_{\text{sortant}} = f(Q_{\text{entrant}})$.

⇒ MODELE SIMPLIFIE

$Q_{\text{sortie 1}} = \alpha Q_{\text{entrée}}$ et $Q_{\text{sortie 2}} = (1 - \alpha) Q_{\text{entrée}}$

⇒ MODELE STANDARD

Le modèle standard utilisé est purement conceptuel, il repose sur deux critères de répartition et un critère de pondération.

Le premier critère de répartition, dit critère inertiel, repose sur le principe d'une conservation maximum de la quantité de mouvement. Le débit est réparti dans les conduites aval, en fonction des angles qu'elles font avec la conduite amont, et de coefficients de forme tenant compte de la surface de la conduite aval "vue" depuis l'amont.

Le second critère, dit critère anthropique, conduit à une répartition des débits qui minimise l'énergie totale disponible à l'aval de la défluence (et donc qui maximise les pertes de charge dans l'ouvrage). Ce critère fournit une répartition très voisine de celui habituellement utilisé, qui consiste à partager les débits proportionnellement aux capacités d'évacuation des conduites aval.

L'importance relative des deux critères est pondérée par un coefficient fonction du nombre de Froude.

Annexe 3 : Profils en travers – secteur de la Vaques

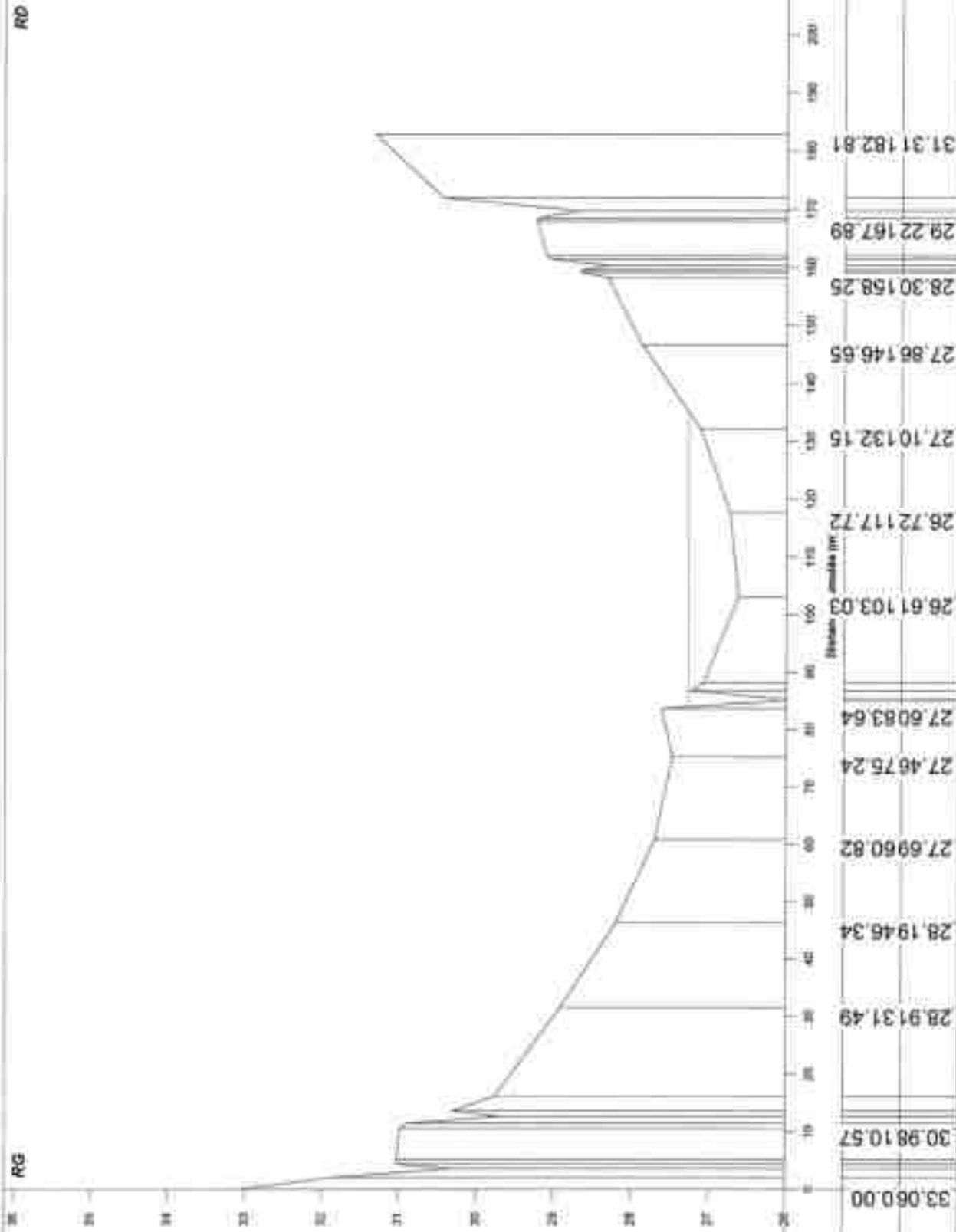
Profil en travers

SECTION : V13

RD

RG

Q = 45 m³/s : 27.25



Echelle horizontale 1: 1000

Echelle verticale 1: 75

Plan de comparaison : 26

Distance cumulée

Cote

33.060,00	0
30.9810,57	10
28.9131,49	20
28.1946,34	25
27.6960,82	30
27.4676,24	32
27.6083,64	35
26.61103,03	40
26.72117,72	45
27.10132,15	50
27.86146,65	60
28.30158,25	70
29.22167,89	80
31.31182,81	100

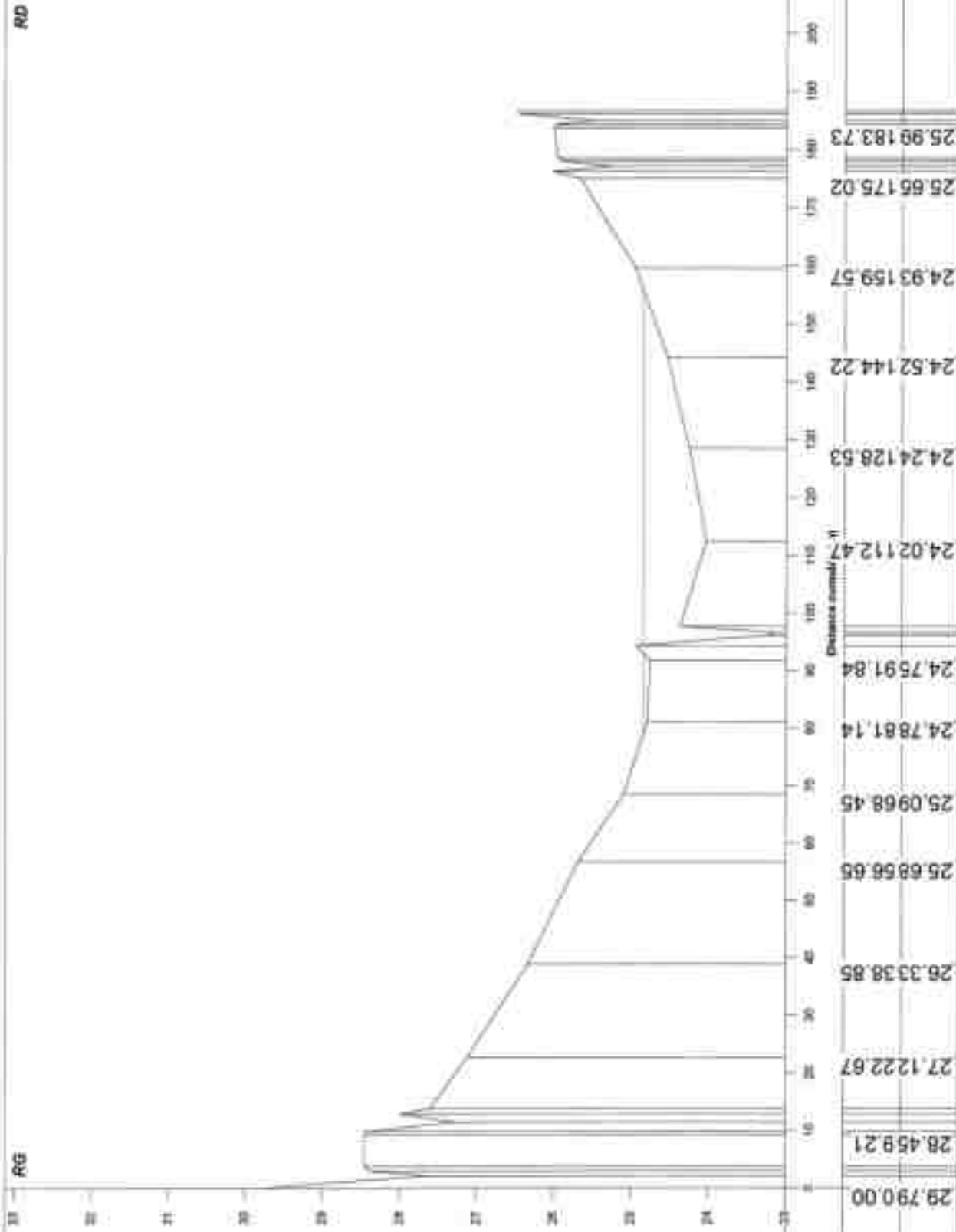
Profil en travers

SECTION : V14

RD

RG

Q = 45 m³/h : 24.83



Echelle horizontale 1: 1000

Echelle verticale 1: 75

Plan de comparaison : 23

Distance cumulée

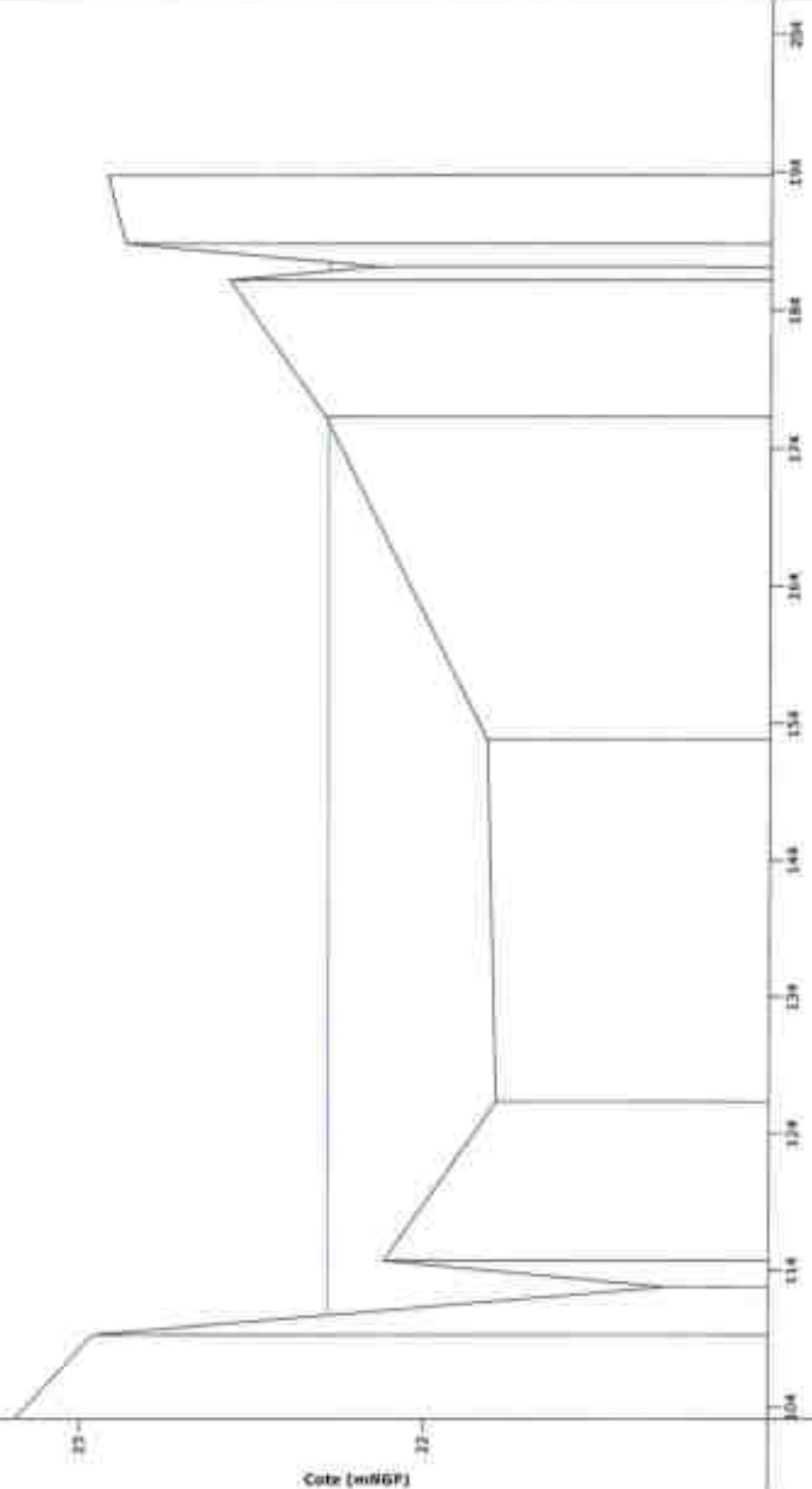
Cote

29.790,00	0
28.459,21	16
27.122,67	32
26.333,85	48
25.686,65	64
25.096,45	80
24.781,14	96
24.759,84	100
24.021,247	112
24.241,28,53	120
24.521,44,22	132
24.931,59,57	144
25.661,75,02	172
25.991,83,73	180

Profils en travers

SECTION_V01

— Q= 45 m³/s : 22.26



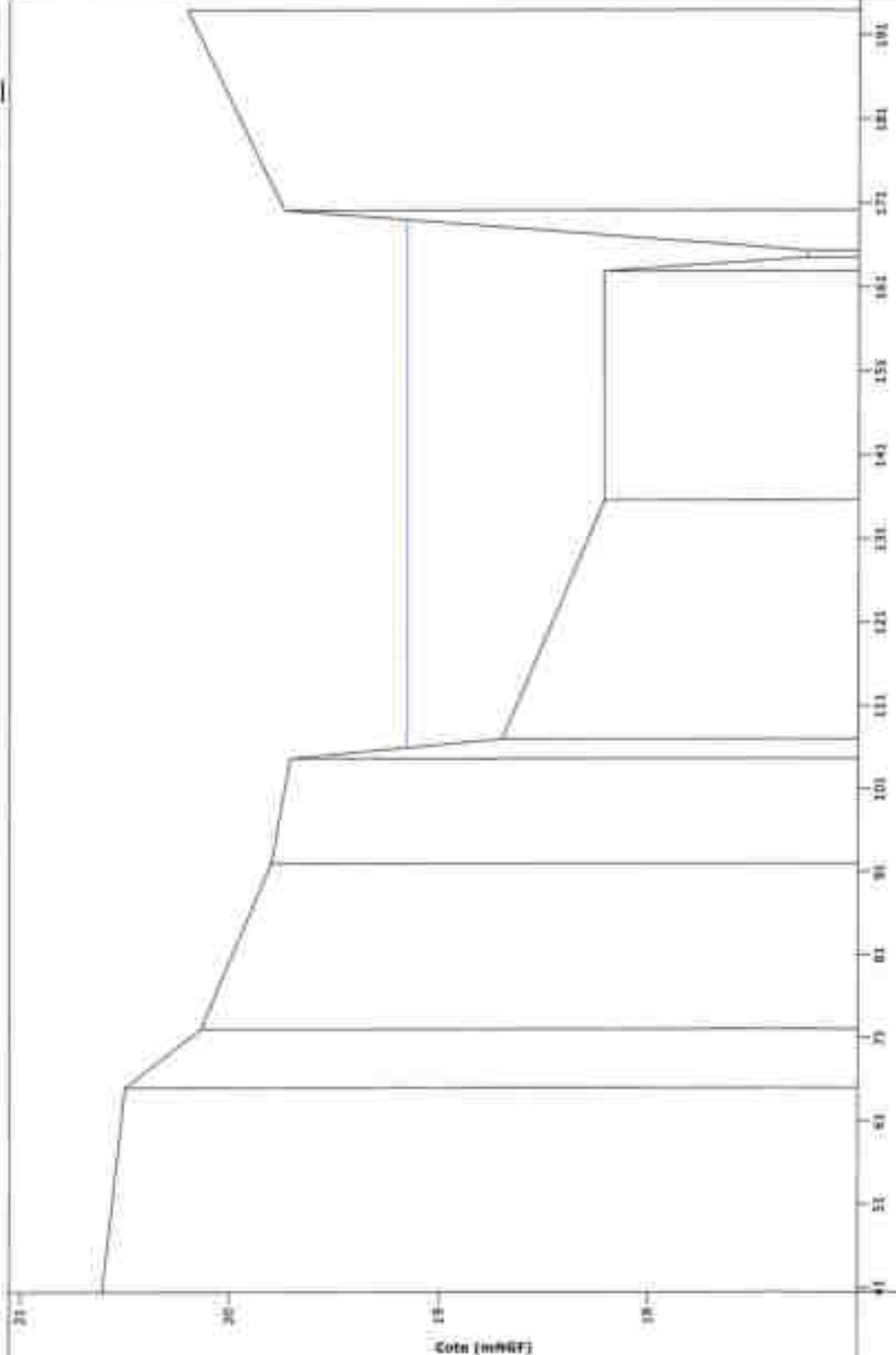
Echelle horizontale 1 cm = 5.0 m
Echelle verticale 1 cm = 0.2 m

Axes de coordonnées : Z1

Abscisse cumulée (m)	Cote (mNGF)
304	21.52
314	21.75
324	21.98
334	22.21
344	22.44
354	22.67
364	22.90
374	23.13
384	23.36
394	23.59
404	23.82
414	24.05
424	24.28
434	24.51
444	24.74
454	24.97
464	25.20
474	25.43
484	25.66
494	25.89
504	26.12

Profils en travers

SECTION_V02



Q= 45 m³/s : 19.13

Echelle horizontale 1 cm = 7.5 m
Echelle verticale 1 cm = 0.3 m

Plus de compression : 2.7

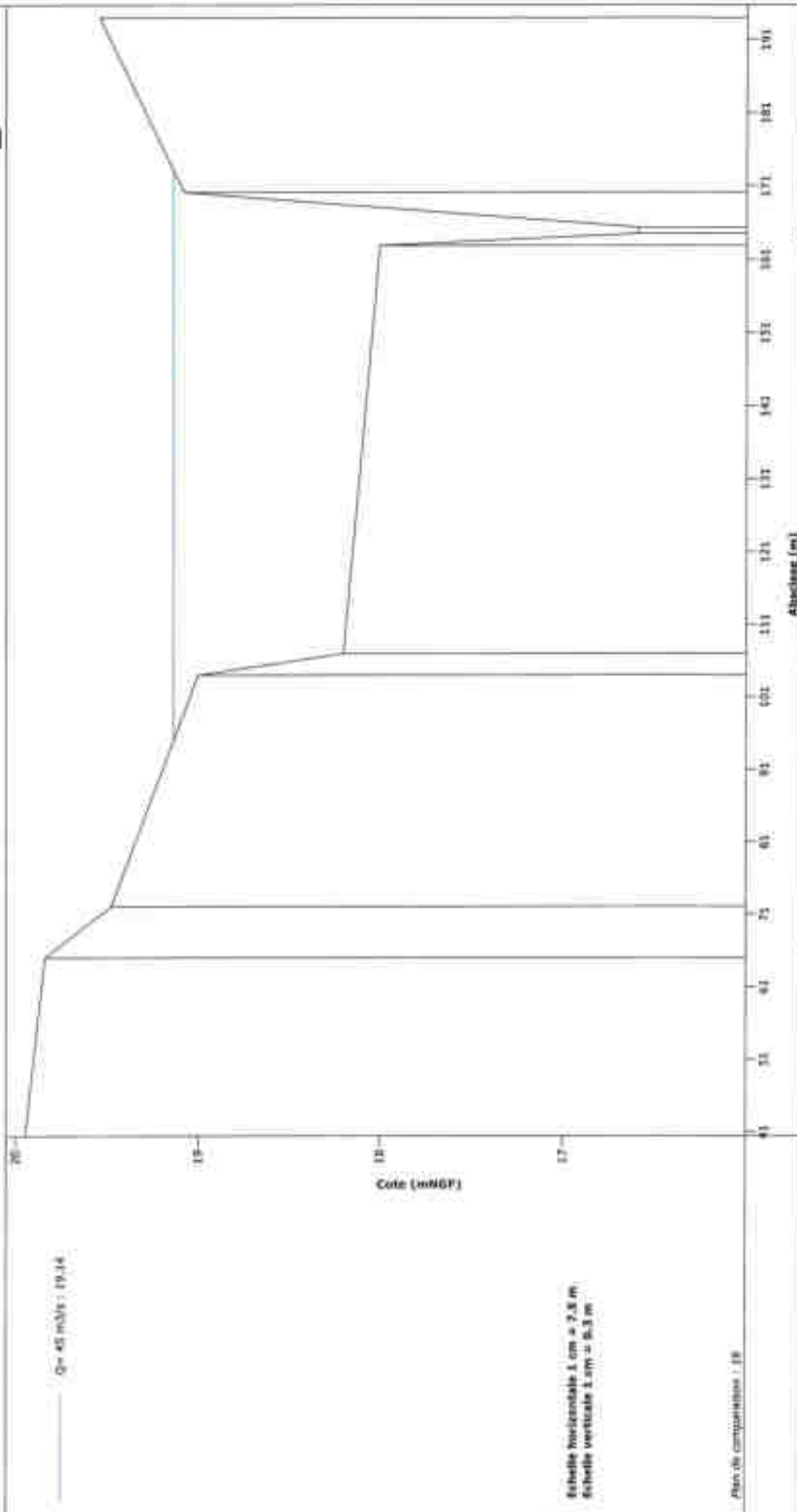
Abscisse (m)	
0	28.24
63	28.58
73	29.24
81	29.86
91	29.86
100	29.85
107.85	29.79
125	29.21
133	18.21
143	18.21
153	
162	
172	17.24
181	15.74
191	

Abscisse cumulée (m)

Cote (mNGF)

Profils en travers

SECTION_V03am

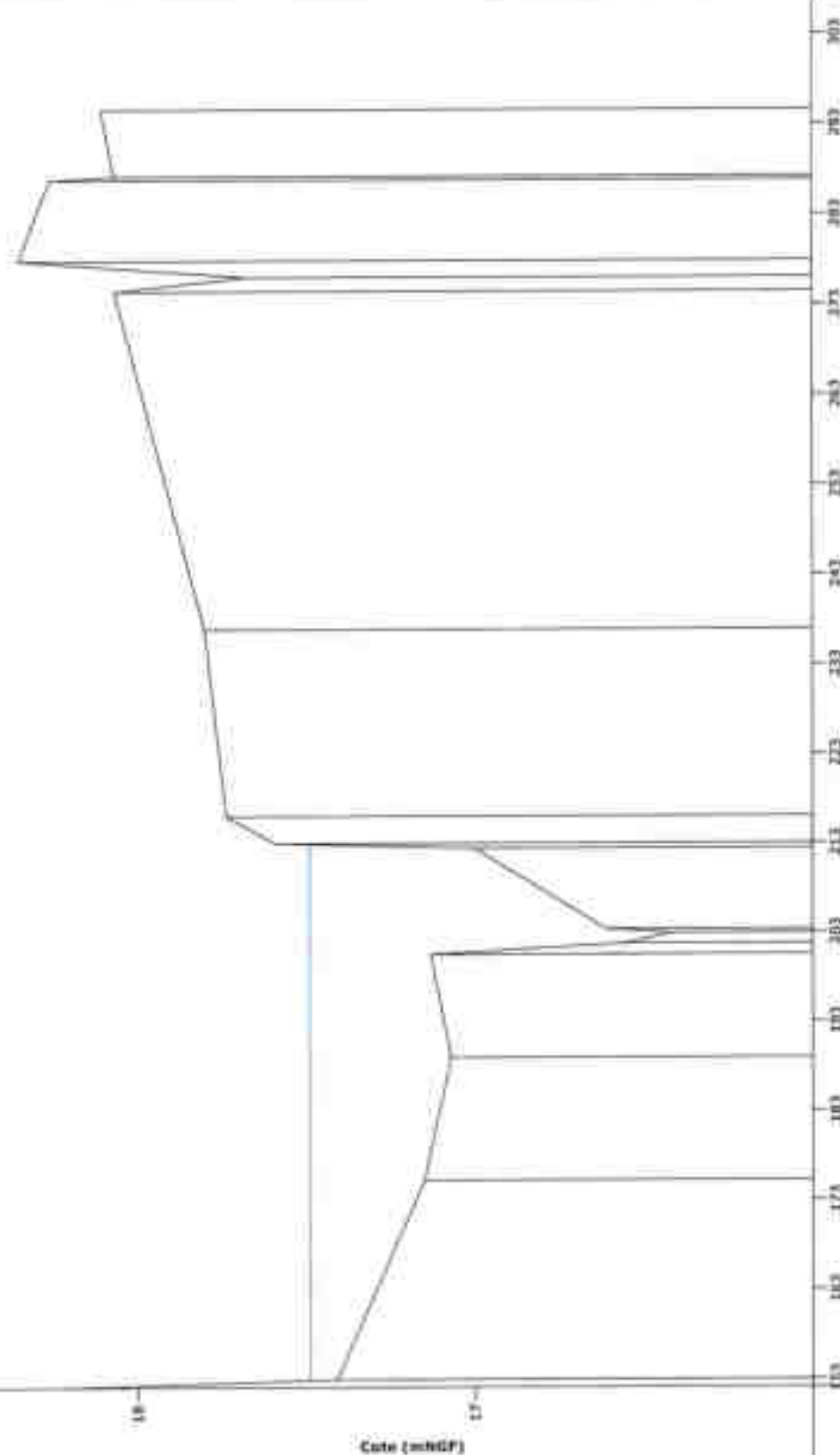


Abscisse cumulée (m)	Cote (mNGF)
0	18.44
14.20	19.94
22.00	19.99
104.00	19.00
107.00	19.20
109.04	18.58
170.04	19.06
201	

Profils en travers

SECTION_V04

Q = 43 m³/s ; 17.48



Echelle horizontale 1 cm = 2.5 m
Echelle verticale 1 cm = 0.2 m

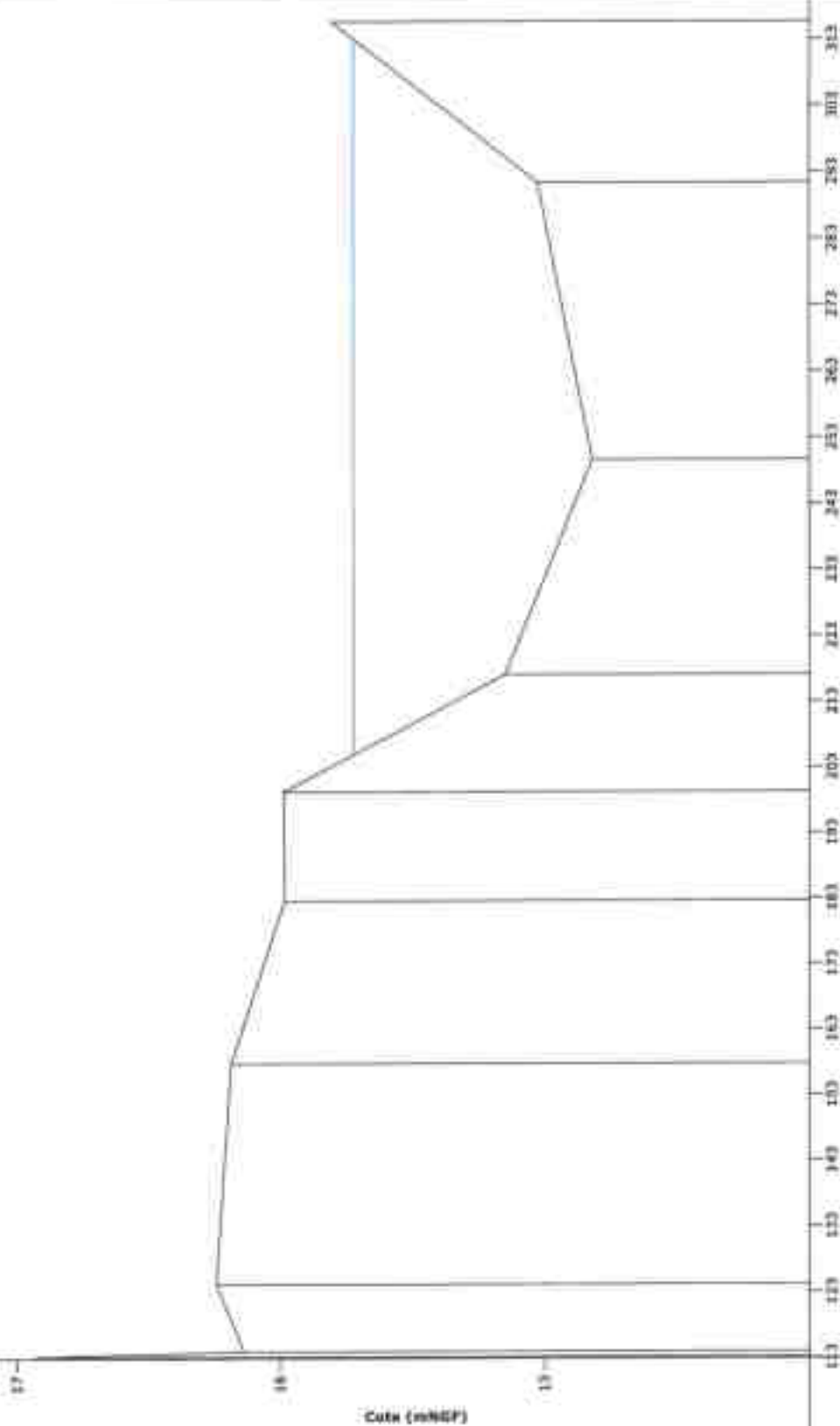
Plan de compensation : 35

Abcisse cumulée (m)	Cote (mNGF)
0	17.4
15	17.25
175	17.25
180	17.27
185	16.83
190	17.24
213	17.24
215	17.24
220	17.24
225	17.24
230	17.24
243	17.24
253	17.24
265	17.24
273	17.24
283	17.24
287	17.24
294	17.24
303	17.24

Profils en travers

SECTION_V05

Q = 45 m³/s / 15.72



Cote (mNGF)

Abcisse (m)

Echelle horizontale 1 cm = 10.0 m
Echelle verticale 1 cm = 0.3 m

Plan de comparaison : 7.0

Abcisse cumulée (m)

Cote (mNGF)

123.95	13.24	123.95	13.24
134.27	16.24	134.27	16.24
157.28	16.25	157.28	16.25
181.81	13.86	181.81	13.86
189.27	13.86	189.27	13.86
217.08	13.25	217.08	13.25
249.95	14.87	249.95	14.87
281.86	15.22	281.86	15.22
313.98	15.80	313.98	15.80
353.00	15.80	353.00	15.80