

République française



DÉPARTEMENT  
**BOUCHES  
DU RHÔNE**

**Direction des Routes**  
**Arrondissement**  
**de l'ETANG DE BERRE**

**- RD 7n -**

**Requalification entre Cazan et accès à Pont-Royal**  
**Communes de MALLEMORT et VERNEGUES**

**DEMANDE D'EXAMEN AU CAS PAR CAS**  
**PREALABLE A LA REALISATION D'UNE ETUDE**  
**D'IMPACT**

**ANNEXES COMPLEMENTAIRES**

**A10 – Etude des rétablissements hydrauliques**



**Maîtrise d'œuvre conception**

**VERDI Ingénierie Méditerranée**

31 Ter, chemin de Brunet  
13090 AIX-EN-PROVENCE  
Tél : 04.42.26.30.61 / E-mail : aix@verdi-ingenierie.fr

République française



**Maîtrise d'Ouvrage**

**C.D. 13 – Direction des Routes – Arrondissement de l'Etang-de-Berre**

Route de St-Pierre  
13698 MARTIGUES cedex

Suivi et vérifié par  
Le Chef du Service Etudes et Travaux

M. OLIVERI  
Martigues, le

Présenté par  
Le Chef de l'Arrondissement de l'Etang-de-Berre

J.L. ROUX  
Martigues, le

Approuvé par la Présidente du Conseil Départemental  
Pour la Présidente et par délégation  
Le Directeur des Routes

D. WIRTH  
Marseille, le

Etude réalisée par l'équipe : C. MOREAU / A. BARBAROUX

Date : Janvier 2017

Modifications :



Communes de Vernègues et Mallemort

**RD7n – ETUDE SUR LA REQUALIFICATION  
ENTRE SUD DE CAZAN ET ACCES PONT ROYAL**

**A.V.P.**

**OUVRAGES DES TAIADES ET DU LAVOIR A CAZAN**

**ANNEXE 2**

**NOTE HYDRAULIQUE**

Marché à bons de commande n°2013/13235	DATE	NUM	IND
Référence Verdi : 00899012B_note hydraulique	Avril 2016	<b>A-2</b>	<b>D</b>



# Sommaire

<b>1</b>	<b>SITUATION ACTUELLE</b>	<b>7</b>
1.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE	7
1.2	PLUVIOMETRIE	8
1.3	FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	8
1.3.1	<i>Bassin versant du Pont des Taïades :</i>	<i>10</i>
1.3.2	<i>Fonctionnement du bassin communal</i>	<i>13</i>
1.3.3	<i>Bassin versant du Lavoir</i>	<i>13</i>
1.4	HYPOTHESES DE TRAVAIL	16
<b>2</b>	<b>PONT DES TAÏADES</b>	<b>17</b>
2.1	CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :	18
2.2	CONTENU DE L'ETUDE DU PONT DES TAÏADES	20
2.3	DETERMINATION DES DEBITS DE POINTE DE CRUE AU DROIT DU PONT DES TAÏADES	21
2.3.1	<i>Définition des pluies de projet</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Caractéristiques morphologiques du bassin versant</i>	<i>22</i>
2.3.3	<i>Caractéristiques hydrologiques du bassin versant</i>	<i>23</i>
2.3.4	<i>Détermination du coefficient de ruissellement</i>	<i>23</i>
2.3.5	<i>Détermination du plus long chemin hydraulique et du temps de concentration</i>	<i>26</i>
2.3.6	<i>Estimation des débits de pointe</i>	<i>28</i>
2.4	MODELISATION DES ECOULEMENTS	29
2.4.1	<i>Premier examen du contexte</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Hypothèses de modélisation</i>	<i>30</i>
2.4.3	<i>Résultats de la simulation de la situation sans pont ni remblai – Etat 0 – Crue centennale</i>	<i>31</i>
2.4.4	<i>Détermination de l'effet des ouvrages sur l'écoulement des crues</i>	<i>34</i>
2.5	CONCLUSIONS	41
<b>3</b>	<b>PONT DU LAVOIR</b>	<b>42</b>
3.1	CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :	43
3.2	BASSIN VERSANT INTERCEPTE	45
3.3	DEBIT DE PROJET	47
3.3.1	<i>Débit du BV naturel intercepté</i>	<i>47</i>
3.3.2	<i>Débit d'apport conduite Ø1000</i>	<i>47</i>
3.3.3	<i>Débit de projet retenu</i>	<i>52</i>
3.4	CAPACITE ACTUELLE DE L'OUVRAGE	53
3.5	SITUATION PROJETEE - PONT DU LAVOIR	54
	<b>ANNEXE 1 – ETAT 0 – PROFILS EN TRAVERS – CRUE CENTENNALE – NIVEAU EAU MAXI</b>	<b>56</b>
	<b>ANNEXE 2 – ETAT 0 – CRUE CENTENNALE – CHAMP INONDATION</b>	<b>64</b>
	<b>ANNEXE 3 – CALCUL SETRA – DIMENSIONNEMENT RETABLISSEMENT SOUS LES PONTS – SOLUTIONS 2.0 ET 3</b>	<b>65</b>
	<b>ANNEXE 4 – PROFILS EN TRAVERS DU RUISSEAU DES TAÏADES</b>	<b>68</b>



<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b>
--------------------------------

<b>Figure 1.1 et 1.2 : Localisation sur fond IGN.....</b>	<b>7</b>
<b>Figures 2 et 3 : Bassin versant naturel du Ruisseau des Taïades à l'amont de la RD7n.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 4 : Sous bassins versants .....</b>	<b>9</b>
<b>Photo 1 : Vue amont du Pont des Taïades.....</b>	<b>10</b>
<b>Photos 2 et 3: Vue du fossé de la RD7n entre les Taïades et la RD22b depuis le Sud et vue du Ø1000 à l'amont de la RD22b.....</b>	<b>11</b>
<b>Photos 4 : Vue du fossé de la RD7n entre la RD22b et le Lavoir depuis le Sud.....</b>	<b>11</b>
<b>Photos 5.1 et 5.2 : Vue du Ø1000 à l'aval de la RD22b.....</b>	<b>12</b>
<b>Photo 6 : Vue du bassin communal depuis le Nord Est.....</b>	<b>13</b>
<b>Photo 7 : Vue amont du Pont du Lavoir .....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 5 : Schéma de principe du fonctionnement hydraulique .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 6 : Levé topographique du Pont des Taïades.....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 7 - Tableau 1 – Pluies de projet Station METEOFRACTANCE de MARIGNANE.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 8 – Bassin versant.....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 9 - Géologie du bassin versant du Ruisseau des Taïades (BRGM) .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 10 : Tableau 2 – Estimation des coefficients de ruissellement - méthode SCS-CN... </b>	<b>25</b>
<b>Figure 11 : Tableau 3 – Estimation des coefficients de ruissellement – SETRA 2006 .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 12 - Tableau 4 – Caractérisation du plus long chemin hydraulique .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 13 – Identification et caractérisation du plus long chemin hydraulique .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 14 : Tableau 5 – Estimation du temps de concentration du bassin versant .....</b>	<b>28</b>
<b>Figure 15 : Tableau 6 – Estimation des débits de crue décennal et centennal.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure 16 - Position des profils en travers levés .....</b>	<b>29</b>
<b>Figure 17 - Coefficients de Strickler .....</b>	<b>31</b>
<b>Figure 18 : Crue Centennale – Situation 0 – Cotes maximales.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 19 - État 0 – Crue 100 ans - Ligne d'eau maxi .....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 20 : Dimensions des ouvrages modélisés.....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 21 : Comparaison des hauteurs d'eau – État 0/ solution 1 – Q100 .....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 22 : Solution 1 – Pont actuel - Crue 100 ans - Ligne d'eau maxi.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 23 – Crue Centennale – Courbe de remous pour les solutions 1, 2, 3 - Cotes maximales .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 24 : Impact de la largeur de l'ouvrage sur la ligne d'eau amont .....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 25 : Géométrie des ouvrages respectant les recommandations du SETRA .....</b>	<b>40</b>
<b>Figures 26.1 et 26.2 : Localisation du Pont du Lavoir .....</b>	<b>42</b>
<b>Figure 27 : Levé topographique du Pont du Lavoir.....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 28 : Pont du lavoir - BV intercepté.....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 29 : Pont du Lavoir – Profil altimétrique du vallat.....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 30 : Pont du Lavoir – Photo aérienne du BV intercepté .....</b>	<b>46</b>
<b>Figure 31 : Pont du Lavoir – Coefficients de ruissellement.....</b>	<b>46</b>
<b>Figure 32.1 : Pont du Lavoir – Méthode rationnelle T=10 ans.....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 32.2 : Pont du Lavoir – Méthode rationnelle T=100 ans.....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 33 : Pont du Lavoir – Calcul du débit max Ø1000.....</b>	<b>51</b>
<b>Figure 34 : Pont du Lavoir – Manning-Strickler état actuel.....</b>	<b>53</b>
<b>Figure 35 : Pont du Lavoir – Manning-Strickler situation projetée.....</b>	<b>54</b>

Le Conseil Général des Bouches du Rhône envisage la requalification de la RD7n entre le sud du hameau de Cazan (sur la Commune de Vernègues) et l'accès à Pont Royal.

Sur ce tronçon, on distingue deux ouvrages de franchissement hydraulique :

- Le Pont des Taïades, qui permet le franchissement du ruisseau des Taïades ;
- Le Pont du Lavoir qui permet le franchissement des eaux issues du bassin versant naturel amont et la continuité du fossé latéral de la RD7n.

L'état de ces ouvrages en maçonnerie de pierre, et plus particulièrement celui du pont des Taïades imposent une réflexion sur leurs éventuels reconstructions et/ou renforcements dans le cadre du projet de requalification de la voie.

L'objet de la présente étude est :

- D'analyser le fonctionnement hydraulique actuel des ouvrages,
- Dimensionner des ouvrages pour le rétablissement de ces écoulements.

# 1 SITUATION ACTUELLE

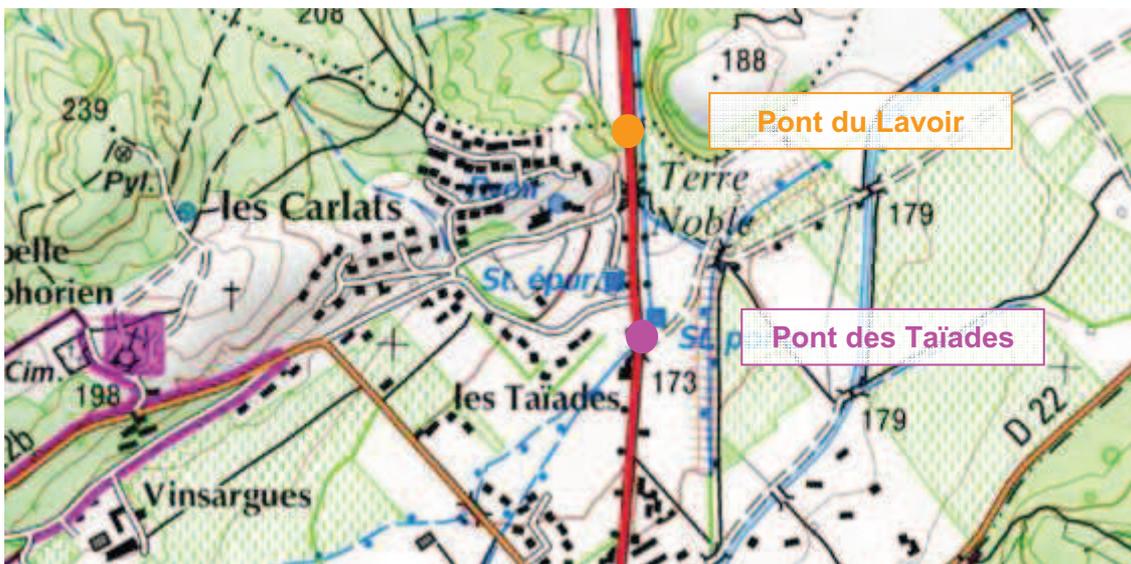
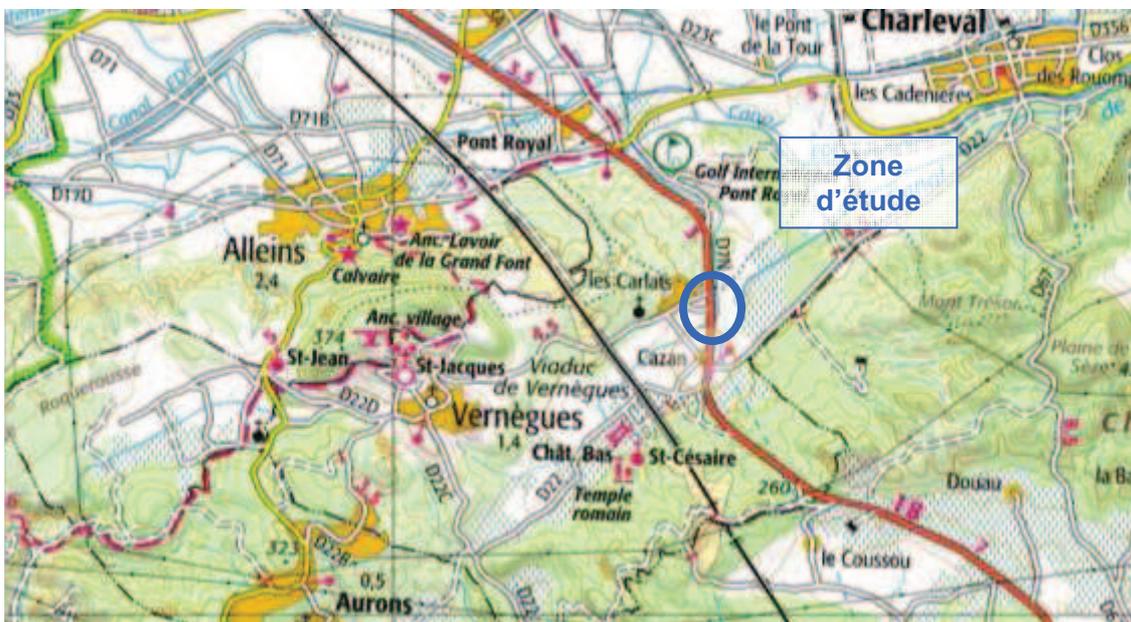
## 1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le Commune de Vernègues-Cazan est située à 33km au Nord Ouest d'Aix en Provence et à 10km à l'Est de Salon de Provence, dans le Bouches du Rhône (13).

La RD7n traverse le hameau de Cazan suivant un axe Nord-Sud.

Le Pont du lavoir est situé à la limite Nord du hameau (en limite de Commune), et le Pont des Taïades se trouve à environ 230m plus au Sud.

Figure 1.1 et 1.2 : Localisation sur fond IGN



Source : site de l'IGN - Géoportail

## 1.2 PLUVIOMETRIE

La région est sous l'influence d'un climat de type méditerranéen, avec des étés chauds, des hivers doux et des précipitations peu fréquentes mais abondantes.

Les principales caractéristiques pluviométriques, relevées à la station de Salon de Provence, sont les suivantes :

- ✓ Nombre de jours de pluie moyen annuel : 56.6 jours.
- ✓ Quantité de pluie moyenne annuelle : 579.3 mm, (période d'observation 1981-2010) avec pour la période d'observation de 2002 à 2014 un maximum de 913 mm en 2014 et un minimum de 333 mm en 2002.

Les débits de projets seront calculés par la méthode rationnelle, pour des occurrences décennales et centennales.

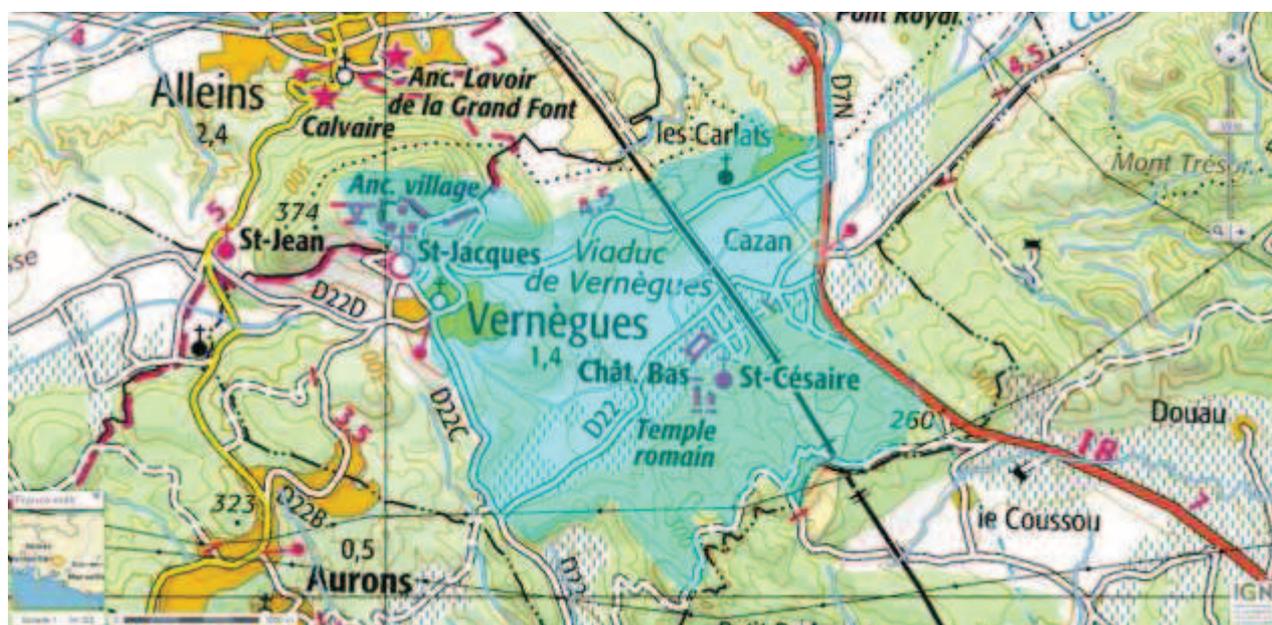
## 1.3 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

Le ruisseau des Taïades est l'exutoire naturel d'un bassin versant situé à l'Ouest de la RD7n.

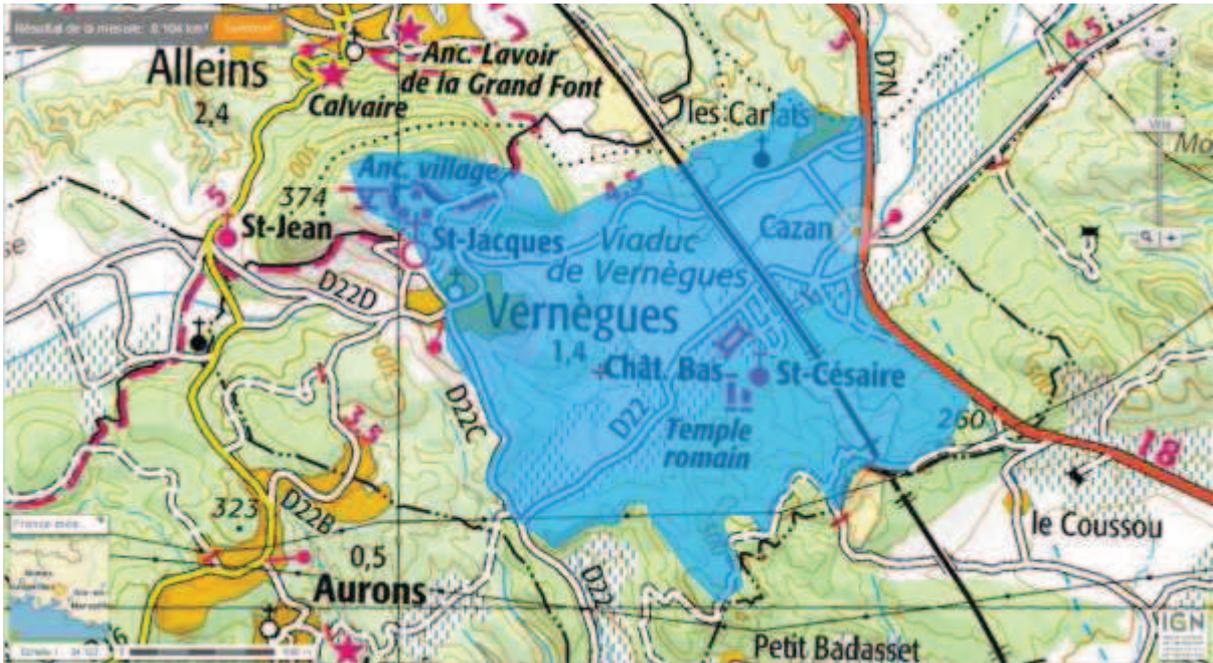
Ce bassin versant a été délimité sur la base du fond IGN, en fonction de la topographie et de l'occupation du sol (chemin et routes notamment).

Sa superficie est de l'ordre de 8.1km<sup>2</sup> (810 ha).

**Figures 2 et 3 : Bassin versant naturel du Ruisseau des Taïades à l'amont de la RD7n**



Source : site de l'IGN - Géoportail



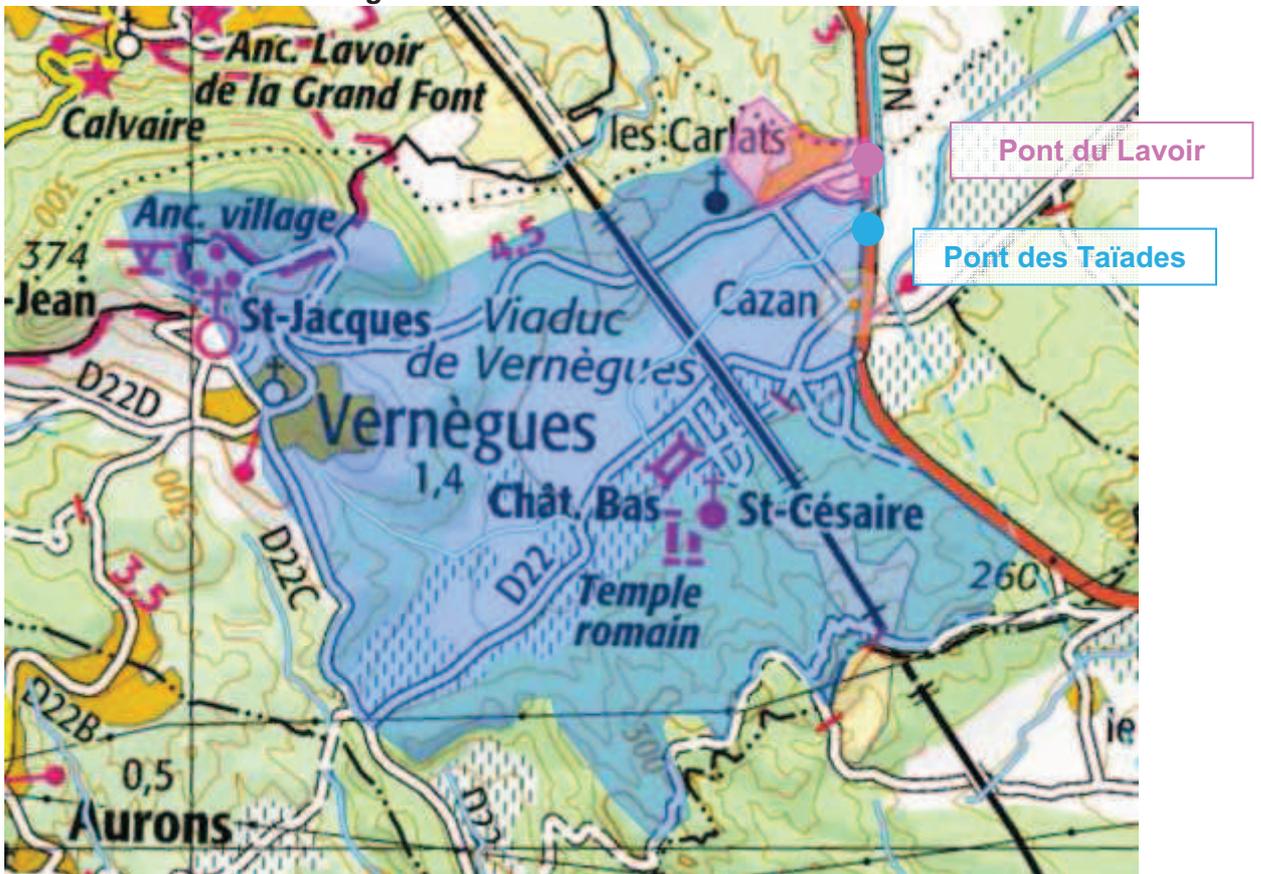
Source : site de l'IGN - Géoportail

Ce bassin versant se décompose en deux sous bassins naturels :

- Un premier sous BV dont l'exutoire est le Pont des Taïades,
- Un second sous BV dont l'exutoire est le Pont du Lavoir.

La figure suivante présente le découpage de ces sous BV.

**Figure 4 : Sous bassins versants**



Source : site de l'IGN - Géoportail

### **1.3.1 Bassin versant du Pont des Taïades :**

Le premier sous bassin versant, au Sud, est le plus important. Son exutoire est le Pont de Taïades.



**Photo 1 : Vue amont du Pont des Taïades**

Les eaux pluviales ruissellent en surface pour rejoindre le lit du ruisseau des Taïades, et franchir la RD7n au niveau du Pont des Taïades.

En cas de débordement au niveau du Pont des Taïades :

- une partie des eaux surverse vers le fossé Ouest de la RD7n, en partie par l'intermédiaire du bassin de rétention communal existant juste à côté du ruisseau,
- Ce fossé rejoint une conduite de diamètre Ø1000mm qui franchit la RD22b
- Ce Ø1000 se rejette à l'aval de la RD22b dans le fossé latéral de la RD7n pour rejoindre le Ruisseau de Taïades par l'intermédiaire du Pont du Lavoir.

**Photos 2 et 3: Vue du fossé de la RD7n entre les  
Täädades et la RD22b depuis le Sud et vue du  
Ø1000 à l'amont de la RD22b**



**Photos 4 : Vue du fossé de la RD7n entre la RD22b et le Lavoir depuis le Sud**



**Photos 5.1 et 5.2 : Vue du Ø1000 à l'aval de la RD22b**



### 1.3.2 Fonctionnement du bassin communal

L'exutoire du bassin communal, réalisé pour compenser l'imperméabilisation nouvelle induite par la création du lotissement à l'amont de celui-ci, est le fossé de la RD7n, qui s'écoule vers le Pont du Lavoir.

La vidange du bassin est assurée par une canalisation de diamètre 200mm.

D'après les informations qui nous ont été transmises par la mairie, le lotissement est raccordé au Ruisseau des Taïades à l'amont du pont.

En cas de forte pluie et d'une élévation du niveau d'eau dans le ruisseau, une canalisation Ø500mm reliant le ruisseau des Taïades au bassin de rétention permet de tamponner le volume d'eaux pluviales généré par le lotissement.

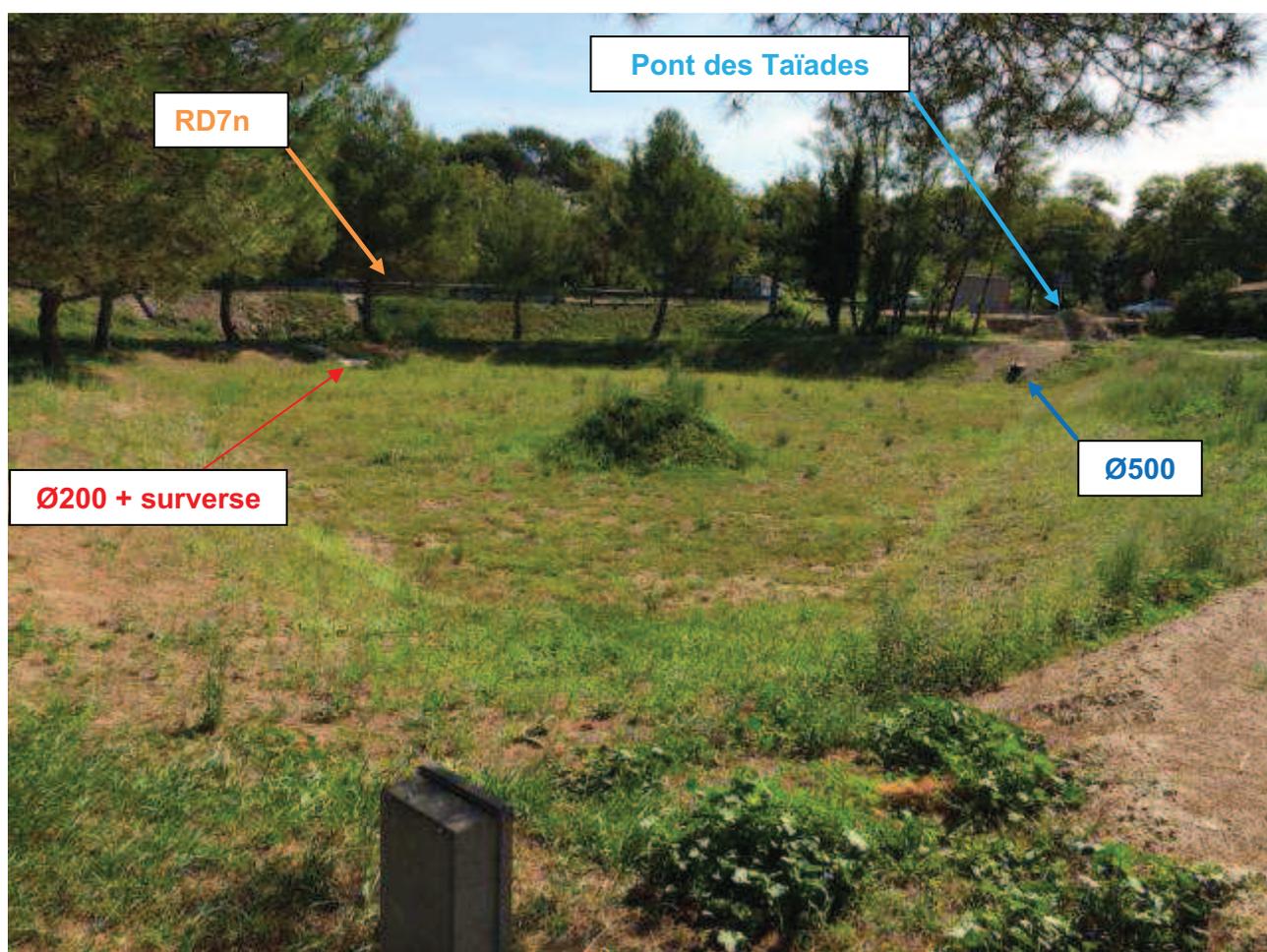


Photo 6 : Vue du bassin communal depuis le Nord Est

### 1.3.3 Bassin versant du Lavoir

Le second sous bassin, plus au Nord, représente une toute petite partie du BV total. Sa superficie est en effet de l'ordre de 2.19 ha ce qui représente environ 0.3% du bassin versant entier.

Les eaux pluviales ruissellent en surface sur le BV pour franchir la RD7n au niveau du Pont du Lavoir et rejoindre le ruisseau des Taïades de l'autre côté de la route.

D'après la topographie du site, le ruissellement se fait préférentiellement par la voûte Sud. Toutefois, dès que l'eau atteint un certain niveau (cote 169.64 NGF), elle surverse par-dessus le muret du lavoir vers la voute Nord.



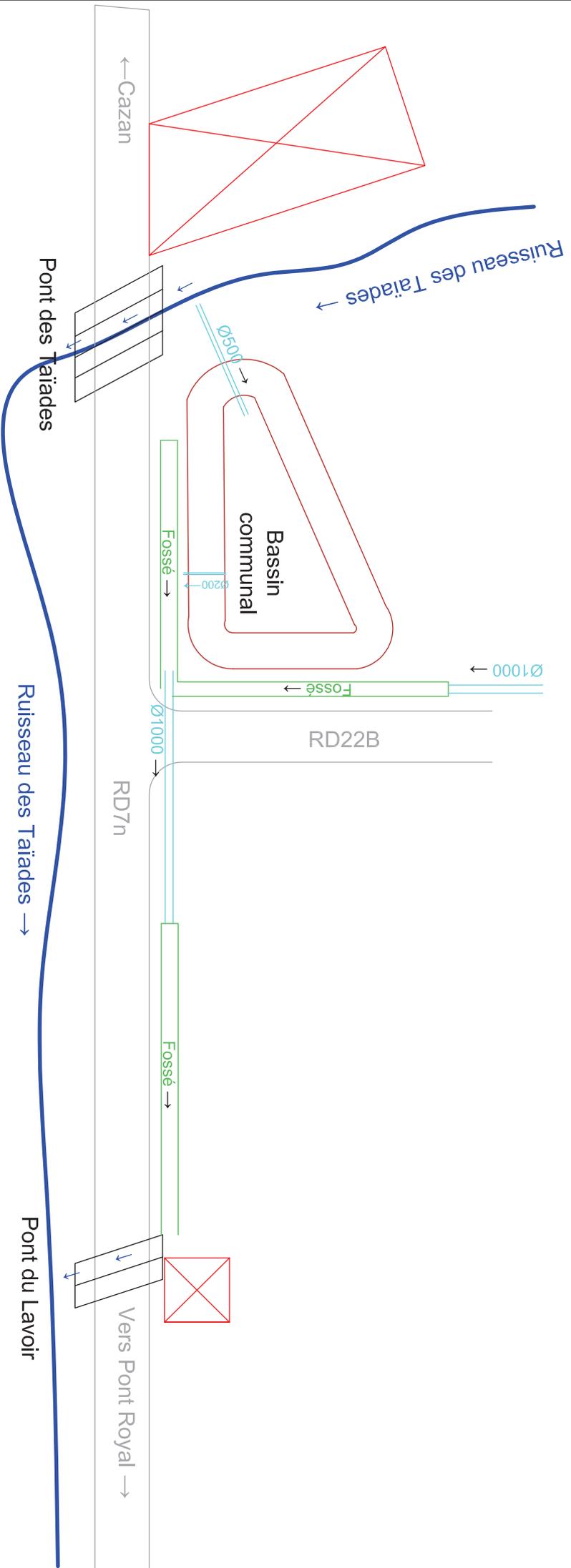
***Photo 7 : Vue amont du Pont du Lavoir***

Il récupère, en plus des eaux de ruissellement de surface, par l'intermédiaire du Ø1000 décrit ci-avant qui se prolonge en un fossé:

- une partie des eaux pluviales issues de la plateforme de la RD7n ;
- l'éventuelle surverse du ruisseau des Taïades,
- le débit de sortie du bassin communal.

Un synoptique du fonctionnement hydraulique décrit ci-avant est présenté en page suivante.

Fig.5: Schéma de principe du fonctionnement hydraulique  
Pont des Taiâdes - Pont du Lavoir



## 1.4 HYPOTHESES DE TRAVAIL

Suite à l'analyse du fonctionnement hydraulique général de la zone d'étude, nous avons choisi de prendre les hypothèses de travail les plus conservatives pour le dimensionnement des ouvrages.

Ainsi dans la suite de l'étude nous avons considéré que :

- Le Pont des Taïades devra être en mesure de faire transiter le débit centennal du ruisseau à lui seul, sans tenir compte de la surverse possible vers le Ø1000 ;
- Vu la faible superficie du sous-bassin versant du Lavoir, le bassin versant considéré pour la modélisation hydraulique du ruisseau des Taïades sera le bassin versant intégral et non le sous bassin versant présenté en figure 3.
- Le sous-bassin versant du Lavoir entrera donc dans les calculs réalisés pour le Pont du Lavoir et pour le Pont des Taïades ;
- Le débit d'apport du Ø1000 vers le Pont du Lavoir sera pris égal au débit maximum capable de la conduite.
- Nous vérifierons la capacité de transit du Pont du Lavoir pour chacune des arches de manière indépendante.

## 2 PONT DES TAÏADES

Le pont des Taïades, situé au lieu-dit « Les Taïades » à Cazan, est un ouvrage maçonné en pierres constitué de 4 arches voutées.

Il permet au ruisseau des Taïades de franchir la route départementale.

**Figure 6.1 et 6.2 : Localisation du Pont des Taïades**



Source : site de l'IGN - Géoportail

Cet ouvrage qui fait l'objet de visites de contrôle régulières, présente de nombreuses dégradations

qui rendent son remplacement indispensable à moyen terme.

## 2.1 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :

Longueur de l'ouvrage : 15.95m

Biais : 50 grades

Les arches de l'ouvrage sont numérotées de 1 à 4 depuis le Sud vers le Nord.

L'arche 1 présente les caractéristiques suivantes d'après un relevé effectué par un géomètre expert en janvier 2015 :

- Largeur amont : 4.05m
- Largeur aval : 4.00m
- Hauteur amont à l'axe : 2.41m
- Hauteur aval à l'axe : 1.71m

Les caractéristiques de l'arche 2 sont :

- Largeur amont : 4.11 m
- Largeur aval : 4.08m
- Hauteur amont à l'axe: 1.94m
- Hauteur aval à l'axe : 2.18m

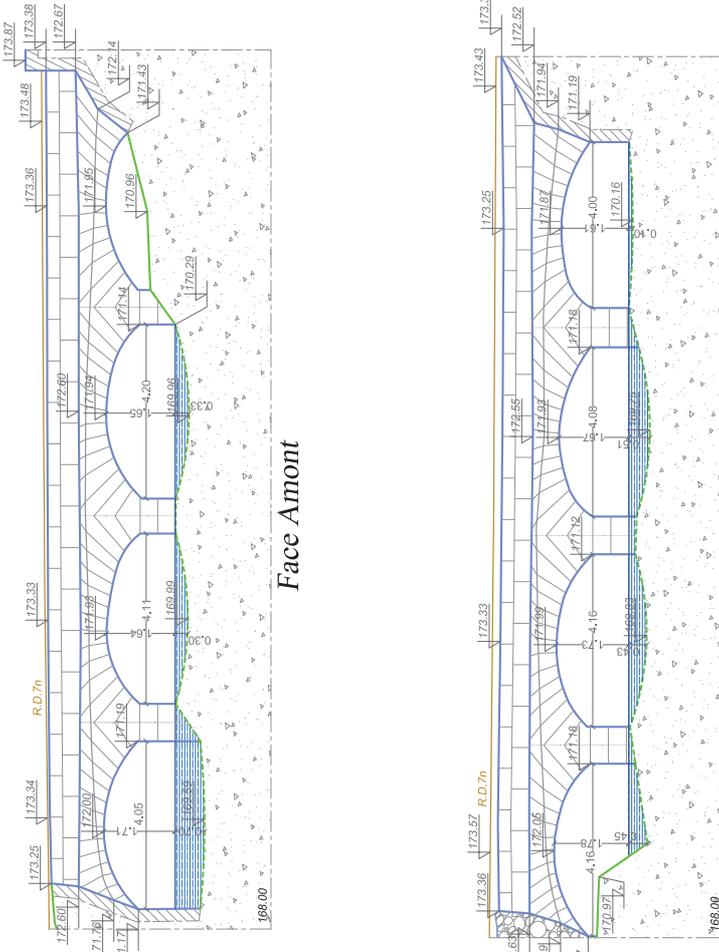
Les caractéristiques de l'arche 3 sont :

- Largeur amont : 4.20m
- Largeur aval : 4.16m
- Hauteur amont à l'axe: 1.98m
- Hauteur aval à l'axe : 2.16m

Enfin, les caractéristiques de l'arche 4, dans laquelle on a noté la présence de remblais importants, sont :

- Largeur amont : Non mesurée en raison du fort remblaiement
- Largeur aval : 4.16 m
- Hauteur amont à l'axe: 0.99 m
- Hauteur aval à l'axe : 2.23 m

Le plan établi par le géomètre expert est joint en page suivante.

<p>DEPARTEMENT</p> <p>des</p> <p>BOUCHES-DU-RHONE</p>	<p>CONSEIL GENERAL DES BOUCHES-DU-RHONE</p> <p>_____</p> <p><i>DIRECTION des ROUTES</i></p> <p>_____</p> <p>Arrondissement de l'Etang-de-Berre</p>	<p><b>Pont des Taiades</b></p>
<p>Commune de Vernègues</p> <p>_____</p> <p>R.D. 7n entre les</p> <p>PR 34+300 et PR 35+510</p> <p>_____</p> <p>Pont des Taiades</p> <p>Faces Amont et Aval</p> <p>_____</p> <p><i>Echelle: 1/100°</i></p>		<p>Face Amont</p> <p>Face Aval</p>
<p>Modifications</p> <p>Date</p>	<p>Marseille,</p> <p>Janvier 2015</p> <p>14.T.123</p>	<p><b>phototec</b></p> <p>Maurice SARFATI – Ingénieur Conseil          Géomètre-Expert DPLG – Photogrammètre          Résidence "MICHELET SAINT-JACQUES"          26, Chemin J. Aguiar 13009 MARSEILLE          Tel. : 04.91.26.27.00 Fax : 04.91.26.27.04          E-mail : ms.phototec@wanadoo.fr</p> <p>Nota : Les altitudes sont rattachées au N.G.F.</p> <p>- 14.T.123-Pont des Taiades_Faces Amont et Aval - PHOTOTEC - M. Sarfati - 13009 Marseille - Ech. : 1/100° - 01/2015 - (15.027) -</p>
<p>15.027</p>		

## 2.2 CONTENU DE L'ETUDE DU PONT DES TAÏADES

L'ouvrage d'art qu'est le Pont des Taïades drainant un bassin versant de grande superficie, la méthodologie employée et le contenu de l'étude réalisée sont détaillés ci-après.

L'étude du pont comprend donc :

- Une étude hydrologique comportant les points suivants :
  - ✓ La caractérisation du bassin versant avec la détermination des paramètres hydrologiques :
  - ✓ Les caractéristiques physiques du bassin versant déterminées par des mesures directes sur les cartes IGN : surface, pente moyenne, longueur ;
  - ✓ Les principales caractéristiques pédologiques ;
  - ✓ La couverture du sol ;
- La détermination du coefficient de ruissellement du bassin versant ;
- Le calcul du débit de pointe pour différentes occurrences : ce calcul sera réalisé par la méthode rationnelle, valable pour des bassins versants de 0 à 10 km<sup>2</sup> en façade méditerranéenne ;
- La proposition des débits de projet :
  - ✓ Débit de dimensionnement du rétablissement : ce débit sera la plus grande valeur du débit centennal et du débit de plein bord du ruisseau ;
- L'étude hydraulique du ruisseau en amont et en aval du franchissement :

Cette étude est basée sur la modélisation hydraulique du ruisseau sur un tronçon allant de la rue Gustave Carriol, 350 m environ en amont, au croisement RD7n/Chemin du Lavoir, 300 m en aval.

Cette modélisation a été réalisée à l'aide du logiciel MIKE 11 : elle fournit les conditions hydrauliques de fonctionnement du ruisseau en crue, en amont et en aval du pont.

Dans le cadre de cette étude, quatre situations ont été modélisées :

- ✓ Une situation sans pont et sans RD7n que nous qualifierons d'état zéro ;
- ✓ La situation actuelle avec le pont actuel ;
- ✓ Les situations projetées avec reconstruction d'un ouvrage neuf, envisagée pour deux solutions avec des ouvertures différentes.

L'étude s'appuie sur les documents suivants :

- ✓ Relevés topographiques de profils en travers et du profil en long du lit mineur réalisé par le cabinet PHOTOTEC en Juillet 2015 (annexe 4);
- ✓ Etude hydraulique réalisée en Avril 2001 par le CETE ;
- ✓ Les rapports d'inspection détaillée réalisée en 2000 par le CETE ;
- ✓ Relevés géométrique de l'ouvrage des Taïades en 2004 par la DDE ;
- ✓ Les PV de visites réalisées en 2014

## 2.3 DETERMINATION DES DEBITS DE POINTE DE CRUE AU DROIT DU PONT DES TAÏADES

Le calcul des débits de crue à gérer au droit de l'ouvrage de traversée a été réalisé par application de la méthode rationnelle, adaptée pour des bassins versants de taille inférieure à 100 km<sup>2</sup> : cette formule sera retenue conformément aux spécifications du Guide Technique de l'assainissement routier (SETRA-2006).

La formule rationnelle est la suivante :

$Q = C \times I \times A$  avec :

- Q = débit de pointe ;
- C = paramètre adimensionnel représentant le coefficient de ruissellement ;
- I = intensité de la pluie de projet sur la durée correspondant au temps de concentration du bassin versant ;
- A = superficie du bassin versant.

Le calcul des débits de crue nécessite de déterminer les paramètres suivants :

- Les pluviométries caractéristiques de la zone d'étude, en particulier les pluies de périodes de retour 10 et 100 ans ; la station météorologiques prises en compte pour déterminer les pluies de projet est la station METEOFRANCE de MARIGNANE ;
- Les paramètres hydrologiques du bassin versant : surface, pente et longueur du cheminement hydraulique, coefficient de ruissellement, temps de réponse hydrologique ou temps de concentration.

### 2.3.1 Définition des pluies de projet

Les pluies de projets caractéristiques ont été déterminées sur la base des données de la station de MARIGNANE fournies par METEOFRANCE. Il a été collecté les coefficients de Montana pour différentes occurrences de pluie et pour différentes durées.

Les données sont les suivantes, pour des durées inférieures à 2 heures et supérieures à 2 heures :

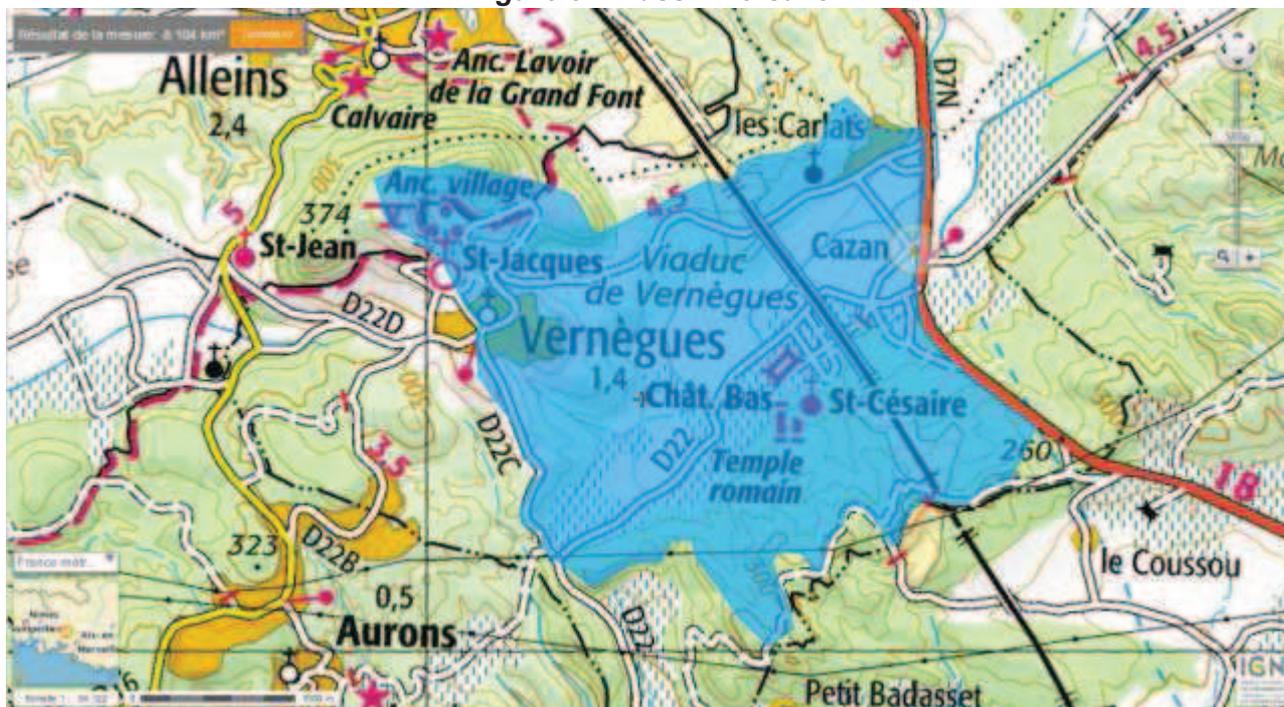
MONTANA	<= 120 mn	> 120 mn						
<b>Marignane</b>	10 ans		20 ans		50 ans		100 ans	
a	265	1 263	278	1 742	288	2 701	291	3 785
b	0,44	0,783	0,14	0,808	0,366	0,844	0,331	0,873
<b>PLUIE JOURNALIERE</b>								
P10	102	mm						
P20	117	mm						
P50	140	mm						
P100	159	mm						

Figure 7 - Tableau 1 – Pluies de projet Station METEOFRANCE de MARIGNANE

### 2.3.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant

Les limites du bassin versant du ruisseau au droit du Pont des Taïades sont reportées sur la figure suivante :

Figure 8 – Bassin versant



Source : site de l'IGN - Géoportail

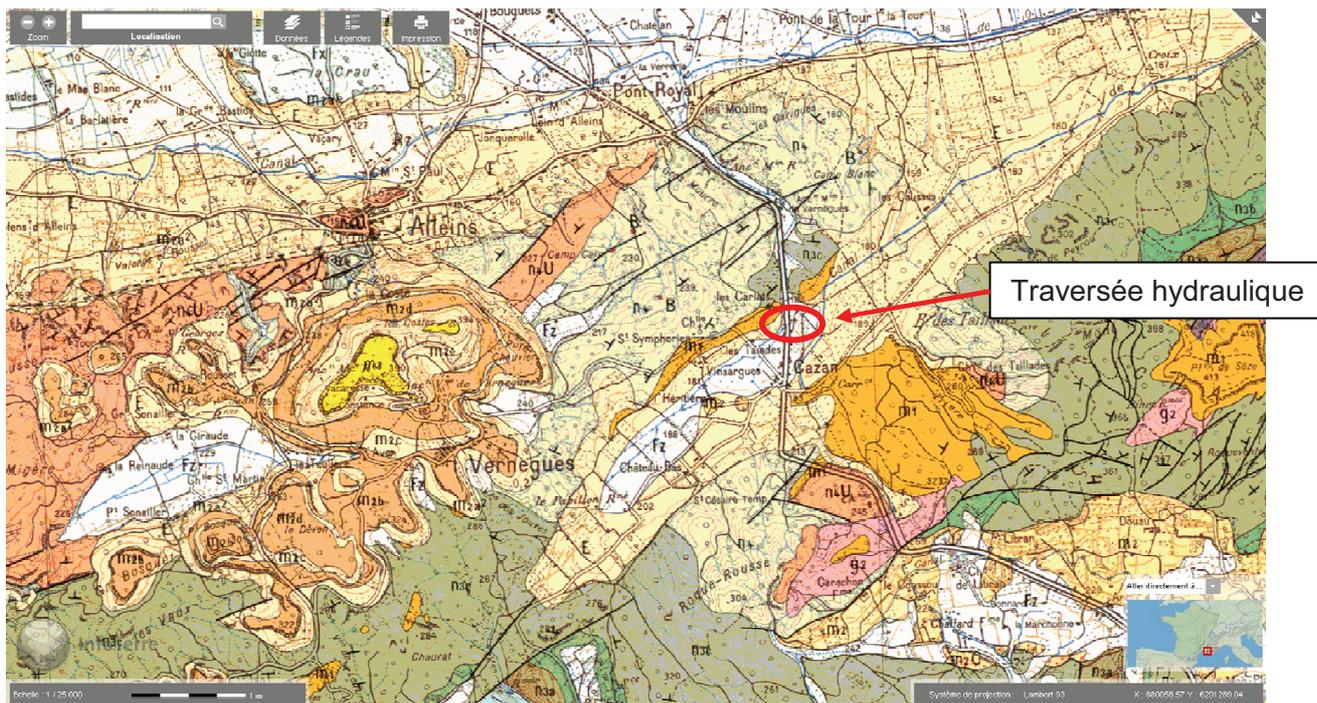
La superficie totale du bassin versant est de 810 ha.

Le bassin versant comporte deux parties distinctes et dont les caractéristiques sont illustrées par la carte topographique IGN de la figure ci-dessus et la carte géologique ci-dessous :

- Un fond de vallée, assez plat avec des pentes de 1 à 2%, reposant sur des d'alluvions modernes plus ou moins limoneux (Fz); la couverture du sol est essentiellement constituée de cultures ;
- Les coteaux, en amont du bassin versant, très pentus avec des pentes de l'ordre de 10 à 20%, recouverts de bois clairsemé ; l'extrémité occidentale du bassin versant est occupée par le bourg de VERNEGUES ; les coteaux sont constitués :
- Des éboulis constitués de limons caillouteux sur les pentes des coteaux (E) ;
- Des terrains calcaires en partie haute des coteaux.

Globalement, les surfaces identifiées sont les suivantes :

- Fond de vallée recouvert de cultures: 234 ha ;
- Coteaux recouverts de bois : 576 ha.



**Figure 9 - Géologie du bassin versant du Ruisseau des Taïades (BRGM)**

### **2.3.3 Caractéristiques hydrologiques du bassin versant**

Les paramètres hydrologiques du bassin versant, nécessaires au calcul des débits de pointe sont les suivants :

- ✓ Le coefficient de ruissellement du bassin versant ;
- ✓ Les paramètres du plus long chemin hydraulique (longueur, pente) et le temps de concentration.

### **2.3.4 Détermination du coefficient de ruissellement**

Le coefficient de ruissellement a été estimé par la méthode du SCS-CN (Curve Number) pour les pluies de projet.

#### **2.3.4.1 Présentation de la méthode**

Très employée en hydrologie pour caractériser la relation pluie-débit d'un bassin versant naturel, la méthode du SCS-CN est un modèle conceptuel qui repose sur une caractérisation empirique de la relation pluie-débit (cf « *Projet ENRHY – Synthèse bibliographique des outils d'évaluation du ruissellement* » - ONEMA Septembre 2010).

Les seules données nécessaires sont le type de sol et l'occupation du sol. Cette méthode est intégrée dans de nombreux modèles hydrologiques et d'érosion. Elle a été validée par de

nombreuses mesures, notamment au USA et est applicable pour des bassins versants de 0,25 ha à 100 km<sup>2</sup>.

Elle est basée sur l'hypothèse qu'à chaque instant, le rapport des pertes réelles sur les quantités d'eau ruisselées est égal au rapport des pertes maximales potentielles sur le ruissellement maximal potentiel :

$$\frac{P - Pe - Ia}{Pe} = \frac{S}{P - Ia}$$

avec :

- P = précipitation totale (pluie brute) ;
- Pe = pluie efficace cumulée depuis le début (ou pluie nette) ;
- Ia = perte en eau initiale via les phénomènes d'interception, d'infiltration et de stockage en surface (micro-dépressions) ;
- S= capacité maximale d'infiltration du sol correspondant à la perte maximale potentielle.

Ce qui permet d'estimer la pluie nette (pluie efficace ou le volume ruisselé) :

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Le paramètre Ia, la perte en eau initiale, s'estime par la formule :  $Ia = 0,2 \times S$ .

La capacité maximale d'infiltration dans le sol, S est estimée par la formule suivante dans laquelle CN est le Curve Number :

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

La valeur de CN, sans unité et comprise entre 0 et 100, dépend de l'occupation des sols, de leur pédologie, de leur état d'humidité, de la pente.

Plus le Curve Number est élevé, plus le ruissellement est important. Il est déterminé par croisement de l'occupation du sol et des caractéristiques pédologiques du sol (groupe hydrologique des sols) selon des tables établies par l'USDA (United States Department of Agriculture, 1986).

Tous les sols sont classés selon leur capacité à drainer l'eau verticalement. Les classes évoluent de A à D, du plus drainant au plus imperméable :

- Groupe A : Ce groupe est caractérisé par des sols qui ont un faible potentiel de ruissellement. Il comprend des sols sableux contenant une faible fraction de limon et d'argile (moins de 15%) et les loess profonds (de 75 à 150 cm) à vitesse d'infiltration de base élevée (de 7,5 à 12 mm/h) et à drainage excellent à bon ;
- Groupe B : Ce groupe est caractérisé par des sols ayant un potentiel de ruissellement relativement faible. Il comprend les sols sablolimoneux et les loess moins profonds (de 50 à 125 cm) de texture moyennement grossière à moyennement fine (donc moins bien structurés que le groupe A), à vitesse d'infiltration de base modérée (de 4 à 7,5 mm/h) et bien à moyennement bien drainés ;

- Groupe C : Les sols de ce groupe sont caractérisés par un potentiel de ruissellement assez élevé. La classe comprend les sols sablolimoneux superficiels (de 15 à 75 cm) ainsi que les limons argileux, à faible teneur en matières organiques et à haute teneur en argiles et colloïdes, de texture moyennement fine à fine. Ils contiennent souvent une couche imperméable à faible profondeur. La vitesse d'infiltration de base est relativement faible (de 1 à 4 mm/h) et le drainage modéré ;
- Groupe D : Ce groupe comprend des sols caractérisés par un potentiel de ruissellement très élevé, à teneur élevée en argiles gonflantes ou des sols superficiels (moins de 75 cm) reposant sur une couche imperméable enfouie à faible profondeur. Il inclut également certains sols salins. Ces sols sont à très faible capacité d'infiltration (moins de 1 mm/h) et à drainage très médiocre (nappe permanente à faible profondeur).

### 2.3.4.2 Coefficients retenus pour le BV des Taiades

Compte tenu du caractère limoneux des sols du bassin versant, la classe de sols qui sera retenue dans le cadre de l'étude des Taiades sera la plus pénalisante possible, soit la classe C : cette classe est généralement retenue en situation défavorable de sols et de saturabilité (pluie tombée dans les 5 jours précédents de 10 à 28 mm).

Les valeurs de CN sont les suivantes :

- ✓ Urbanisation : 80 à 85 ;
- ✓ Cultures : 75
- ✓ Forêt : 65.

Il sera retenu la valeur de 75 sur l'ensemble du bassin versant.

En conséquence, l'estimation du coefficient de ruissellement global du bassin versant pour la pluie décennale et la pluie centennale, est la suivante :

**Figure 10 : Tableau 2 – Estimation des coefficients de ruissellement - méthode SCS-CN**

PLUIE JOURNALIERE					
P10	102	mm			
P20	117	mm			
P50	140	mm			
P100	159	mm			
			10 ans sec	10 ans saturé	20 ans
			50 ans	100 ans	
Hauteur totale pluie (P)	102 mm	102 mm	117 mm	140 mm	159 mm
Coefficient répartition géographique	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
Hauteur totale pluie retenue (P)	97 mm	101 mm	116 mm	139 mm	157 mm
Coefficient CN (Curve Number)	75	75	75	75	75
Rétention maxi potentielle (S)	85 mm	85 mm	85 mm	85 mm	85 mm
Pertes initiales (Ia)	17 mm	17 mm	17 mm	17 mm	17 mm
Lame d'eau ruisselée	39 mm	42 mm	54 mm	72 mm	88 mm
Coefficient ruissellement estimé	0,40	0,41	0,46	0,52	0,56
Surface active	324,69 ha	335,86 ha	373,28 ha	419,24 ha	450,82 ha
Volume totale ruisselé	314 641 m3	339 161 m3	433 483 m3	581 003 m3	709 027 m3
Paramètres volumétriques	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20

Ainsi, le résultat obtenu est le suivant :

- ✓ Coefficient de ruissellement pour la pluie decennale sur sol saturé: 0,41 ;
- ✓ Coefficient de ruissellement pour la pluie centennale : 0,56.

Ce résultat est cohérent avec la méthode classique d'estimation des coefficient de ruissellement :

**Figure 11 : Tableau 3 – Estimation des coefficients de ruissellement – SETRA 2006**

Type de sol	Bois sur coteaux	Fond de vallée recouvert de cultures	Ensemble du bassin versant
Surface	576 ha	234 ha	810 ha
Coefficient de ruissellement (SETRA-2006)	0,3	0,5	0,36 pour pluie décennale 0,52 pour pluie centennale

### **2.3.5 Détermination du plus long chemin hydraulique et du temps de concentration**

Le temps de concentration représente le temps que met une goutte d'eau pour parcourir le plus long chemin hydraulique du bassin versant.

Il correspond au temps à partir duquel toutes les gouttes d'eau tombant et ruisselant sur le bassin versant arrivent à l'exutoire ;

Le débit de ruissellement est alors maximal.

Le calcul du temps de concentration nécessite d'identifier tout d'abord le plus long chemin hydraulique.

La figure en page suivante représente l'identification du plus long chemin hydraulique, avec son découpage en tronçons de pente uniforme.

On distingue globalement deux types d'écoulement :

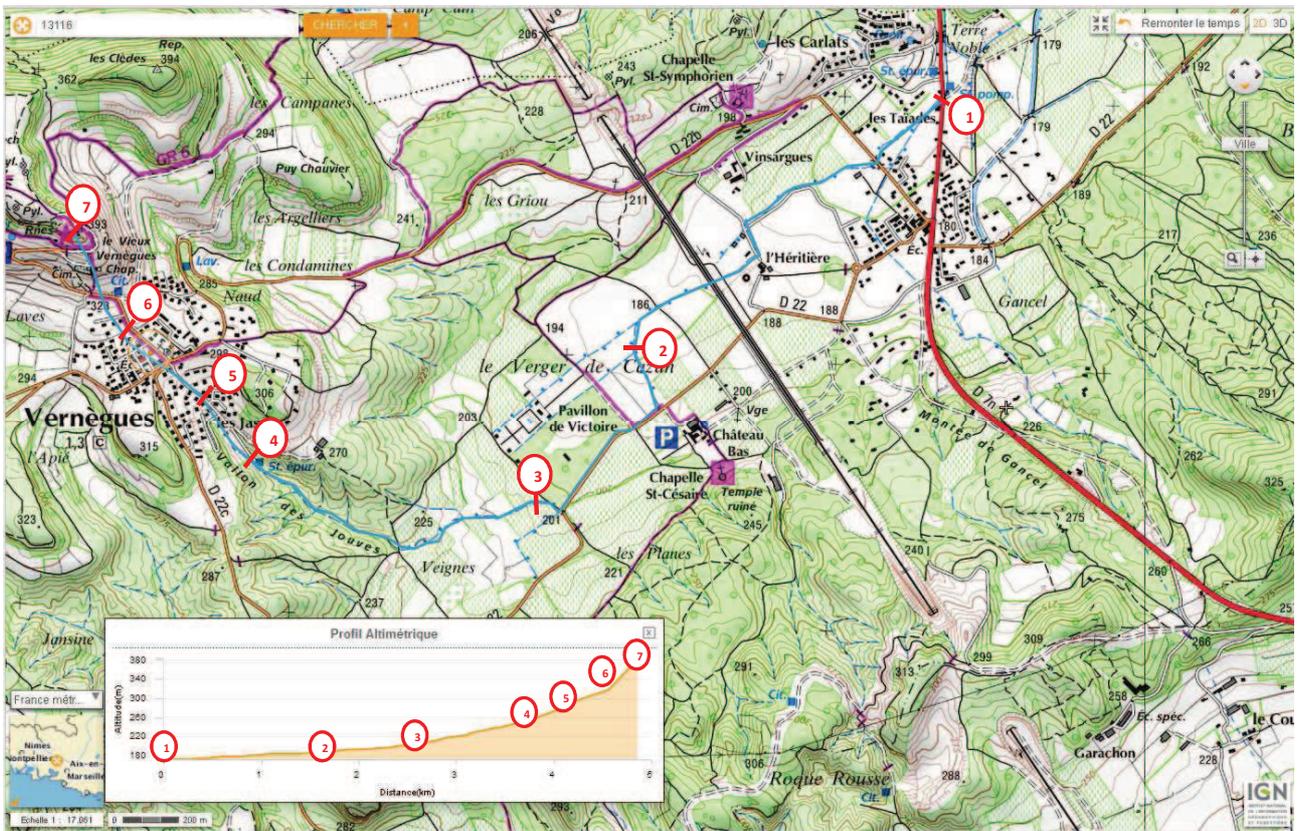
- Un écoulement diffus par ruissellement, dit en nappe, sur les coteaux amont,
- Un écoulement concentré sur la partie aval ;

Les caractéristiques des deux branches du plus long chemin hydraulique sont les suivantes :

**Figure 12 - Tableau 4 – Caractérisation du plus long chemin hydraulique**

Surface bassin versant	810 ha		
	Ecoult nappe	Ecoult conc	Global
Longueur bassin versant	1 200 ml	3 700 ml	4 900 ml
Pente moyenne	10,7800%	1,4990%	2,0923%
	107,80 mm/m	14,99 mm/m	20,92 mm/m

**Figure 13 – Identification et caractérisation du plus long chemin hydraulique**



Source : site de l'IGN - Géoportail

Il existe plusieurs formules pour estimer le temps de concentration. Le tableau suivant reprend l'estimation du temps de concentration par plusieurs formules en rappelant le domaine de validité de chacune.

Il ressort que le temps de concentration peut être estimé à partir de la moyenne des résultats des formules de Ventura et de Giandotti. Les autres formules n'ont pas été prises en compte :

- Soit parce que les caractéristiques du bassin versant ne respectent pas leur domaine de validité ;
- Soit, parce que les hypothèses de calcul ne sont pas représentatives, notamment pour la méthode SETRA : en effet, la vitesse d'écoulement dans le tronçon concentré paraît surévaluée :
  - ✓ Les simulations ont montré que la vitesse de pointe se situe plutôt autour de 1 à 1,2 m/s ;
  - ✓ Cela tient à la faiblesse de la capacité du lit mineur par rapport au débit de crue à évacuer : le lit mineur déborde assez rapidement d'où un étalement des écoulements conduisant à limiter les vitesses.

**Le temps de concentration est donc estimé à 139 minutes.**

**Figure 14 : Tableau 5 – Estimation du temps de concentration du bassin versant**

			Validité	
	Coefficient de ruissellement	0,41	Surface	Pente
Formule de Desbordes	<i>Temps de réponse</i>	44 mn		
		0,74 h		
	<i>Temps de concentration</i>	55 mn		
		0,92 h		
Formule de Kirpich	<i>Temps de concentration</i>	60 mn	0,40 ha-81 ha	3%-10%
		0,99 h		
Formule de Giandotti		128 mn		
		2,13 h		
Formule de Passini		153 mn	> 4 000 ha	
		2,55 h		
Formule de Ventura		150 mn	>1 000 ha	faible à moyenne
		2,50 h		
Formule du SCS		87 mn	>1 000 ha	faible à moyenne
		1,45 h		
Formule de Mockus	NC	80	4 ha - 1000 ha	< 1%
	<i>Rétention</i>			
	<i>Temps de concentration</i>	145 mn		
		2,41 h		
Méthode SETRA	Ecoulement en nappe			
	<i>Vitesse</i>	0,46 m/s		
	<i>Temps de concentration</i>	44 mn		
	Ecoulement concentré			
	<i>Vitesse</i>	1,84 m/s		
	<i>Temps de concentration</i>	34 mn		
	Temps de concentration global	77 mn		
<b>TEMPS DE CONCENTRATION RETENU</b>		<b>139 mn</b>		

### 2.3.6 Estimation des débits de pointe

L'estimation des débits de crue à partir de la formule rationnelle conduit aux résultats suivants :

Débit décennal	Intensité pluie i10	mm/h	26,53
	<b>Débit décennal</b>	<b>m3/s</b>	<b>24,75</b>
Débit centennal	Intensité pluie i100	mm/h	50,99
	<b>Débit centennal</b>	<b>m3/s</b>	<b>63,85</b>

**Figure 15 : Tableau 6 – Estimation des débits de crue décennal et centennal**

On retiendra les valeurs suivantes :

- Débit décennal : 25 m3/s
- Débit centennal : 64 m3/s.

## 2.4 MODELISATION DES ECOULEMENTS

Le ruisseau a été modélisé sur une longueur de 600 ml :

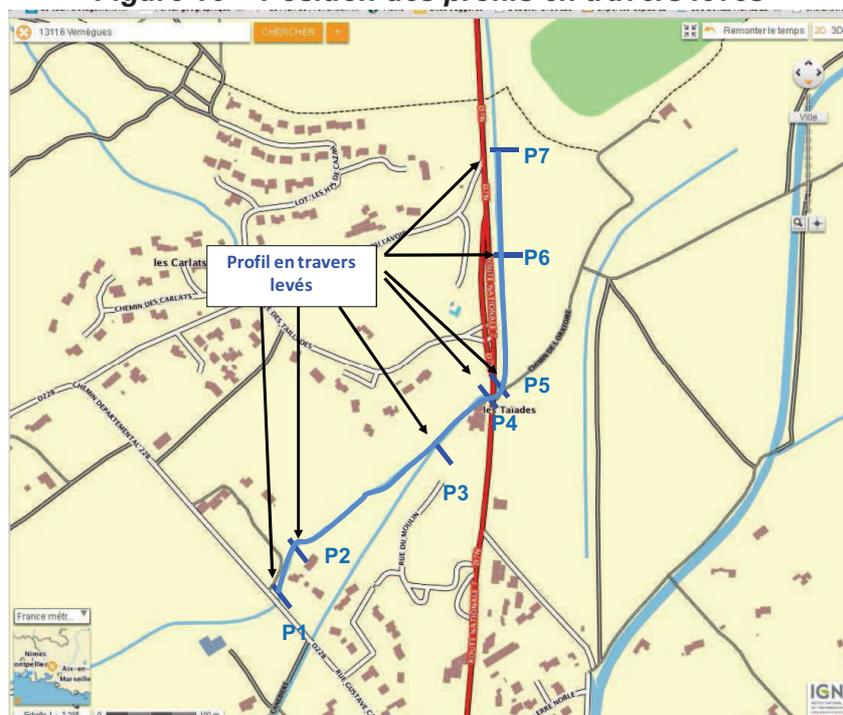
Le tronçon de ruisseau modélisé en amont du pont des Taïades s'étend sur 350 m environ jusqu'à la rue Gustave Carriol ;

Le tronçon de ruisseau modélisé en aval du pont s'étend sur 300 ml, jusqu'au croisement RD7n/Chemin du Lavoir.

Le modèle a été construit à partir des données suivantes :

- Le lit mineur du Ruisseau des Taïades est construit à partir des levés topographiques constitués de 7 profils en travers : le plan suivant localise les profils en travers.

**Figure 16 - Position des profils en travers levés**



Source : site de l'IGN - Géoportail

- les profils en travers ont été prolongés sur la base de la carte IGN pour représenter le lit majeur d'inondation ;
- le lit majeur représente une largeur variant de 140 m à 250 m suivant les profils ;

Les profils en travers utilisés dans la modélisation ont été reproduits en Annexe 2.

Quatre situations ont été simulées :

- Etat 0 : Ruisseau sans pont et sans remblai de la RD7;
- Solution 1 : cette solution correspond à la conservation du pont actuel après réhabilitation de son génie civil ;
- Solution 2.0 : Un nouveau pont avec une ouverture droite de 19 m , en remplacement du pont actuel.
- Solution 2 : Un nouveau pont avec une ouverture droite de 13,50 m , en remplacement du pont actuel
- Solution 3 : Un nouveau pont avec une ouverture droite de 12,25 m en remplacement du pont actuel

NOTA : La solution 2.0 décrite ci-avant qui est largement surdimensionnée par rapport à la situation actuelle a été écartée pour des raisons économiques en concertation avec la maître d'ouvrage lors de la présentation de l'AVP provisoire. Toutefois, pour la cohérence et la complétude de l'étude hydraulique, nous avons conservé les résultats correspondant à cet ouvrage.

#### **2.4.1 Premier examen du contexte**

L'analyse de la zone d'étude montre que le remblai de la RD constitue un barrage dans la vallée du ruisseau. De plus, selon l'étude du CETE 2001, initialement, l'écoulement des eaux en crue du ruisseau sous la digue de la RD se faisant à travers deux passages, le pont des Taïades et le pont du Lavoir.

Des travaux de voirie ont modifié la connexion du ruisseau avec le Pont du Lavoir, ce qui a eu pour effet de concentrer les écoulements vers le pont des Taïades, celui-ci n'étant plus relié au pont du Lavoir que par un Ø1000mm en cas de débordement (voir §1.3).

Aussi, les simulations ne prendront en compte qu'un seul exutoire pour le bassin versant, le pont des Taïades, et considéreront l'ensemble du BV (cf. §1.4).

#### **2.4.2 Hypothèses de modélisation**

##### **2.4.2.1 Hypothèses de rugosité**

Il a été pris en compte un coefficient de Strickler, traduisant la rugosité des parois et du fond du lit mineur et du lit majeur, égal à 35 dans le lit mineur et de 10 dans le lit majeur.

Le tableau suivant reproduit les valeurs usuelles de coefficient de Strickler préconisées (*Mémento hydraulique DEGOUTTE*):

Nature des parois	Valeur de $K$ en $m^{1/3}/s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

**Figure 17 - Coefficients de Strickler**

Dans le cas de la présente étude, le ruisseau présente des parois rugueuses avec un peu de végétation : on retiendra la valeur minimale de 35 (dans la fourchette 35-40).

Le lit majeur est occupé par des cultures et plantations (vignes,...), doù la valeur minimale de 10 (dans la fourchette 10-15).

#### **2.4.2.2 Conditions aux limites du modèle**

Les conditions aux limites du modèle sont les suivantes :

- Condition à la limite amont du modèle: un débit constant correspondant au débit de crue centennale est injecté dans le modèle au droit du premier point de calcul en amont du modèle ;
- Condition aval : il a été pris en compte un écoulement libre à travers la section du dernier profil en travers du modèle (Profil P7) : la loi hauteur/débit est calculée automatiquement par le modèle .

#### **2.4.3 Résultats de la simulation de la situation sans pont ni remblai – Etat 0 – Crue centennale**

Les résultats de la simulation de l'Etat 0 sont présentés dans le tableau suivant.

Les cotes maximales d'inondation sont portées sur les profils en travers en annexe 2.

L'étendue du champ d'inondation dans la zone modélisée est portée en Annexe 3.

La figure de la page suivante indique le profil en long de la ligne d'eau maximale.

Le tableau suivant reprend les niveaux d'eau maximaux obtenus :

Profil	Distance par rapport au pont mètres	Cote de berge actuelle		Cote maximale m NGF	
		Rive gauche m NGF	Rive droite m NGF		
P1	-337	175,18	174,71	175,25	
P2	-273	173,88	174,4	174,4	
P3	-89	172,69	173,01	173,12	
P4	0	172,39	173,45	172,32	Rive droite = Chaussée RD7
P5	89	173	171,06	171,61	Rive gauche = Chaussée RD7
P6	158	172,09	170	171,08	Rive gauche = Chaussée RD7
P7	256	171,31	169,51	170,16	Rive gauche = Chaussée RD7

**Figure 18 : Crue Centennale – Situation 0 – Cotes maximales**

Le tableau montre que le ruisseau déborde sur toute la zone modélisée les hauteurs de débordement par rapport aux berges peuvent être caractérisées comme suit :

En amont de la digue de la RD :

- les débordements concernent surtout la rive gauche avec des hauteurs de débordement de 50 cm ;
- toutefois, les zones habitées en rive droite au droit des profils P1 et P3 sont également concernées par les débordements ; en particulier, la cour anglaise de l'habitation située à proximité du profil P3 se trouve sous 10cm d'eau d'après le modèle.

en aval de la digue de la RD :

- les hauteurs de débordement atteignent plus de 1 m par rapport à la berge naturelle.

Le nombre de Froude reste compris entre 0,5 et 0,6, tout au long du profil en long ce qui traduit un écoulement de type fluvial, c'est-à-dire sous influence des conditions en aval.

L'Etat 0, correspondant à un état morphologique naturel sans remblai ni pont, montre que le ruisseau ne peut évacuer sans débordement la crue centennale : la figure de l'Annexe 3 indique le champ d'inondation et montre que plusieurs habitations sont inondées.

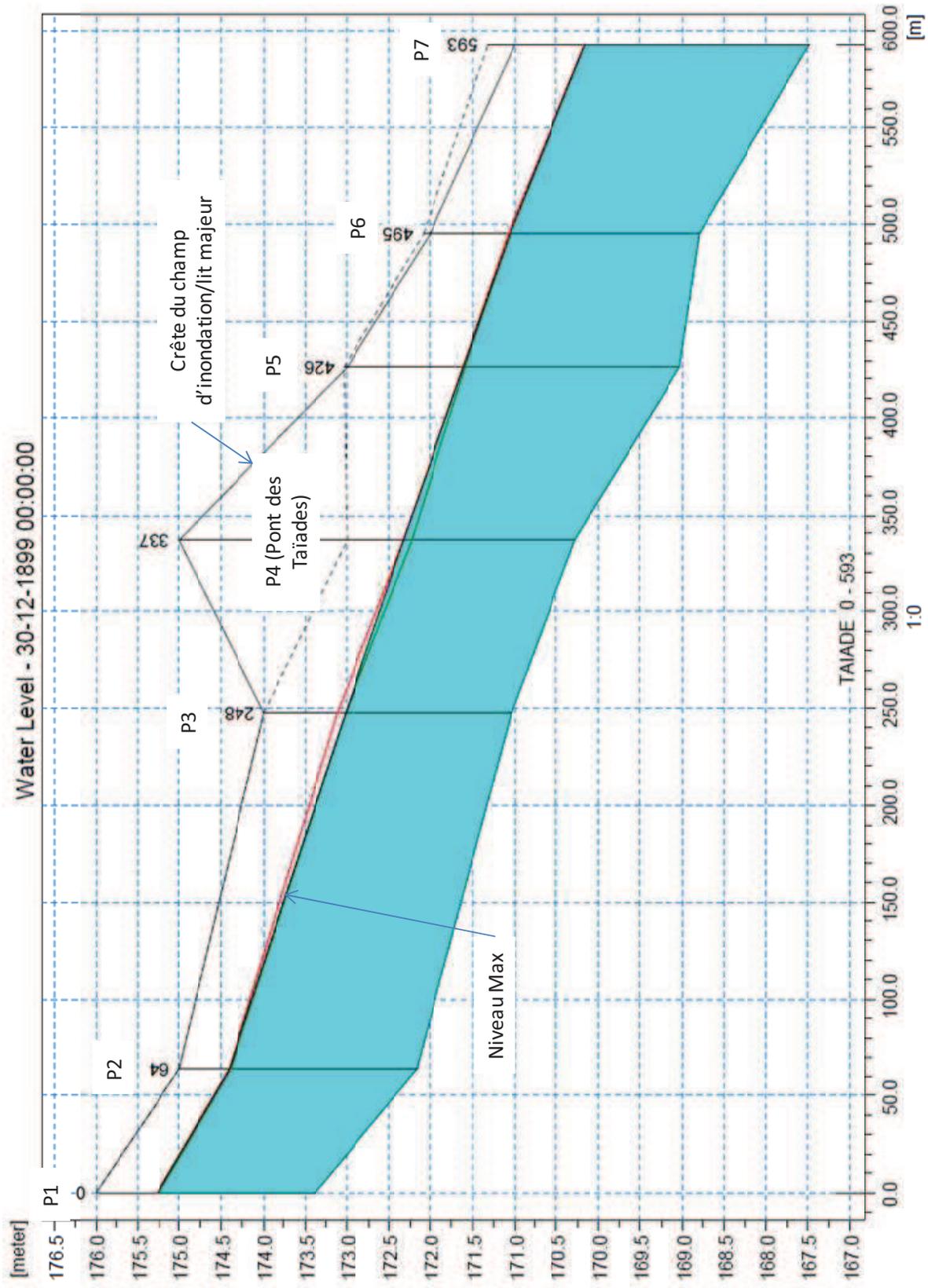


Figure 19 - État 0 – Crue 100 ans - Ligne d'eau maxi

## 2.4.4 Détermination de l'effet des ouvrages sur l'écoulement des crues

### 2.4.4.1 Méthodologie

L'analyse de l'incidence des ouvrages de franchissement sur les écoulements de la crue centennale du ruisseau des Taïades est faite en deux étapes :

Dans un premier temps, il a été procédé à un calcul hydraulique du pont selon la méthodologie du SETRA (guide de l'assainissement routier – 2006). L'objet de ce calcul est de définir les conditions hydrauliques à l'intérieur des ponts.

Le guide SETRA préconise de respecter les conditions suivantes :

- Observer un régime hydraulique stable (fluvial ou torrentiel),
- Disposer d'un tirant d'air suffisant à l'intérieur de l'ouvrage,
- Respecter une vitesse maximale d'écoulement de 5 m/s ;
- Calculer la perte de charge engendrée par l'ouvrage ;

Ensuite, l'ouvrage est simulé dans le modèle hydraulique : les coefficients de perte de charge du modèle sont ajustés pour retrouver la perte de charge calculée par la méthode SETRA (calage du modèle); la modélisation permet de calculer la courbe de remous en amont de l'ouvrage.

### 2.4.4.2 Caractéristiques des ponts

Les caractéristiques des trois solutions de ponts modélisées pour le rétablissement des écoulements sont les suivantes :

	Solution 1 - Pont actuel	Solution 2.0 – Pont large	Solution 2 – Pont largeur moyenne	Solution 3 – Pont étroit
Constitution	4 arches	3 sections	3 sections	2 sections
Largeur libre	4 x 2,95 m = 12 m	3 x 6,35 m = 19 m	3 x 4,50 m = 13,5 m	2 x 6,12 m = 12,24 m
Hauteur libre	1,10 m	2,60 m	3,50 m	3,15 m
Cote du fil d'eau	170 m NGF	169,80 m NGF	169,80 m NGF	169,75 m NGF
Longueur	16 m environ			

**Figure 20 : Dimensions des ouvrages modélisés**

### **2.4.4.3 Détermination de l'hydraulique à l'intérieur des ponts (calcul SETRA)**

Cette étape permet de calculer les pertes de charges liées à la géométrie de l'ouvrage afin de caler le modèle hydraulique.

Les résultats du calcul SETRA pour les solutions extrêmes à savoir 2.0 et 3 sont présentés en Annexe 4.

Ces résultats montrent que :

- ✓ Le pont actuel fonctionne en charge, c'est pourquoi, la feuille de calcul n'a pas été fournie ;
- ✓ Les deux autres solutions respectent les conditions hydrauliques requises :
  - Régime fluvial stable, compatible avec le régime hydraulique fluvial dans le ruisseau (d'où absence de ressaut hydraulique préjudiciable à la pérennité des ouvrages) ;
  - Hauteur d'écoulement permettant un tirant d'air ;
  - Vitesse d'écoulement conforme ne dépassant pas 3 m/s ;
- ✓ Afin de calculer la perte de charge induite par l'entonnement dans l'ouvrage, il a été considéré une hauteur d'eau dans le ruisseau de l'ordre de 1,90 m correspondant à la profondeur de ce dernier : cette hauteur étant plus importante que les hauteurs normales dans l'ouvrage, les vitesses deviennent plus faibles. Les résultats conduisent à des pertes de charge de 27 à 66 cm. Ces pertes de charge sont en partie annulées par le niveau aval dans le ruisseau, supérieur au niveau normal dans l'ouvrage.
- ✓ Enfin, les valeurs indiquées dans les feuilles de calcul de l'Annexe 4 pour les cotes altimétriques ne sont pas les valeurs réelles en NGF. Nous avons simplement indiqué de valeurs correspondant à la dénivellation des ouvrages pour réaliser les calculs. Les ouvrages seront recalés après la simulation de leur impact et la prise en compte de la cote réelle du niveau d'eau dans le ruisseau en aval de ces ouvrages.

Le calcul par cette méthode nous indique que :

- Pour la solution 2.0, la hauteur normale permettant le transit de Q100 s'élève à 1.26m soit un NPHE ainsi calculé de 171.06 NGF ;
- Pour la solution 3, la hauteur normale permettant le transit de Q100 s'élève à 1.72m soit un NPHE ainsi calculé de 171.47 NGF.

#### 2.4.4.4 Comparaison état 0 / état actuel (solution 1) – Crue centennale

Afin de connaître l'impact de l'ouvrage actuel sur les écoulements naturels, nous avons comparé pour Q100, les niveaux d'eau à chaque profil.

Les cotes maximales et l'élévation de la ligne d'eau sont présentées dans le tableau ci-après :

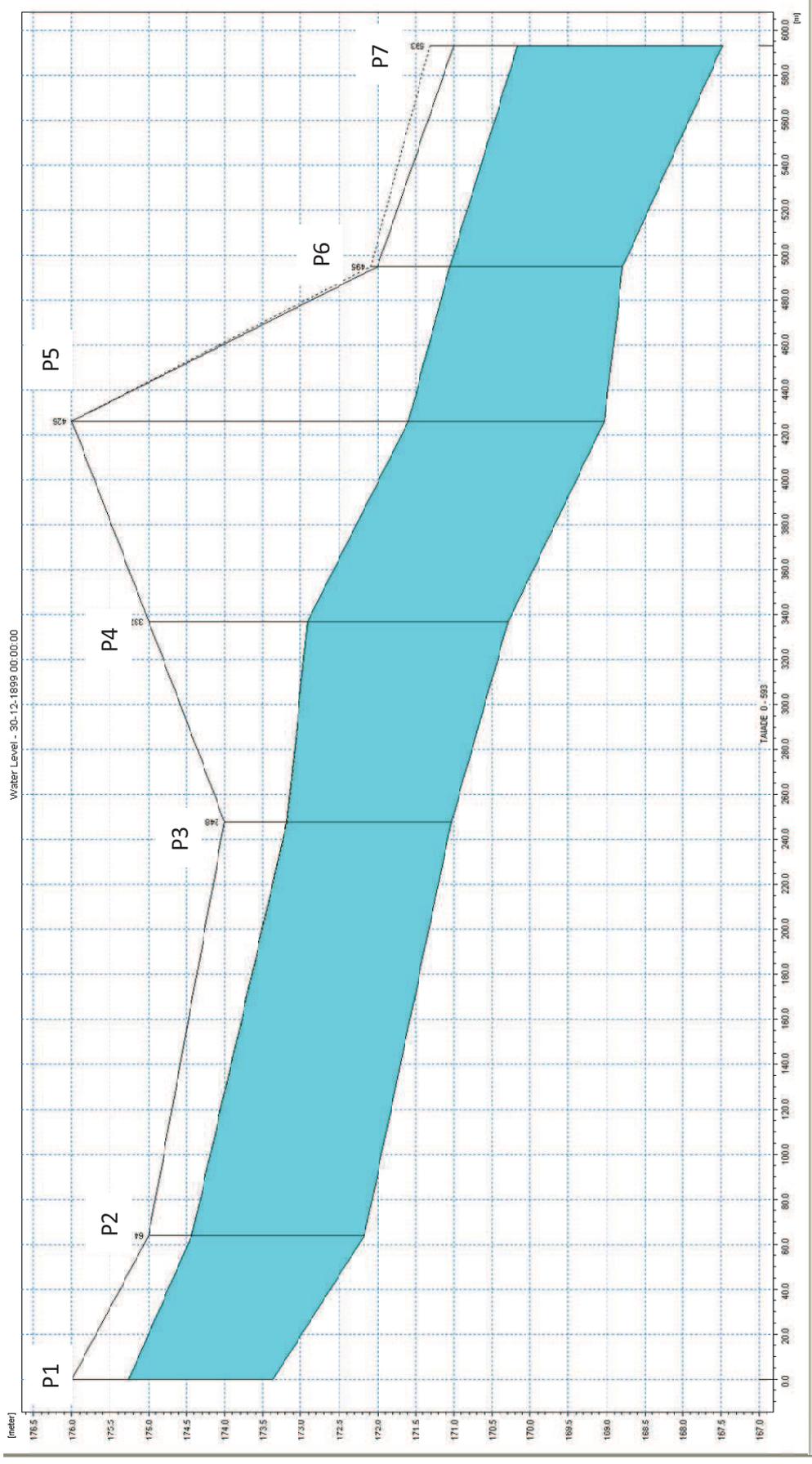
Profil	Distance (m) amont/RN	Sans pont	Solution 1 - Pont actuel Cote intrados = 171 m NGF	
		Cote maxi	Cote maxi	remous (m)
P1	-337	175,25	175,26	0,01
P2	-273	174,4	174,44	0,04
P3	-89	173,12	173,25	0,13
P4 amont Pont	0	172,32	172,98	0,66
Aval Pont	0	172,32	172,28	-0,04
P5	89	171,61	171,61	0
P6	158	171,08	171,05	-0,03
P7	256	170,16	170,16	0

**Figure 21 : Comparaison des hauteurs d'eau – État 0/ solution 1 – Q100**

Il en ressort que, en comparaison avec l'état initial :

- ✓ L'incidence est nulle en aval, ce qui est cohérent avec le caractère fluvial du régime hydraulique dans le ruisseau ;
- ✓ L'élévation de la ligne d'eau s'étend jusqu'au profil P1 ; le profil en long est reproduit à la page suivante ;
- ✓ Le niveau d'eau dans la cour anglaise de l'habitation au droit du profil P3 se trouve sous 23cm d'eau (soit +13cm par rapport à l'état 0) ; Rappelons toutefois que la construction des habitations concernées est postérieure à la construction du pont et qu'à l'état 0, la zone se trouve sous 10cm d'eau
- ✓ Le niveau d'eau maximal en amont du pont de la RD, de l'ordre de 172,98 m NGF se situe qà 30 cm sous le niveau de l'accotement de la RD (à la cote 173,30 m NGF en moyenne) ;
- ✓ En crue, l'ouvrage est noyé par l'aval (cote du niveau d'eau = 172,28 m NGF > cote intrados = 171,10 m NGF environ) ; de plus, sa section ne permet pas d'évacuer à surface libre le débit centennal ; ce fonctionnement en charge peut être préjudiciable à sa stabilité ;

**Au regard de l'analyse du fonctionnement actuel, la solution qui consiste à renforcer l'ouvrage en place devra intégrer un principe structurel permettant de s'affranchir de la structure actuelle de l'ouvrage. L'ouvrage devra en effet être indépendant du pont en moëllons. Par ailleurs, si cette solution est retenue, nous préconisons la mise en place d'un dispositif de protection du talus routier (enrochements, gabions) et un entretien soigné de la transparence hydraulique existant sous la RD22B.**



**Figure 22 : Solution 1 – Pont actuel - Crue 100 ans - Ligne d'eau maxi**

### 2.4.4.5 Résultats de la simulation avec un nouveau pont (solutions 2 et 3) – Crue centennale

Les résultats des simulations des trois solutions sont repris dans le tableau suivant. Les solutions 2.0, 2 et 3 sont comparées à la solution 1 qui traduit la situation actuelle.

Les niveaux d'eau maximum à chaque profil et l'élévation de la ligne d'eau par rapport à la situation actuelle sont reportés dans ce tableau :

	Sans pont	Solution 1 - Pont actuel Cote intrados = 171 m NGF	Solution 2.0 - nouveau pont (19 m d'ouverture)	Solution 2 - nouveau pont (13,5 m d'ouverture)	Solution 3 - Nouveau Pont (12 m d'ouverture)				
	Cote Radier	170 NGF	169,8 NGF	169,8	169,75 NGF				
Profil	Distance (m) amont/RN	Cote maxi	Cote maxi	Cote maxi	remous/ Solution 1 (m)	Cote maxi	remous/ Solution 1 (m)	Cote maxi	remous/ Solution 1 (m)
P1	-337	175,25	175,26	175,25	-0,01	175,26	0	175,26	0
P2	-273	174,4	174,44	174,41	-0,03	174,42	-0,02	174,43	-0,01
P3	-89	173,12	173,25	173,05	-0,2	173,11	-0,14	173,21	-0,04
P4 amont Pont	0	172,32	172,98	172,44	-0,54	172,62	-0,36	172,87	-0,11
Aval Pont	0	172,32	172,28	172,26	-0,02	172,26	-0,02	172,26	-0,02
P5	89	171,61	171,61	171,61	0	171,61	0	171,61	0
P6	158	171,08	171,05	171,05	0	171,05	0	171,05	0
P7	256	170,16	170,16	170,16	0	170,16	0	170,16	0

**Figure 23 – Crue Centennale – Courbe de remous pour les solutions 1, 2, 3 - Cotes maximales**

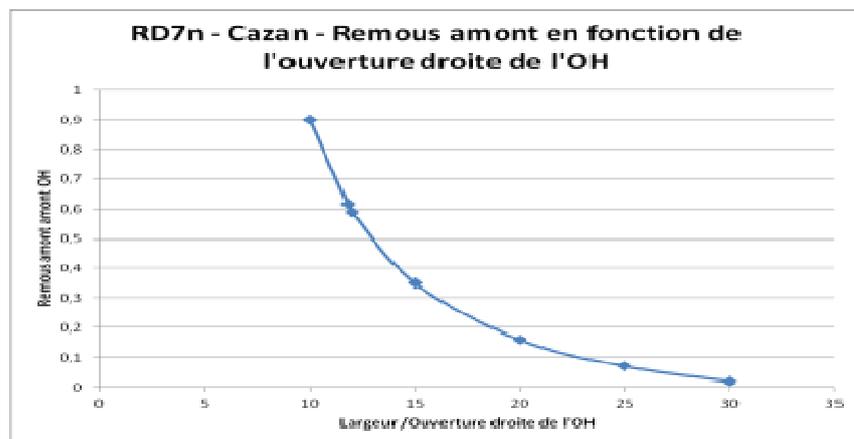
Au regard de ces résultats, les conclusions suivantes peuvent être faites :

- Toutes les solutions génèrent une courbe de remous en amont par rapport à l'Etat 0 ; par contre, l'incidence est nulle en aval, ce qui est cohérent avec le caractère fluvial du régime hydraulique dans le ruisseau ;
- Les solutions 2.0, 2 et 3, qui consistent à augmenter la section d'écoulement du franchissement de la RD7n améliorent la situation actuelle.
- Pour la solution 2 (pont de 13.50 m d'ouverture)
  - o Elle présente une amélioration importante par rapport à la situation actuelle en réduisant de 36 cm l'élévation de la ligne d'eau à l'amont du pont.
  - o Par ailleurs, cette solution se rapproche le plus de l'état 0 ; l'impact de l'ouvrage sur la courbe de remous se limitant à environ 90ml à l'amont.
  - o Elle permet de faire baisser le niveau d'eau dans la cour anglaise de l'habitation au droit du profil P3 de 14cm par rapport à l'état actuel (solution 1) portant ce niveau à 9cm.
  - o L'écoulement de la crue sous le pont respecte toutes les conditions du guide SETRA ; Rappelons que la section d'écoulement est suffisante pour évacuer la crue centennale ;

- En crue, le niveau du ruisseau en aval du pont s'élève à 172,26 m NGF. Celui-ci est supérieur à la hauteur normale calculée précédemment.
  - Ce niveau ne crée pas de mise en charge de l'ouvrage puisqu'il est inférieur à la cote de l'intrados (172,85 m NGF) : le tirant d'air disponible est de 59 cm ; le guide SETRA préconise un tirant d'air minimal de 20 à 25% de la hauteur de l'ouvrage; un ouvrage de 3.05m de haut nous donne un tirant d'air de 19.3%.
- Pour la solution 3 (nouveau pont de 12 m d'ouverture)
- Elle présente une légère amélioration par rapport à la situation actuelle en abaissant de 11cm la ligne d'eau à l'amont,
  - Il présente un impact presque similaire à l'état actuel par rapport à l'état 0 avec une courbe de remous qui remonte jusqu'au profil P1, 300m en amont ;
  - Elle permet de faire baisser de 4cm le niveau d'eau dans la cour anglaise de l'habitation au droit du profil P3 par rapport à l'état actuel (solution 1), soit un niveau de 19cm.
  - En crue, le niveau du ruisseau en aval du pont (172,26 m NGF) ne crée pas de mise en charge de l'ouvrage puisqu'il est inférieur à la cote de l'intrados (172,90 m NGF) : le tirant d'air disponible est de 64 cm, soit 20% de la hauteur de l'ouvrage, ce qui permet de respecter les préconisations du guide SETRA.

Il a été dressé une courbe montrant l'impact de l'ouverture du pont sur le remous amont par rapport à l'état 0.

Un ouvrage de 25m permettrait d'avoir une élévation inférieure à 10cm, et il faudrait un ouvrage de largeur 30m pour rétablir l'état 0. Cette courbe montre également que l'écart entre l'effet d'un ouvrage de 10m et celui d'un ouvrage de 20m est très important.



**Figure 24 : Impact de la largeur de l'ouvrage sur la ligne d'eau amont**

A l'issue de la modélisation, nous avons calculé la hauteur libre permettant aux ouvrages hydrauliques des solutions 2 et 3 de respecter les spécifications du guide SETRA.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

	<b>Solution 2</b>	<b>Solution 3</b>	
<b>Cote niveau Eau en crue en amont de l'OH</b>	<b>172,62 m NGF</b>	<b>172,87 m NGF</b>	
<b>Cote niveau Eau en crue en aval de l'OH</b>	<b>172,26 m NGF</b>	<b>172,26 m NGF</b>	
<b>Cote fil d'eau OH</b>	<b>169,80 m NGF</b>	<b>169,75 m NGF</b>	
Hauteur d'eau en aval OH	2,46 m	2,51 m	
Hauteur d'eau normale dans l'OH		1,72 m	
Hauteur d'eau retenue dans l'OH	2,46 m	2,51 m	
Hauteur de l'OH préconisée	3,07 m	3,14 m	
Hauteur de l'OH projet	3,05 m	3,15 m	
<b>Hauteur de l'OH retenue</b>	<b>3,05 m</b>	<b>3,15 m</b>	
<b>Cote intrados supérieure</b>	<b>172,85m NGF</b>	<b>172,90 m NGF</b>	
<b>Taux de remplissage</b>	<b>80,07%</b>	<b>79,68%</b>	Maxi = 75 à 80%
<b>Mise en charge amont</b>	<b>non</b>	<b>non</b>	

**Figure 25 : Géométrie des ouvrages respectant les recommandations du SETRA**

Les trois solutions permettent de passer la crue centennale sans mise en charge de l'ouvrage hydraulique, aussi bien en amont qu'en aval : la solution 3 ne présente qu'une faible marge en amont de 3 cm.

Le calage permet de passer la crue centennale sans mise en charge amont pour les trois solutions 2.0, 2 et 3.

La solution 2 représente un bon compromis offrant une amélioration par rapport à la situation actuelle tout en étant plus raisonnable économiquement.

Cette solution minimise l'impact sur la ligne d'eau amont avec un abaissement de la ligne d'eau de 36cm à l'amont de l'ouvrage par rapport à la situation actuelle..

Par ailleurs elle améliore fortement la situation actuelle en réduisant les inondations. On constate notamment une baisse de 14cm du plan d'eau centennal au droit du profil P3 avec une submersion résiduelle de 9cm.

Elle permet même de retrouver la situation Etat 0 (sans pont ni remblai) au bout de 90m en amont.

Cette solution permet de passer sans mise en charge la crue centennale et génère une cote d'eau maximale en amont égale à 172,62 NGF

## 2.5 CONCLUSIONS

La modélisation de l'Etat 0 montre que des habitations se sont implantées dans le lit majeur naturel du Ruisseau des Taïades, le caractère inondable de ces zones est donc pré-existant ;

La création de la RD7n a accentué les débordements à l'amont du pont ;

L'ouvrage actuel est sous dimensionné par rapport à la crue centennale, il engendre une élévation du niveau d'eau à l'amont et fonctionne en charge, se retrouvant noyé à l'aval : **la solution 1 d'un renforcement de l'ouvrage existant ne modifiera pas cette situation**

**La solution 2 qui consiste à créer un nouvel ouvrage de largeur de passage de 13.50m en cadres est la plus favorable.** Elle offre une nette amélioration par rapport à la situation actuelle en abaissant la ligne d'eau amont de plus de 35cm et permet le transit du débit centennal en écoulement à surface libre.

Les dimensions à respecter pour la solution 2 telle que modélisée sont :

Cote Fe : 169.80 NGF maxi  
NPHE Q<sub>100</sub> : 172.26 NGF  
Largeur libre : 13.50 m  
Hauteur libre : 3.05 m

**La solution 3 qui consiste à créer un nouvel ouvrage plus réduit que dans la solution 2 avec une largeur de passage de 12.25m, permet d'améliorer un peu la situation actuelle.** La ligne d'eau amont s'abaisse de 11cm et l'ouvrage envisagé permet le transit du débit centennal en écoulement à surface libre.

Les dimensions à respecter pour la solution 3 telle que modélisée sont :

Cote Fe : 169.75 NGF maxi  
NPHE Q<sub>100</sub> : 172.26 NGF  
Largeur libre : 12.25 m  
Hauteur libre : 3.15 m

### 3 PONT DU LAVOIR

Le Pont du Lavoir, situé à la limite Nord du territoire de la Commune de Vernègues-Cazan, est un ouvrage maçonné en pierres constitué des deux arches voutées. Ces deux passages n'ont pas le même niveau de fil d'eau.

**Figures 26.1 et 26.2 : Localisation du Pont du Lavoir**



Source : Site de l'IGN – Géoportail

Cet ouvrage permet le transit des eaux pluviales issues du bassin versant naturel amont et la continuité du fossé latéral de la RD7n.

Il récupère également une partie des eaux pluviales de la RD7n et le débit de fuite d'un bassin de rétention communal (à travers un Ø200mm). Ces EP sont canalisées

vers un fossé rejoignant le Pont du Lavoir par une conduite de diamètre 1000.

Cet ouvrage qui fait l'objet de visites de contrôle régulières, présente de nombreuses dégradations. Celles-ci sont toutefois moins préjudiciables que pour le Pont des Taïades.

Ainsi, il n'est pas impératif de remplacer cet ouvrage, un renforcement de ce dernier est alors envisagé.

### **3.1 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :**

Longueur de l'ouvrage : 11.76m

Biais : 85 grades

L'arche Sud présente les caractéristiques suivantes d'après un relevé effectué par un géomètre expert en janvier 2015 :

- Largeur amont : 3.01m
- Largeur aval : 3.05m
- Tirant d'air amont : 1.48m
- Tirant d'air aval : 1.63m

Les caractéristiques de l'arche Nord sont :

- Largeur amont : 2.86 à 3.08m
- Largeur aval : 3.05m
- Tirant d'air amont : 2.09m
- Tirant d'air aval : 2.17m

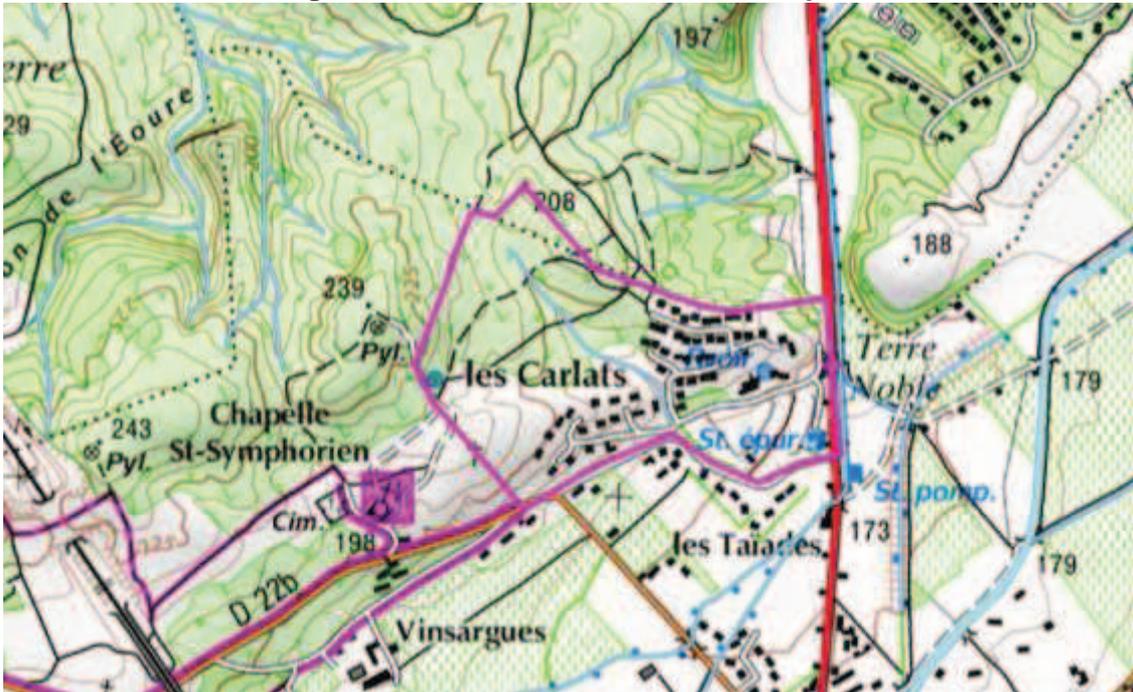
Le plan établi par le géomètre expert est joint en page suivante.



### 3.2 BASSIN VERSANT INTERCEPTÉ

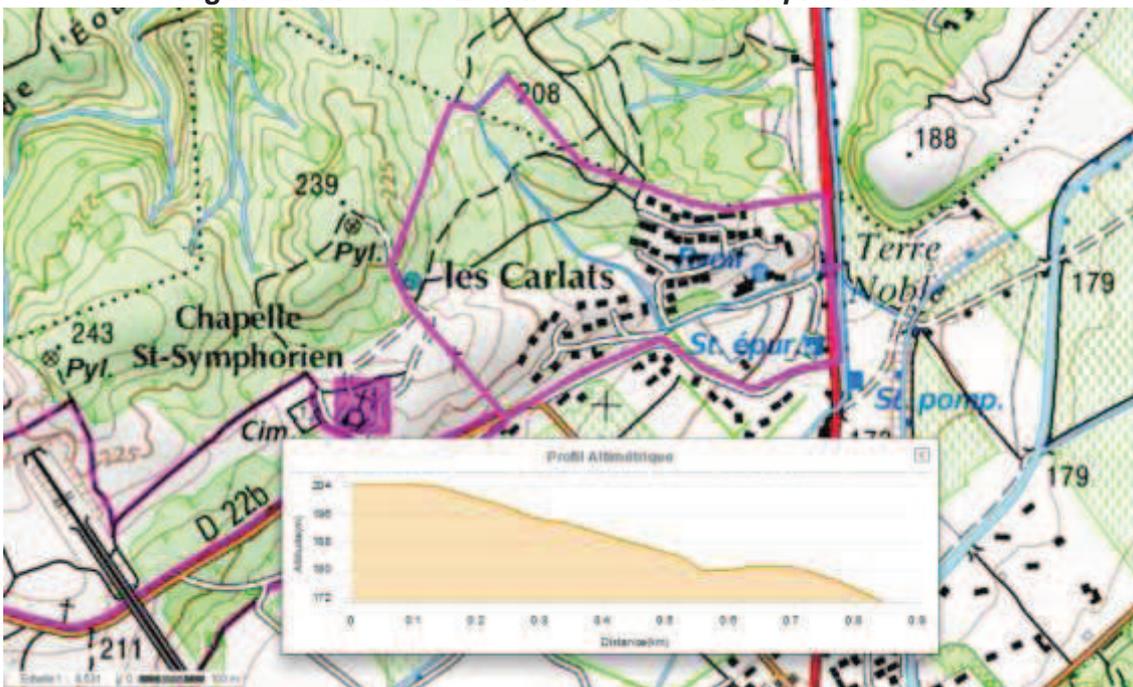
Afin de calculer les débits pluviaux transitant par cet ouvrage nous avons déterminé, après une visite de terrain et à l'aide du fond IGN de la zone, le bassin versant intercepté par le Pont du Lavoir.

**Figure 28 : Pont du Lavoir - BV intercepté**



Source : Site de l'IGN – Géoportail

**Figure 29 : Pont du Lavoir – Profil altimétrique du vallon**



Source : Site de l'IGN – Géoportail

Les caractéristiques géométriques du BV intercepté sont les suivantes :

- ✓ Superficie : 2.19 ha
- ✓ Longueur : 856 ml
- ✓ Cote point haut : 206 NGF
- ✓ Cote point bas : 172 NGF
- ✓ Pente moyenne : 3.97%

**Figure 30 : Pont du Lavoir – Photo aérienne du BV intercepté**



Source : Site de l'IGN - Géoportail

L'occupation du sol se caractérise ainsi sur ce BV :

- ✓ Habitat pavillonnaire peu dense : 4.45ha
- ✓ Voirie : 0.91ha
- ✓ Espaces boisés, garrigue : 16.54ha

Les coefficients de ruissellement ont été estimés à partir du type d'occupation du sol. Ils sont présentés dans le tableau ci-après :

**Figure 31 : Pont du Lavoir – Coefficients de ruissellement**

BV PONT DU LAVOIR				
type d'occupation du sol	Superficie (ha)	Cr	Sa	
habitat pavillonnaire peu dense	4,45	0,5	2,225	
Voiries	0,91	1	0,91	
espaces naturels (espaces boisés, garrigues)	16,54	0,2	3,308	
		<b>Cr 10</b>		<b>Cr100=2Cr10</b>
<b>Total</b>	21,9	<b>0,294</b>	6,443	<b>0,588</b>

### 3.3 DEBIT DE PROJET

#### 3.3.1 Débit du BV naturel intercepté

Les débits pluviaux transitant par le Pont du Lavoir issus du BV naturel intercepté ont été calculés pour les périodes de retour 10 ans et 100 ans.

Le projet de requalification de la voie ne modifiant pas le bassin versant intercepté, les débits avant et après aménagement seront identiques.

Les temps de concentration ont été calculés avec différentes formules. Les feuilles de calculs correspondantes sont jointes en pages suivantes.

Les résultats obtenus par application de la méthode rationnelle sont les suivants :

Pour T=10 ans :

- $Q_{10}$  mini méthode rationnelle : 1.04 m<sup>3</sup>/s
- $Q_{10}$  maxi méthode rationnelle : 1.81 m<sup>3</sup>/s
- $Q_{10}$  moyenne des tps de concentration : 1.415 m<sup>3</sup>/s

Pour T=100 ans :

- $Q_{100}$  mini méthode rationnelle : 2.89 m<sup>3</sup>/s
- $Q_{100}$  maxi méthode rationnelle : 5.07 m<sup>3</sup>/s
- $Q_{100}$  moyenne des tps de concentration : 3.98 m<sup>3</sup>/s

Afin de prendre des mesures conservatives, nous retiendront comme débit de projet pour le BV naturel intercepté :

$Q_{100}=5.07\text{m}^3/\text{s}$
-----------------------------------

Rappel: le sous bassin versant du Lavoir a été pris en compte dans le dimensionnement du pont des Taïades.

#### 3.3.2 Débit d'apport conduite Ø1000

Afin de tenir compte de façon conservative du débit d'apport de cette conduite, nous proposons de considérer le débit capable de ce Ø1000.

Caractéristiques (d'après informations sur plan topographique) :

- Cote Fe entrée : 169.90 NGF
- Cote Fe sortie (fossé) : 169.49 NGF
- Longueur : 81 ml (en l'absence de plan de réseau nous avons considéré le tracé le plus court, cette hypothèse étant la plus défavorable pour le calcul du débit).
- Pente : 5.1%
- K : 70 (béton lisse, hypothèse d'une conduite curée)

Le calcul du débit maximum d'apport de cette canalisation a été calculé par application de la formule de Manning-Strickler pour un taux de remplissage de 94%

correspondant à l'optimum. La feuille de calcul est présentée en pages suivantes.

Relation de Manning-Strickler :

$$Q = k \cdot R_h^{2/3} \cdot I_r^{1/2} \cdot S_m$$

Avec :

$Q$  en m/s

$K$  : coefficient de Strickler

$R_h$  : rayon hydraulique en m égal à  $S_m/P_m$  avec  $P_m$  le périmètre mouillé

$I_r$  : pente en m/m

$S_m$  : surface mouillée en  $m^2$

Ainsi le débit d'apport du Ø1000 est estimé à :

$Q_{\max \text{Ø}1000} (94\%) = 1.67 \text{ m}^3/\text{s}$
--

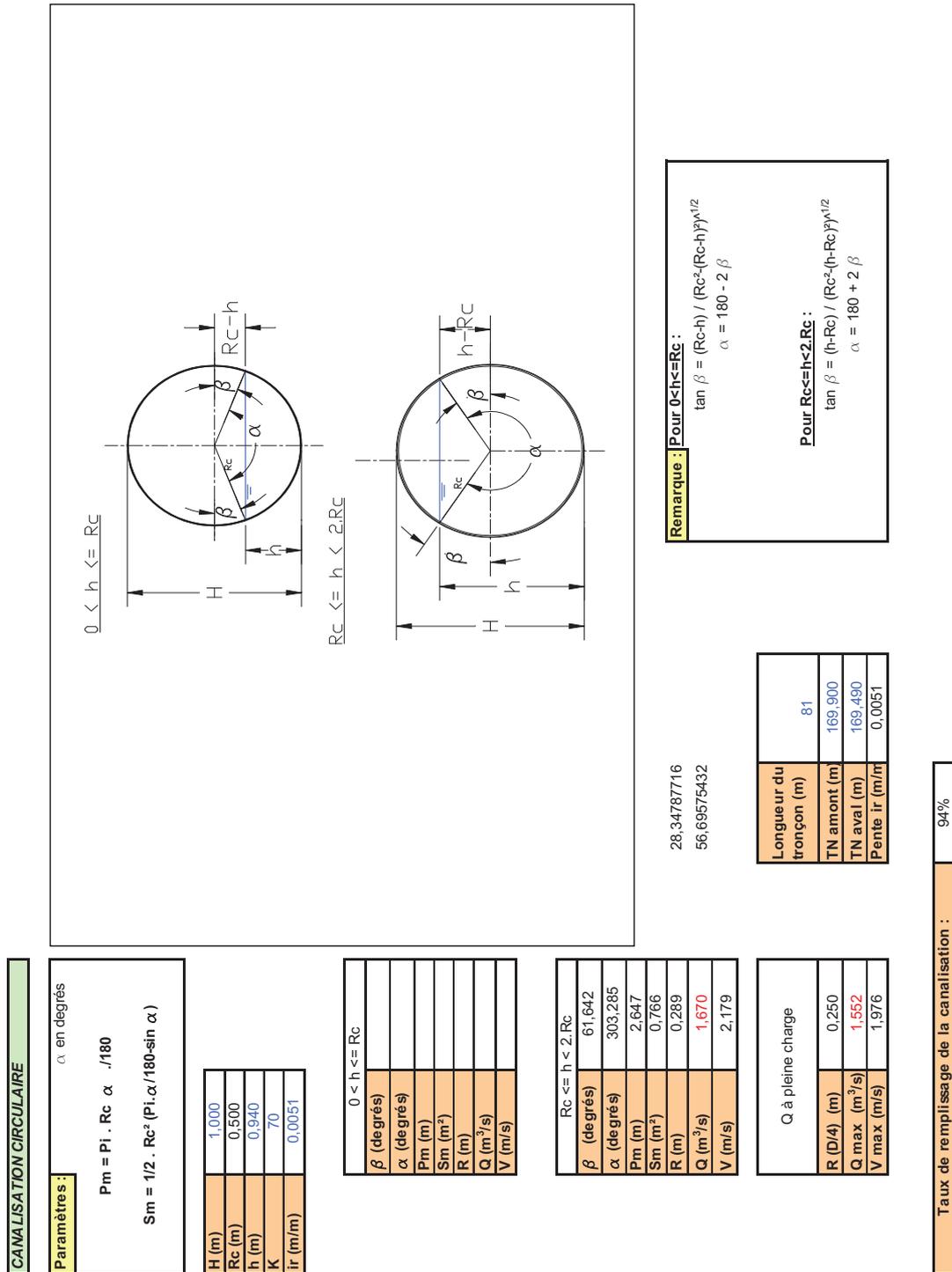
**Figure 32.1 : Pont du Lavoir – Méthode rationnelle T=10 ans**

<b>AFFAIRE : RN 7 CAZAN PONT DU LAVOIR</b>			
<b>Bassin versant : BV1</b>			
<b>Point de calcul du débit PONT DU LAVOIR</b>			
<b>CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT</b>			
Surface (km <sup>2</sup> ) :	0,219	Longueur (km) :	0,86
Alt max BV (m) :	206,0	Alt exu BV (m) :	171,0
Dénivelée H (m) =	35,0	L/racine(S) =	1,83
		Coeff ruissellé :	0,29
		Pte pondérée (m/m) =	0,041
<b>DONNEES PLUVIOCLIMATIQUES DU BASSIN VERSANT</b>			
Formule intensité de pluie :	Pour 30 mn ≤ t ≤ 2H :	a =	10,63
I (mm/mn) = a t(mn) <sup>b</sup>		b =	0,643
Salon de Provence (période d'observation 1968-2011)	Pour 2H < t ≤ 6h :	a =	18,86
		b =	0,759
	temps limite entre les formules (h) =		2
<b>CALCULS DU DEBIT DECENNAL du BASSIN par la méthode rationnelle (normalement jusqu'à 4 km<sup>2</sup>; acceptée jusqu'à 20 km<sup>2</sup> par la R.A.R., SETRA 1982)</b>			
<u>Temps de Concentration en heures</u>		<u>Débit décennal en l/s</u>	
Formule de PASSINI :	Tc (h) = 0,28	Q <sub>10</sub> (l/s) =	<b>1809</b>
Formule de GIANDOTTI :	Tc (h) = 0,67	Q <sub>10</sub> (l/s) =	<b>1043</b>
Formule de VENTURA :	Tc (h) = 0,29	Q <sub>10</sub> (l/s) =	<b>1766</b>
<b>Temps de concentration et Q<sub>10</sub> retenu pour l'estimation par la méthode rationnelle :</b>			
<i>(Si Tc moyen &lt; 5 mn, on prend Tc moyen = 5 mn)</i>			
	Tc (h) = 0,41	Q <sub>10</sub> (l/s) =	<b>1415</b>
<b>VALEUR RETENUE POUR LE DEBIT DECENNAL</b>			
Maximum de Q <sub>10</sub> estimé par : Maximum méth. rationnelle		1809 l/s	
<b>Soit Q<sub>10</sub> = 1809 l/s</b>			

**Figure 32.2 : Pont du Lavoir – Méthode rationnelle T=100 ans**

<b>AFFAIRE : RN 7 CAZAN PONT DU LAVOIR</b>			
<b>Bassin versant : BV1</b>			
<b>Point de calcul du débit PONT DU LAVOIR</b>			
<b>CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT</b>			
Surface (km <sup>2</sup> ) :	0,219	Longueur (km) :	0,86
Alt max BV (m) :	206,0	Alt exu BV (m) :	171,0
Dénivelée H (m) =	35,0	L/racine(S) =	1,83
		Coeff ruissellit :	0,59
		Pte pondérée (m/m) =	0,041
<b>DONNEES PLUVIOCLIMATIQUES DU BASSIN VERSANT</b>			
Formule intensité de pluie :	Pour 30 mn <= t <= 2H :	a =	14,27
I (mm/mn) = a t(mn) <sup>-b</sup>		b =	0,635
Salon de Provence (période d'observation 1968-2011)	Pour 2H < t <= 6h :	a =	10,91
		b =	0,567
	temps limite entre les formules (h) =		2
<b>CALCULS DU DEBIT CENTENNAL du BASSIN par la méthode rationnelle (normalement jusqu'à 4 km<sup>2</sup>; acceptée jusqu'à 20 km<sup>2</sup> par la R.A.R., SETRA 1982)</b>			
<u>Temps de Concentration en heures</u>		<u>Débit centennal en l/s</u>	
Formule de PASSINI :	Tc (h) = 0,28	Q <sub>100</sub> (l/s) =	5070
Formule de GIANDOTTI :	Tc (h) = 0,67	Q <sub>100</sub> (l/s) =	2942
Formule de VENTURA :	Tc (h) = 0,29	Q <sub>100</sub> (l/s) =	4950
<b>Temps de concentration et Q<sub>10</sub> retenu pour l'estimation par la méthode rationnelle :</b>			
<i>(Si Tc moyen &lt; 5 mn, on prend Tc moyen = 5 mn)</i>			
	Tc (h) = 0,41	Q <sub>100</sub> (l/s) =	3979
<b>VALEUR RETENUE POUR LE DEBIT CENTENNAL</b>			
Maximum de Q <sub>100</sub> estimé par : Maximum méth. rationnelle		5070 l/s	
<b>Soit Q<sub>10</sub> = 5070 l/s</b>			

Figure 33 : Pont du Lavoir – Calcul du débit max Ø1000



### **3.3.3 Débit de projet retenu**

Le débit de projet retenu se porte donc à :

$Q_{\text{PROJET}} = 6.74 \text{ m}^3/\text{s}$
---

### 3.4 CAPACITE ACTUELLE DE L'OUVRAGE

Afin de la mettre en regard du débit de projet, nous avons calculé la capacité de transit de chacune des voûtes en l'état actuel.

Les calculs ont été menés avec la formule de Manning – Strickler.

D'après le relevé du géomètre, la pente de fond de l'arche Nord est quasiment nulle, et le niveau remonte à la sortie de l'ouvrage.

L'arche Sud, quant à elle, est partiellement remblayée, présentant ainsi une pente transversale et des cotes à l'amont plus faibles qu'à l'aval.

Un curage des ouvrages permettrait facilement de rétablir une pente minimale de 5mm/m.

Nous avons donc considéré une pente de 5mm/m dans le calcul des débits.

Pour un caniveau rugueux (galets, végétation, etc.), le coefficient de Strickler communément admis est de 30.

Pour des ouvrages en maçonneries de grosses pierres ; il est de 50.

Nous retiendrons donc un coefficient de 40 pour tenir compte de l'état des ouvrages. Nous avons calculé la capacité de transit de chaque arche pour des hauteurs d'eau différentes. Les résultats obtenus sont présentés ci-après :

	Arche Nord	Arche Sud						
hauteur totale H (m)	2,09	1,49						
Surface totale S (m)	5,62	4,02						
h (m)	1,39		1,29		1,1		1	
tirant d'air résiduel (m)	0,70	0,10	0,80	0,20	0,99	0,39	1,09	0,49
Pm (m)	5,9	6,82	5,68	6,3326	5,29	5,6	5,08	4,88
Sm (m)	4,21	3,66	3,92	3,521	3,36	3,16	3,06	2,58
Rh = Sm/Pm (m)	0,71	0,54	0,69	0,56	0,64	0,56	0,60	0,53
k	40	40	40	40	40	40	40	40
i (m/m)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Q (m3/s)	9,51	6,84	8,66	6,73	7,02	6,10	6,17	4,77
Qprojet/Q (%)	141%	101%	128%	100%	104%	91%	92%	71%
taux de remplissage (Sm/S)	75%	91%	70%	88%	60%	79%	54%	64%

**Figure 34 : Pont du Lavoir – Manning-Strickler état actuel**

Ainsi, chacune des voutes est suffisante pour le transit du débit centennal.

En effet, pour la voute nord cela correspond à une hauteur de l'ordre de 1.10m ; pour l'arche Sud à une hauteur de 1.30m.

Notons toutefois que pour l'arche Sud seule, le tirant d'air pour Q100 est relativement faible (20cm).

### 3.5 SITUATION PROJETEE - PONT DU LAVOIR

L'inspection détaillée de l'ouvrage, confirmée par notre récente visite sur site, montre que l'état du Pont de Lavoir permet de proposer une solution de renforcement des deux arches.

Ainsi, nous proposons de réaliser un renforcement des deux arches par reconstitution d'une nouvelle structure porteuse dans l'ouvrage existant s'appuyant sur un radier coulé en place (Cf. plan 5-6).

L'épaisseur de cette structure en béton serait de l'ordre de 20cm.

Cette proposition induit donc une réduction de la section de passage actuelle. Toutefois, l'ouvrage étant prévu en béton lissé, il présentera une meilleure rugosité après travaux (nous prendrons  $k=70$  pour les calculs).

Nous avons donc vérifié la compatibilité d'une telle solution avec le transit du débit de projet retenu (PM : débit du BV naturel intercepté + débit max du Ø1000).

Sur la base des élévations de l'ouvrage réalisées par le géomètre expert, un plan des voutes après renforcement a été réalisé. Ce document est joint à la présente note.

Ce plan nous a servi à déterminer la section et la hauteur des arches renforcées ainsi que les sections et périmètres mouillés correspondant à différents niveau d'eau pour vérifier la capacité de transit de ces arches.

Nous avons mené les calculs pour des hauteurs d'eau différentes pour chaque voute afin de vérifier la compatibilité de la solution proposée avec les débits en jeu.

Le taux de remplissage de l'ouvrage a été systématiquement calculé afin de s'assurer de l'existence d'une marge de sécurité.

Les résultats retenus sont présentés dans le tableau ci-après :

	Arche Nord	Arche Sud						
hauteur totale H (m)	1,89	1,49						
Surface totale S (m)	4,27	3,14						
h (m)	1		0,9		0,85		0,8	
tirant d'air résiduel (m)	0,89	0,49	0,99	0,59				
Pm (m)	4,67	4,72	4,4573	4,4747	4,3545		4,2526	
Sm (m)	2,63	2,447	2,3761	2,2371	2,2471		2,1171	
Rh = Sm/Pm (m)	0,56	0,52	0,53	0,50	0,52		0,50	
k	70	70	70	70	70	70	70	70
i (m/m)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Q (m <sup>3</sup> /s)	8,88	7,82	7,73	6,98	7,16	-	6,58	-
Qprojet/Q (%)	132%	116%	115%	103%	106%	0%	98%	0%
taux de remplissage (Sm/S)	62%	78%	56%	71%	53%	0%	50%	0%

**Figure 35 : Pont du Lavoir – Manning-Strickler situation projetée**

Ainsi, chacune des arches une fois sa section réduite aura des dimensions suffisantes pour faire transiter le débit de projet.

Pour l'arche la plus petite (arche Sud), un taux de remplissage inférieur à 70%, soit

une hauteur d'eau inférieure à 90cm (cote 169.61 NGF), offre une capacité de transit suffisante pour le débit de 6.74m<sup>3</sup>/s.

Pour l'arche Nord, dont la hauteur est plus importante actuellement, un taux de remplissage inférieur à 53% est suffisant soit une hauteur d'eau de l'ordre de 85cm (cote 169.12).

L'ouvrage ainsi renforcé sera donc dimensionné pour permettre aux EP de franchir la RD7n sans débordement.

Toutefois, la modélisation du Ruisseau des Taïades nous indique une cote de crue centennale de 170.16 NGF à l'aval du Pont du Lavoir (Profil P7). Comme pour le Pont des Taïades, c'est ce niveau d'eau aval qui est déterminant pour l'ouvrage.

- La cote intrados de l'arche sud se porte à 170.20 NGF en situation projetée laissant un tirant d'air de 4cm.
- La cote intrados de l'arche nord se porte à 170.17 NGF en situation projetée laissant un tirant d'air de 1cm.

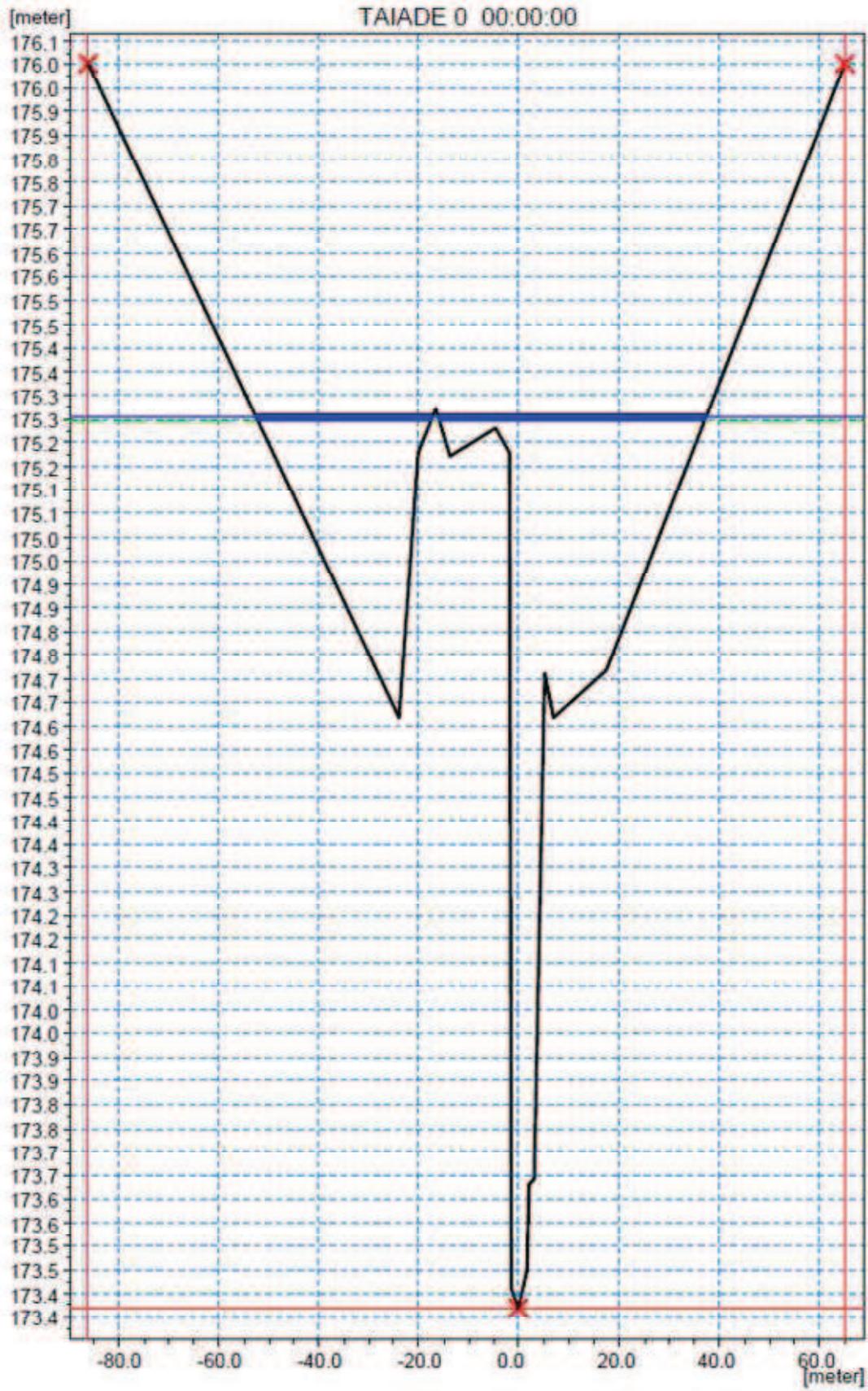
Dans la situation projetée avec un renforcement des voûtes d'épaisseur 20cm, le fonctionnement de l'ouvrage est **à la limite du fonctionnement à surface libre**, celui-ci étant quasiment noyé.

Ainsi, l'ouvrage étant suffisamment dimensionné pour faire transiter le débit centennial sous la RD7n, il conviendra d'optimiser le renforcement de l'ouvrage en réduisant son épaisseur au minimum afin de garantir un tirant d'air plus important.

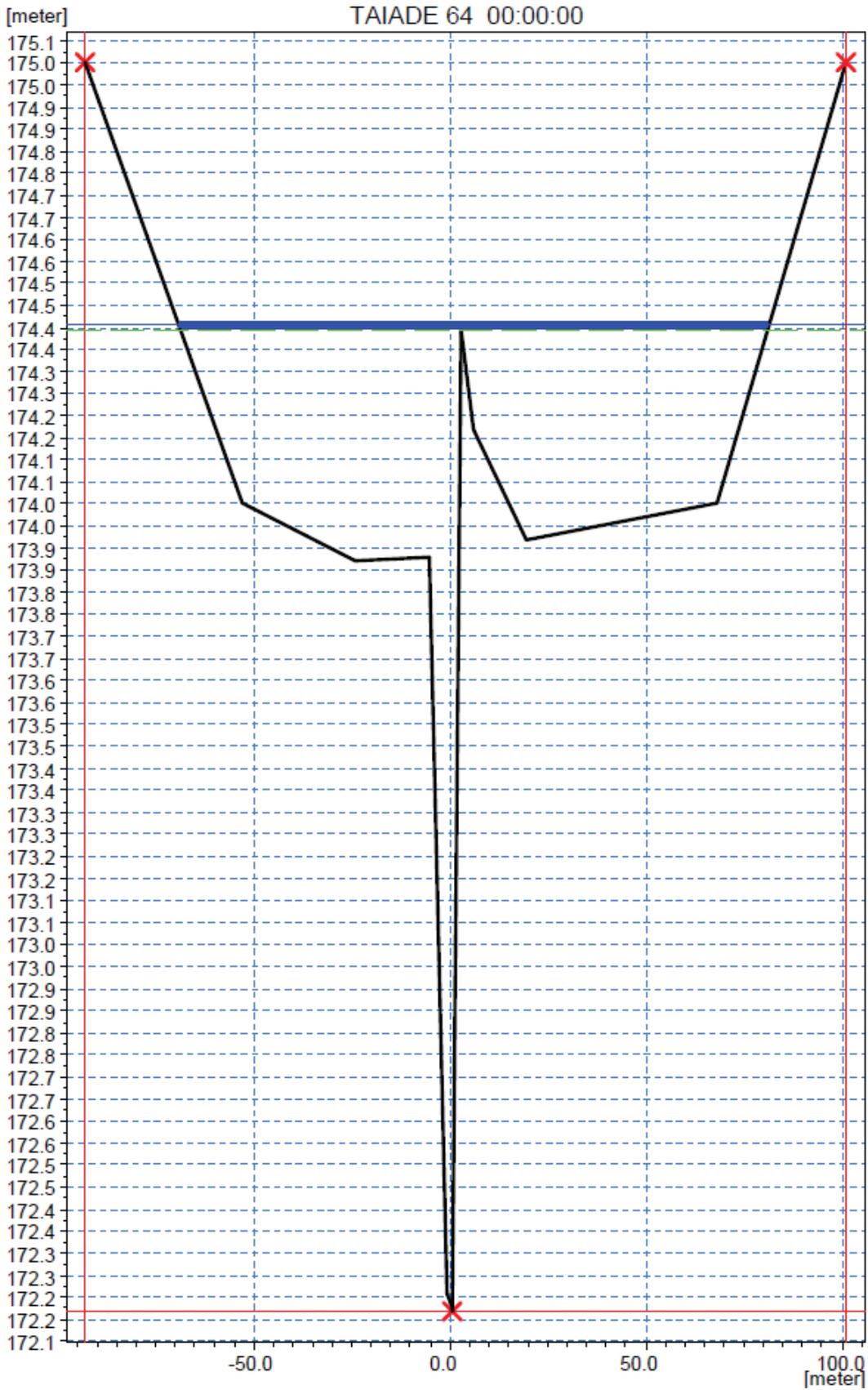
ANNEXE 1 – ETAT 0 – PROFILS EN TRAVERS – CRUE CENTENNALE –  
NIVEAU EAU MAXI

---

# P1



# P2



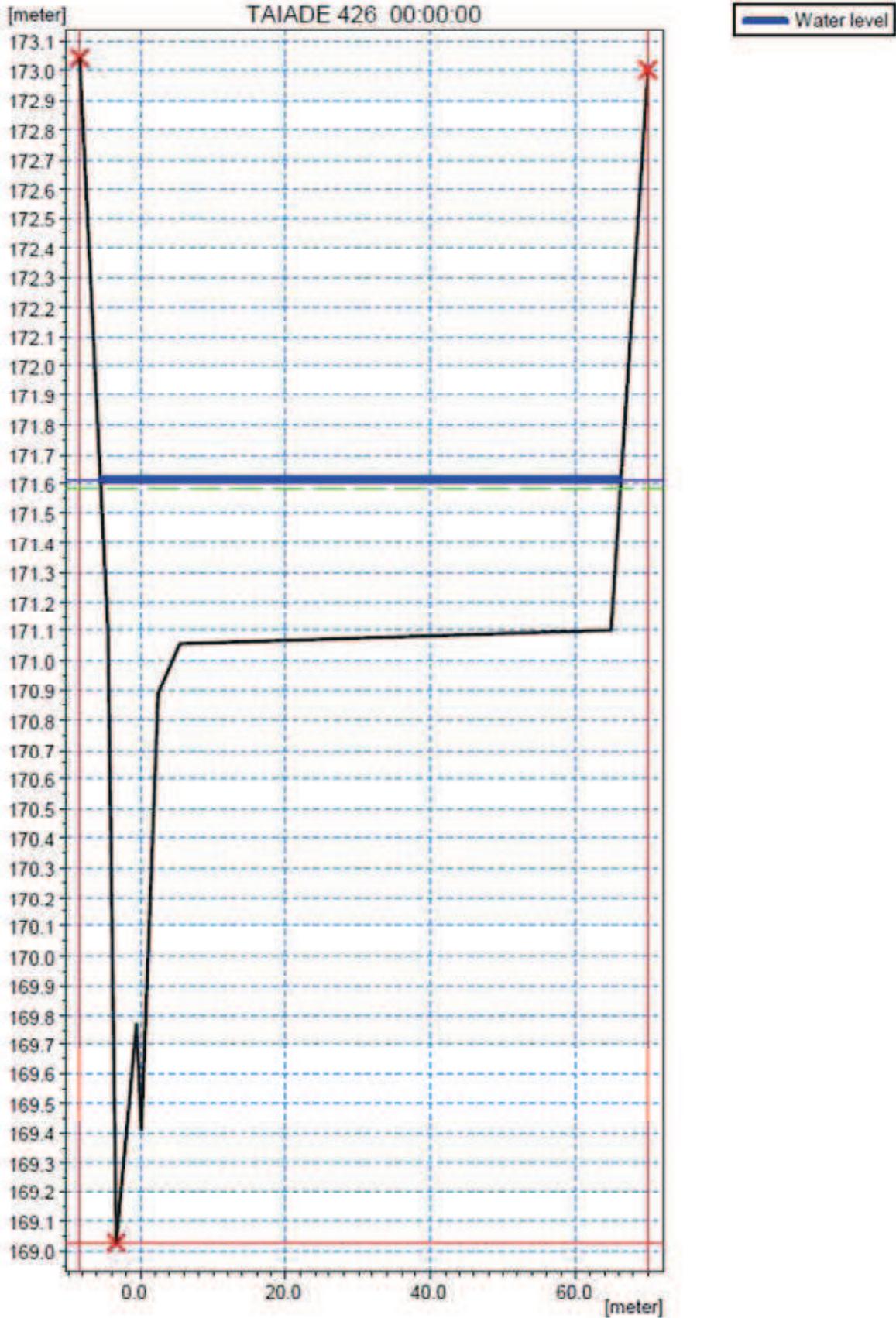
# P3



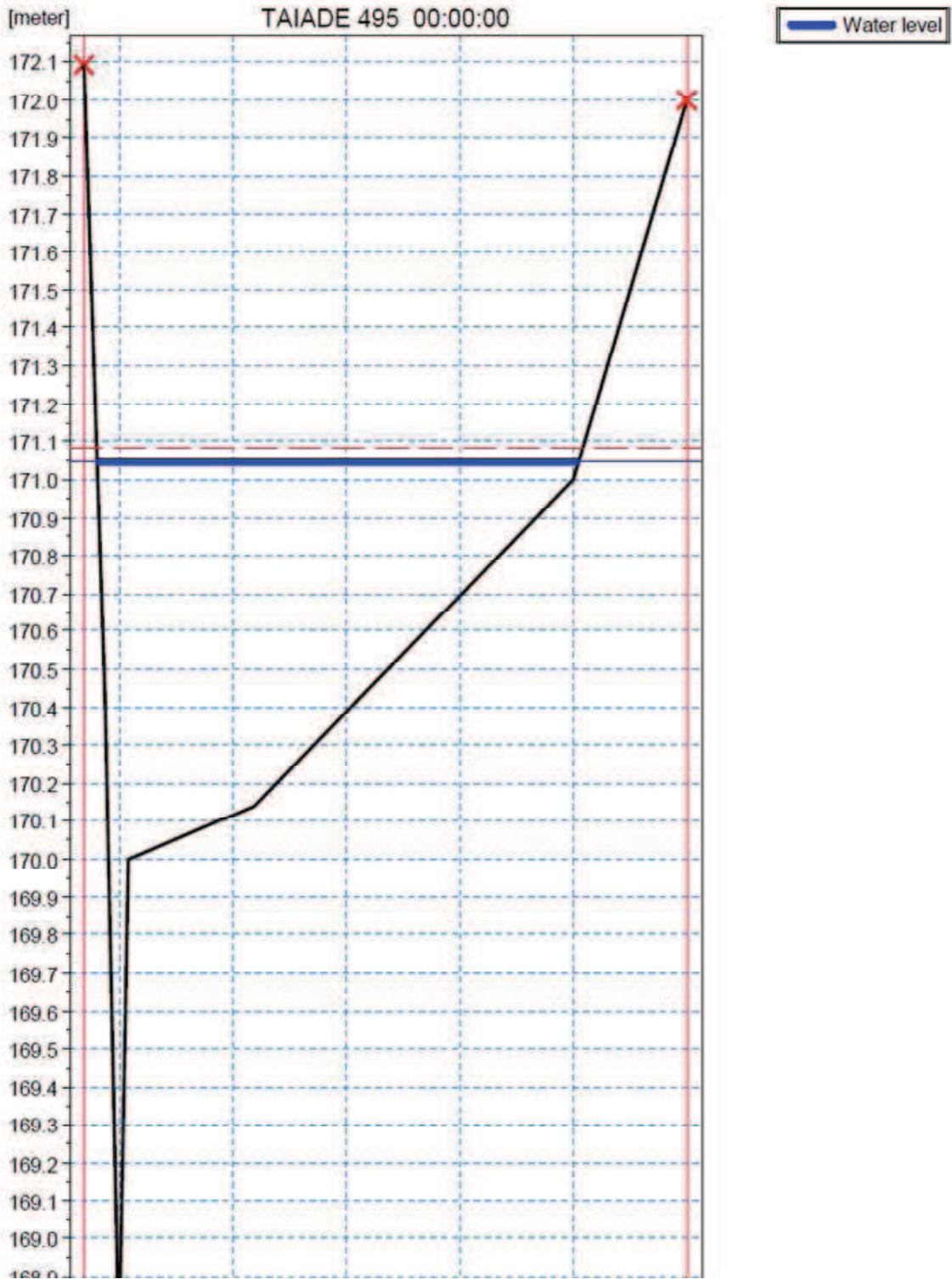
# P4



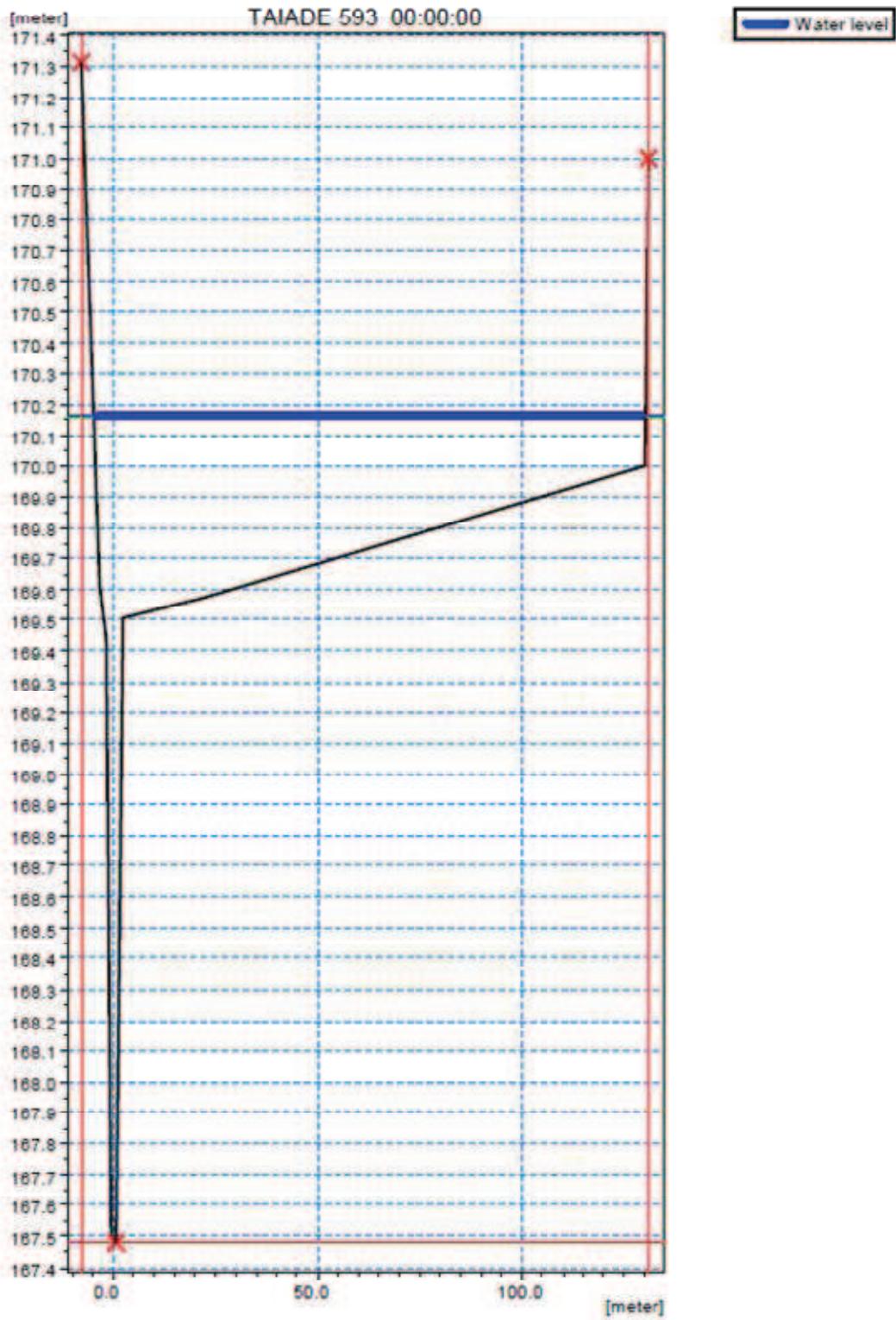
# P5



# P6

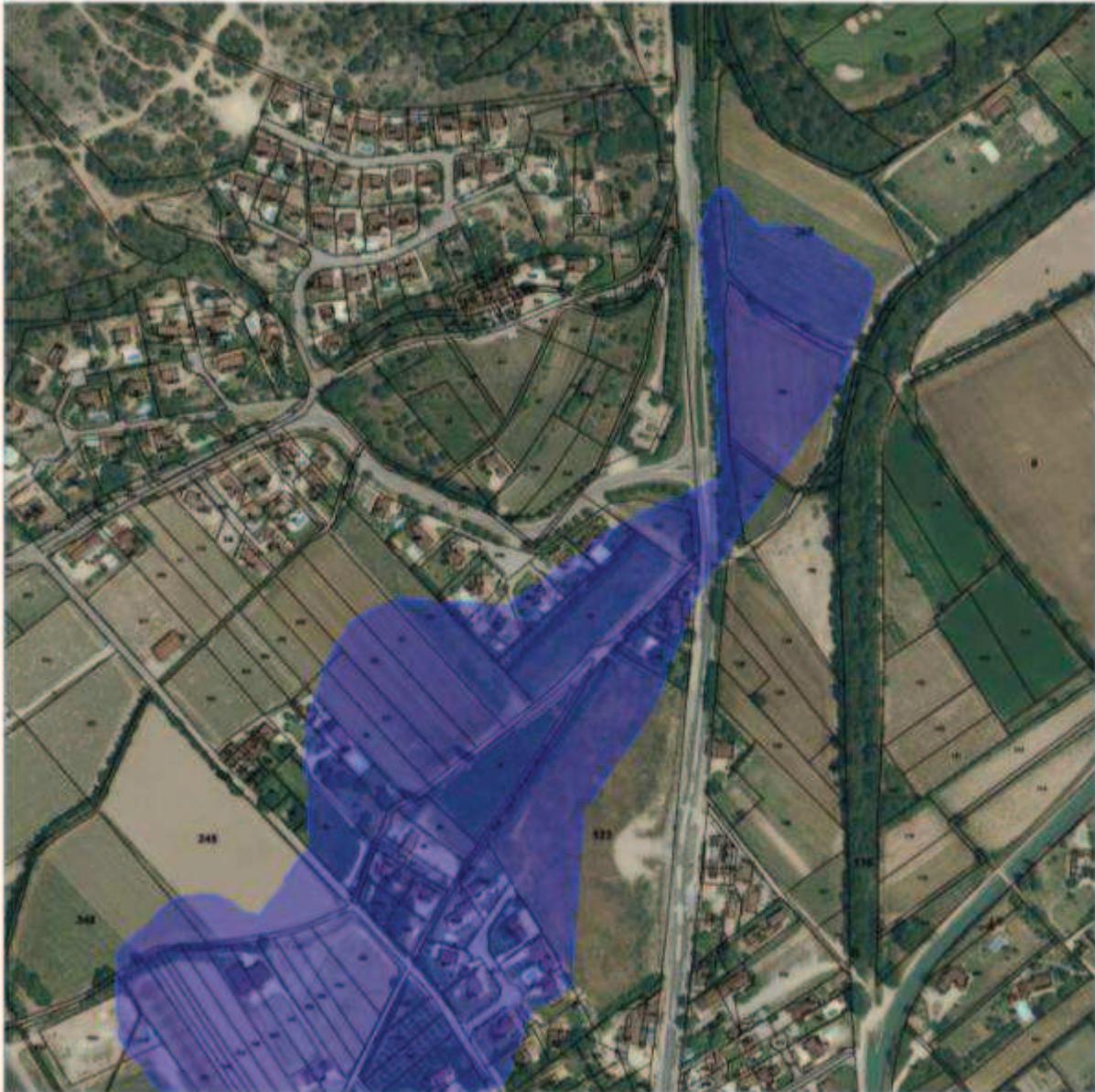


P7



ANNEXE 2 – ETAT 0 – CRUE CENTENNALE – CHAMP INONDATION

---



ANNEXE 3 – CALCUL SETRA – DIMENSIONNEMENT RETABLISSEMENT  
SOUS LES PONTS – SOLUTIONS 2.0 ET 3

---

<b>Ouvrage OH de rétablissement hydraulique sous la RD7n - Pont des Taïades - Solution 2</b>		
Débit naturel	64,00 m3/s	
Autres	0,00 m3/s	
<b>Débit total de projet</b>	<b>64,00 m3/s</b>	
<b><u>CARACTERISTIQUES DU RETABLISSEMENT HYDRAULIQUE</u></b>		
Longueur du rétablissement - OH	16,00 m	
Fil d'eau amont du chenal	0,12 m NGF	
Fil d'eau aval du chenal	0,00 m NGF	
dénivelée	0,12 m	
Pente moyenne du chenal	0,78%	0,0078 m/m
<b><u>CALCUL 1 - REGIME HYDRAULIQUE CANAL AVAL/AMONT</u></b>		
<b><u>Rappel</u></b>		
Fonctionnement hydraulique	Fluvial	
hauteur d'eau au droit de l'OH projeté	amont 1,90 m	aval 1,90 m
cote niveau d'eau	2,02 m NGF	1,90 m NGF
<b><u>CALCUL - OUVRAGE HYDRAULIQUE</u></b>		
Matériau	Béton	
Vitesse limite d'écoulement	4,00 m/s	
Nombre d'ouvrages	1	
<b>Débit unitaire de dimensionnement de chaque ouvrage</b>	<b>64,00 m3/s</b>	
<b>Régime de Calage de l'ouvrage</b>	<b>Fluvial</b>	
<b><u>Données géométriques</u></b>		
Forme	rectangulaire	
Longueur ouvrage	16,00 m	
Hauteur de l'ouvrage	2,60 m	
Pente de l'ouvrage	0,25%	
Fil d'eau OH	amont 0,04 m NGF	aval 0,00 m NGF
largeur du fond :	19,00 m	
angle des berges :	90,00 °	
fruit des berges (H/V)	m = 0,00	
Strickler	50	
<b><u>Caractéristiques hydrauliques normales pour le débit de crue</u></b>		
Critère de calcul - Débit calculé = débit de crue	64,00 m3/s	OK
Hauteur normale	1,26 m	surface libre
Tirant d'air		
Largeur au miroir	19,00 m	
Section mouillée totale	23,88 m2	
périmètre mouillé total	21,51 ml	
Rayon hydraulique	1,11 ml	
Profondeur moyenne	1,26 ml	
Vitesse	2,68 m/s	conforme
<b><u>Écoulement critique pour le débit de crue</u></b>		
Critère de calcul- Nombre de Froude = 1	1,00	
Hauteur critique estimée	1,05 m	
Largeur au miroir	19,00 m	
Section mouillée totale	19,94 m2	
Profondeur moyenne	1,05 ml	
Vitesse	3,21 m/s	conforme
<b><u>Caractérisation du régime hydraulique</u></b>		
Rapport Normal/Critique (> 1,20 ou <0,80)	1,200	
Caractérisation du régime retenu de calage	Fluvial stable	
Hauteur d'eau	1,26 m	
Tirant d'air	1,34 m	
Vitesse écoulement	2,68 m/s	
Taux de remplissage	48%	
<b><u>Calage altimétrique des buses pour un raccordement sur le niveau aval dans le chenal</u></b>		
Rappel Hauteur d'eau en aval de l'OH	1,90 m	
Hauteur normale dans l'OH	1,26 m	
Hauteur retenue à l'entrée et à l'aval de l'OH	1,90 m	
Largeur au miroir	19,00 m	
Section écoulement	36,10 m2	
Vitesse retenue dans l'OH	1,77 m/s	conforme
<b><u>CALCUL - COTE NIVEAU EAU AMONT OUVRAGE HYDRAULIQUE</u></b>		
<b><u>Calcul de la perte de charge hydraulique à l'entonnement amont de l'OH</u></b>		
Coefficient de perte de charge à l'entonnement	0,7	Entonnement brusq
Rappel Hauteur de base retenue à l'entrée de l'ouvrage	1,90 m	
Rappel Vitesse retenue	1,77 m/s	
<b>Perte de charge approchée</b>	<b>0,27 m</b>	

<b>Ouvrage OH de rétablissement hydraulique sous la RD7n - Pont des Taïades - Solution 3</b>		
Débit naturel	64,00 m <sup>3</sup> /s	
Autres	0,00 m <sup>3</sup> /s	
<b>Débit total de projet</b>	<b>64,00 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b><u>CARACTERISTIQUES DU RETABLISSEMENT HYDRAULIQUE</u></b>		
Longueur du rétablissement - OH	16,00 m	
Fil d'eau amont du chenal	0,12 m NGF	
Fil d'eau aval du chenal	0,00 m NGF	
dénivelée	0,12 m	
Pente moyenne du chenal	0,78%	0,0078 m/m
<b><u>CALCUL - OUVRAGE HYDRAULIQUE</u></b>		
Matériau	Béton	
Vitesse limite d'écoulement	4,00 m/s	
Nombre d'ouvrages	1	
<b>Débit unitaire de dimensionnement de chaque ouvrage</b>	<b>64,00 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Régime de Calage de l'ouvrage</b>	<b>Fluvial</b>	
<b><u>Données géométriques</u></b>		
Forme	rectangulaire	
Longueur ouvrage	16,00 m	
Hauteur de l'ouvrage	5,00 m	
Pente de l'ouvrage	0,25%	
	<b>amont</b>	<b>aval</b>
Fil d'eau OH	0,04 m NGF	0,00 m NGF
largeur du fond :	12,25 m	
angle des berges :	90,00 °	
fruit des berges (H/V)	m = 0,00	
Strickler	50	
<b><u>Caractéristiques hydrauliques normales pour le débit de crue</u></b>		
Critère de calcul - Débit calculé = débit de crue	64,00 m <sup>3</sup> /s	OK
Hauteur normale	1,72 m	surface libre
Largeur au miroir	12,25 m	
Section mouillée totale	21,04 m <sup>2</sup>	
périmètre mouillé total	15,69 m	
Rayon hydraulique	1,34 m	
Profondeur moyenne	1,72 m	
Vitesse	3,04 m/s	conforme
<b><u>Ecoulement critique pour le débit de crue</u></b>		
Critère de calcul- Nombre de Froude = 1	1,00	
Hauteur critique estimée	1,41 m	
Largeur au miroir	12,25 m	
Section mouillée totale	17,23 m <sup>2</sup>	
Profondeur moyenne	1,41 m	
Vitesse	3,71 m/s	conforme
<b><u>Caractérisation du régime hydraulique</u></b>		
Rapport Normal/Critique (> 1,20 ou <0,80)	1,220	
Caractérisation du régime retenu de calage	Fluvial stable	
Hauteur d'eau	1,72 m	
Tirant d'air	3,28 m	
Vitesse écoulement	3,04 m/s	
Taux de remplissage	34%	
<b><u>Calage altimétrique des buses pour un raccordement sur le niveau aval dans le chenal</u></b>		
Rappel Hauteur d'eau en aval de l'OH	1,90 m	
Hauteur normale dans l'OH	1,72 m	
Hauteur retenue à l'entrée et à l'aval de l'OH	1,90 m	
Largeur au miroir	12,25 m	
Section écoulement	23,28 m <sup>2</sup>	
Vitesse retenue dans l'OH	2,75 m/s	conforme
<b><u>CALCUL 3 - COTE NIVEAU EAU AMONT OUVRAGE HYDRAULIQUE</u></b>		
<b><u>Calcul de la perte de charge hydraulique à l'entonnement amont de l'OH</u></b>		
Coefficient de perte de charge à l'entonnement	0,7	Entonnement brusque
Rappel Hauteur de base retenue à l'entrée de l'ouvrage	1,90 m	
Rappel Vitesse retenue	2,75 m/s	
<b>Perte de charge approchée</b>	<b>0,66 m</b>	

## ANNEXE 4 – PROFILS EN TRAVERS DU RUISSEAU DES TAÏADES

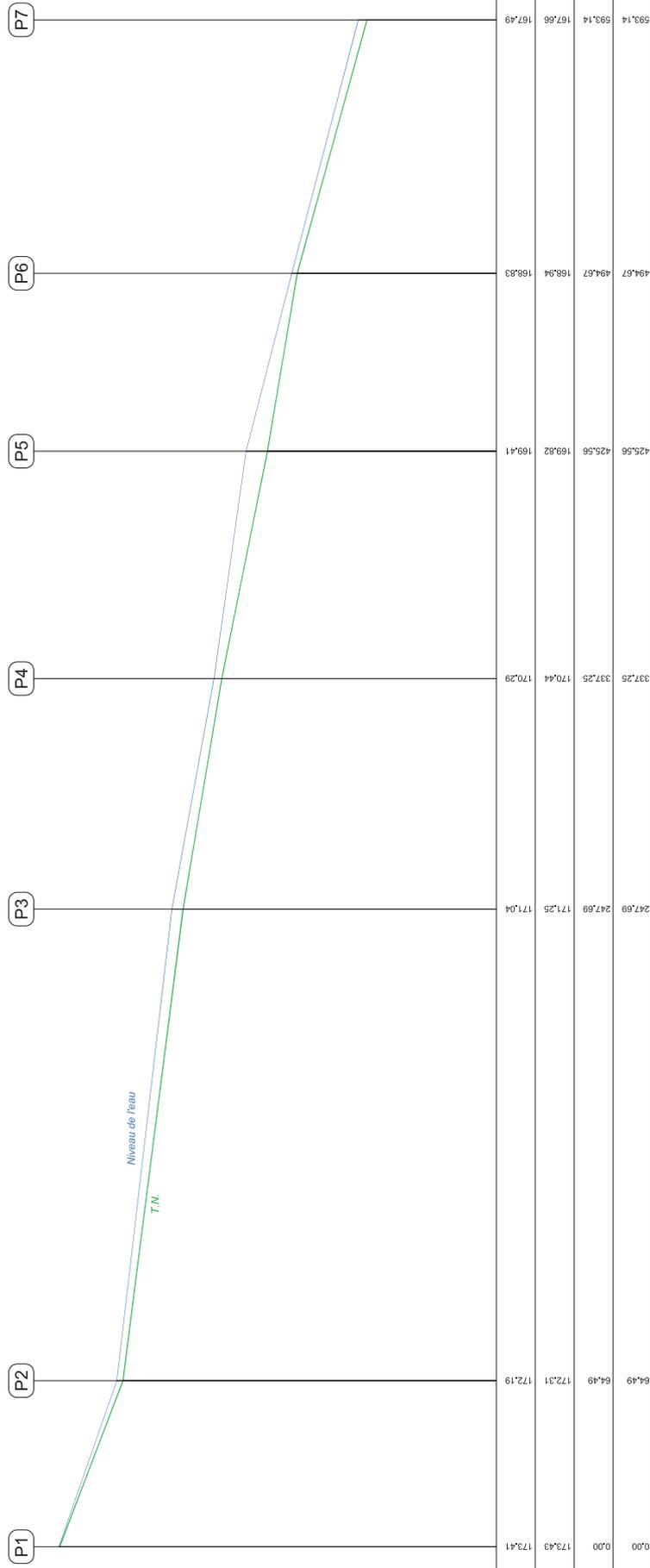
---

**Profil en Long**

Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/50

PC : 165.00 m





Maurice SARFATI - Ingénieur Conseil  
 Géomètre-Expert DPLG - Photogrammètre  
 Résidence MICHELET SAINT-JACQUES  
 13009 MARSEILLE  
 Tel : 04.91.26.27.00 Fax : 04.91.26.27.04  
 E-mail : ms.phototec@wanadoo.fr

**Profil 1**

Echelle en X : 1/200

Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877677.00

Y(Axe) : 3168228.18

Gisement : 149.26 gr

PC : 172.00 m



**Profil 2**

Echelle en X : 1/200

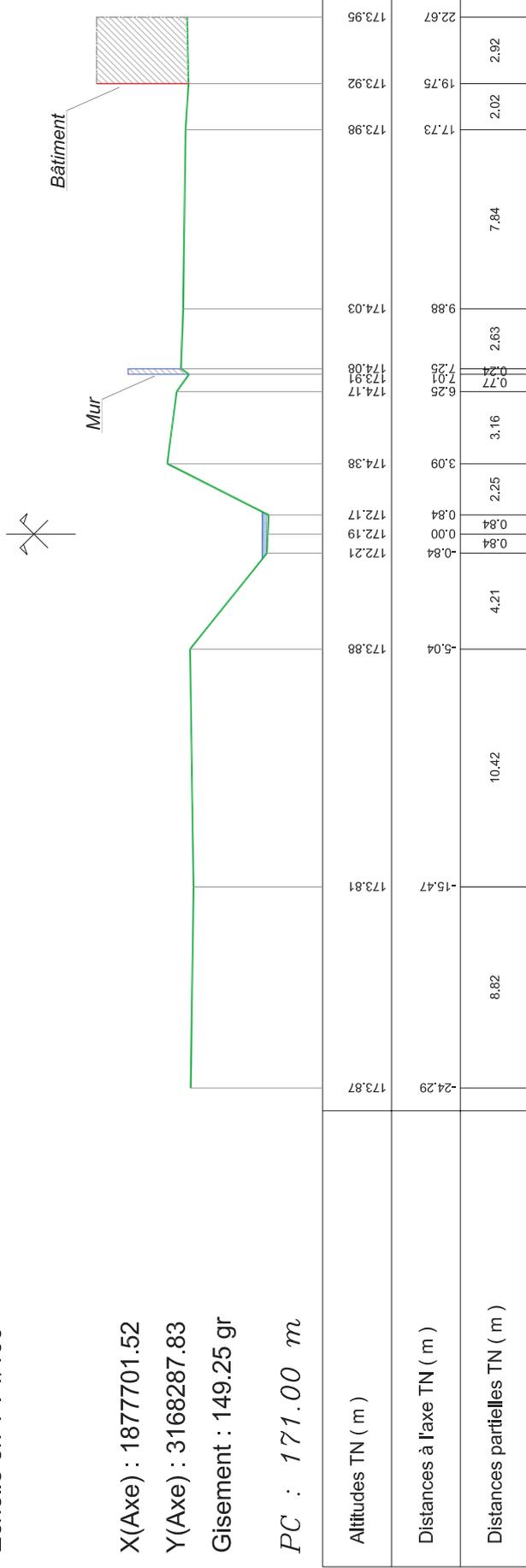
Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877701.52

Y(Axe) : 3168287.83

Gisement : 149.25 gr

PC : 171.00 m



**Profil 3**

Echelle en X : 1/200

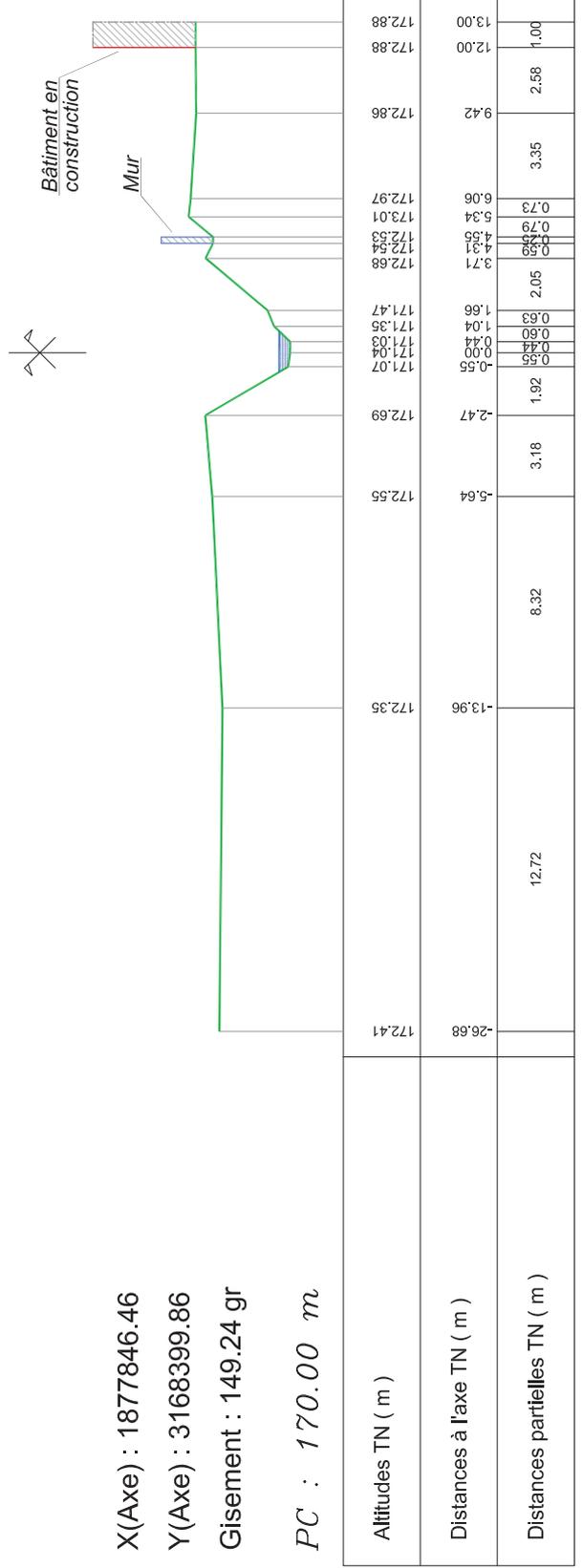
Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877846.46

Y(Axe) : 3168399.86

Gisement : 149.24 gr

PC : 170.00 m



**Profil 4**

Echelle en X : 1/200

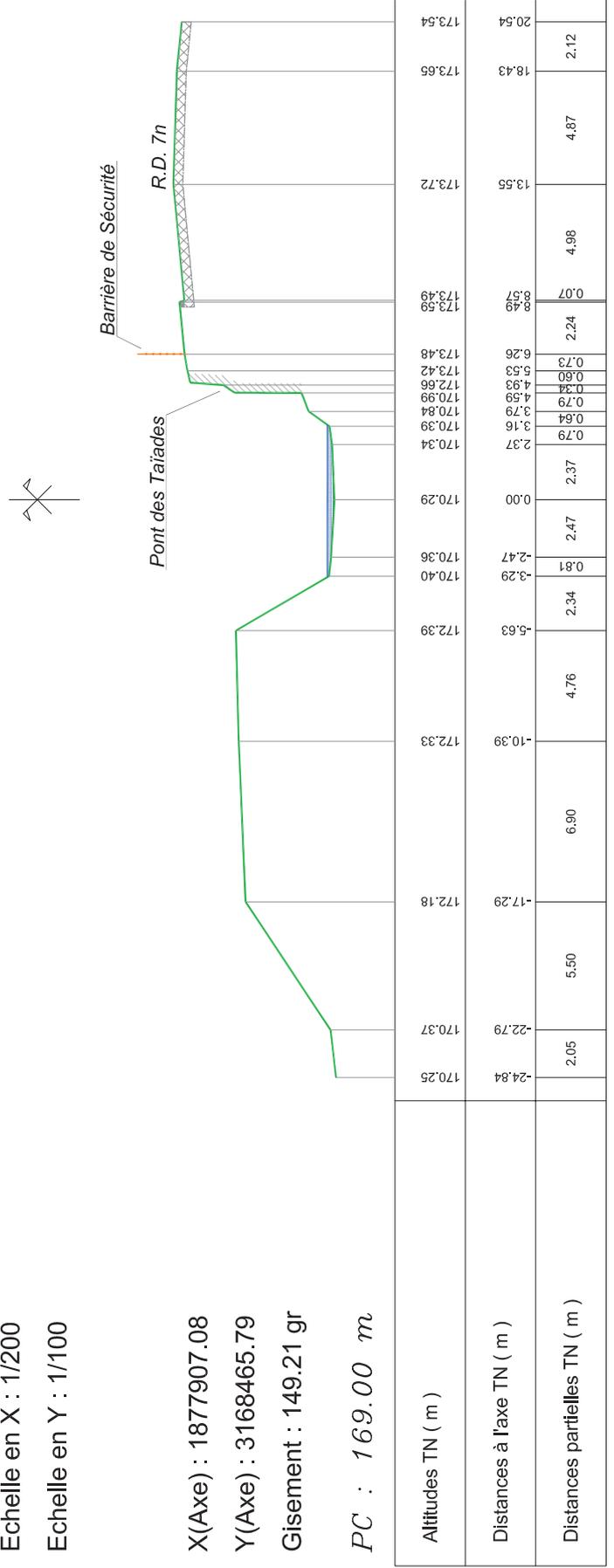
Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877907.08

Y(Axe) : 3168465.79

Gisement : 149.21 gr

PC : 169.00 m



**Profil 5**

Echelle en X : 1/200

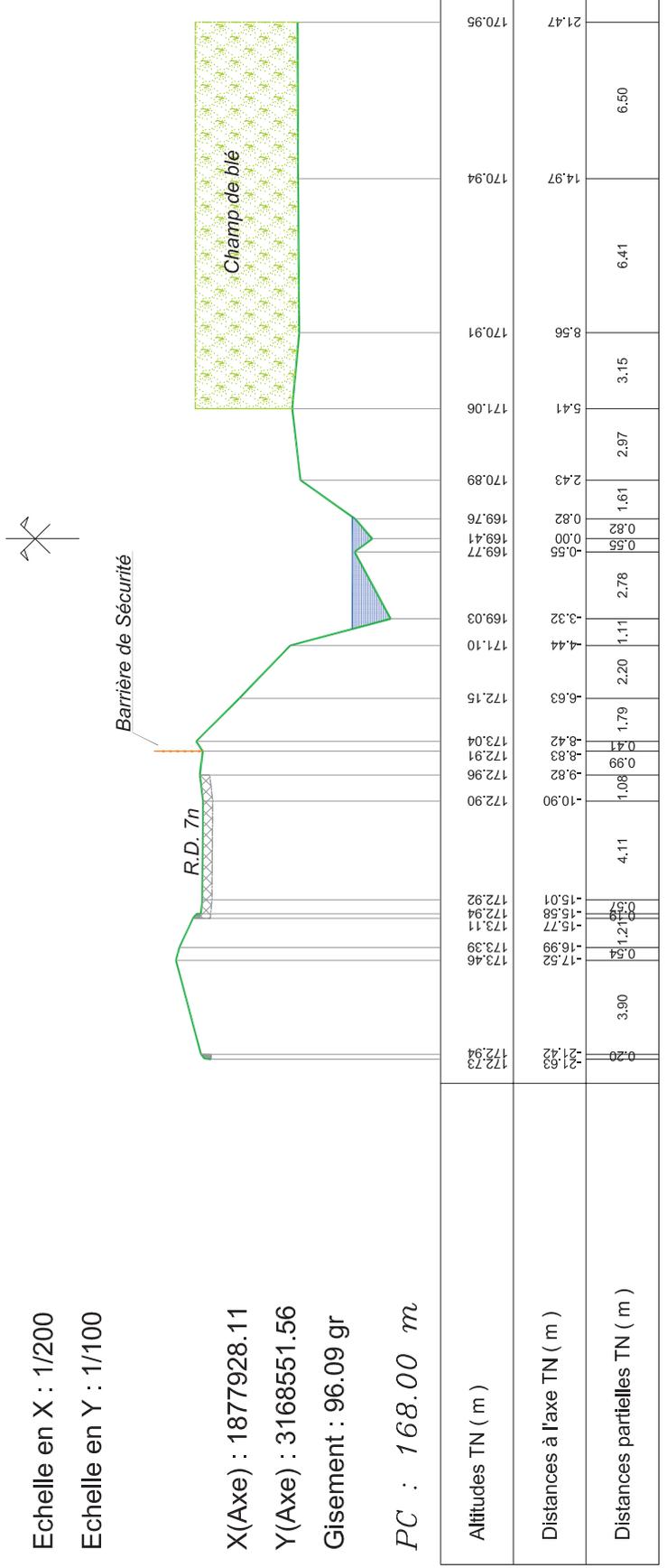
Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877928.11

Y(Axe) : 3168551.56

Gisement : 96.09 gr

PC : 168.00 m



**Profil 6**

Echelle en X : 1/200

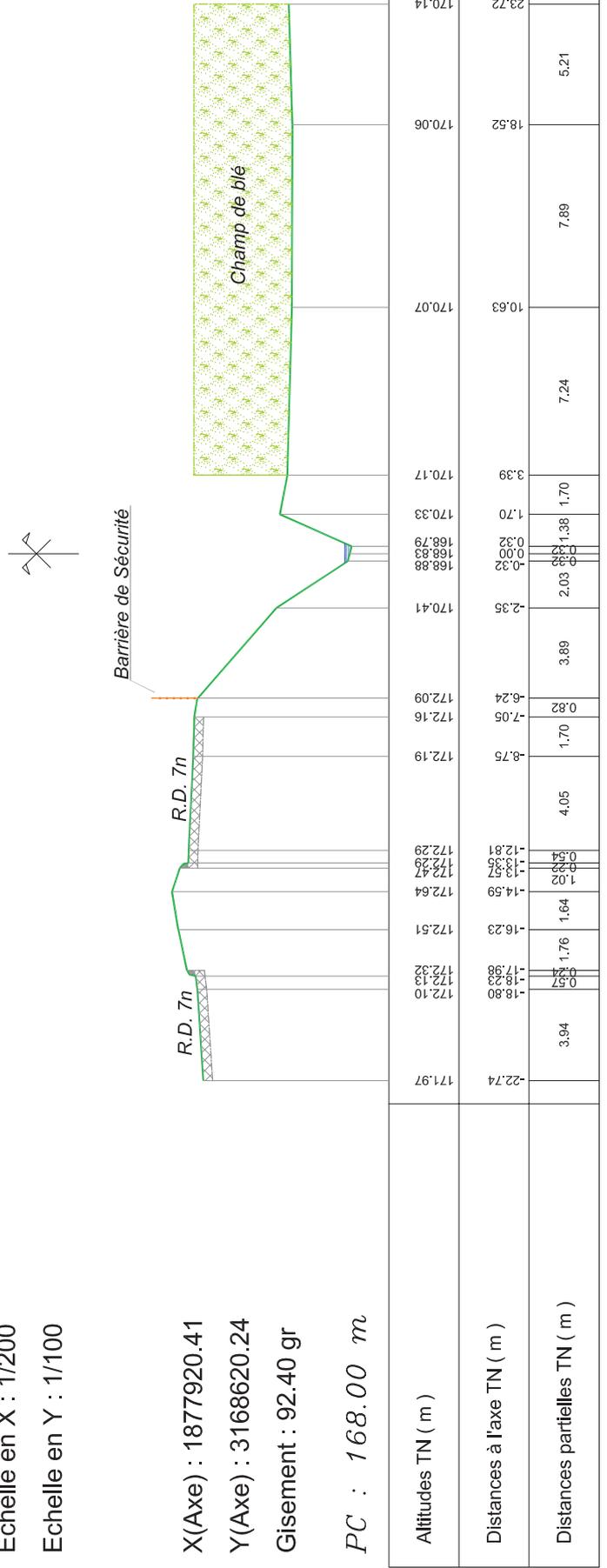
Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877920.41

Y(Axe) : 3168620.24

Gisement : 92.40 gr

PC : 168.00 m



Altitudes TN ( m )	171.97	172.10	172.32	172.51	172.64	172.29	172.29	172.19	172.16	172.09	170.41	168.88	168.83	168.79	170.33	170.17	170.07	170.06	170.14
Distances à l'axe TN ( m )	-22.74	-18.80	-17.98	-16.23	-14.59	-13.57	-12.81	-8.75	-7.05	-6.24	-2.35	-0.32	0.00	0.32	1.70	3.39	10.63	18.52	23.72
Distances partielles TN ( m )	3.94	0.32	0.32	1.76	1.64	1.02	0.58	4.05	1.70	0.82	3.89	2.03	0.32	1.38	1.70	7.24	7.89	7.89	5.21

**Profil 7**

Echelle en X : 1/200

Echelle en Y : 1/100

X(Axe) : 1877912.58

Y(Axe) : 3168718.40

Gisement : 92.40 gr

PC : 166.00 m

