



**HAL**  
open science

## Analyse des courbes de tarage de 5 stations hydrométriques pour le SPC Rhin-Sarre

R. Le Boursicaud, L. Bonnifait, Jérôme Le Coz, Benjamin Renard

► **To cite this version:**

R. Le Boursicaud, L. Bonnifait, Jérôme Le Coz, Benjamin Renard. Analyse des courbes de tarage de 5 stations hydrométriques pour le SPC Rhin-Sarre. irstea. 2012, pp.168. hal-02598299

**HAL Id: hal-02598299**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02598299>**

Submitted on 15 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Analyse des courbes de tarage de 5 stations hydrométriques pour le SPC Rhin-Sarre



*Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea*

Raphaël Le Boursicaud, Laurent Bonnifait, Jérôme Le Coz, Benjamin Renard

Unité de recherche Hydrologie-Hydraulique

Irstea (Lyon)

## Table des matières

1	Introduction.....	<u>7</u>
1.1	Contexte et objectifs de l'étude.....	<u>7</u>
1.2	Sélection des stations hydrométriques étudiées.....	<u>8</u>
1.3	Calendrier des principales étapes et missions.....	<u>9</u>
2	Principes méthodologiques.....	<u>10</u>
2.1	Base physique des relations hauteur-débit simples.....	<u>10</u>
2.2	Incertitudes sur les courbes de tarage et les hydrogrammes instantanés.....	<u>11</u>
2.3	Principes de la méthode proposée.....	<u>12</u>
2.4	Estimation de la courbe de tarage et de ses incertitudes par inférence bayésienne .....	<u>14</u>
3	Méthodologie et outils.....	<u>18</u>
3.1	Identification des contrôles hydrauliques en présence.....	<u>18</u>
3.2	Identification des gammes de hauteurs.....	<u>19</u>
3.3	Définition des a priori hydrauliques.....	<u>20</u>
3.3.1	Utilisation des formules de l'hydraulique classique.....	<u>22</u>
3.3.2	Utilisation de la modélisation hydraulique.....	<u>24</u>
3.3.3	Définition des a priori sur les hauteurs de transition.....	<u>25</u>
3.4	Analyse et sélection des jaugeages.....	<u>26</u>
3.5	L'outil BaRatin.....	<u>26</u>
4	Station de la Sarre à Sarrebourg.....	<u>28</u>
4.1	Informations sur la station.....	<u>28</u>
4.2	Description et analyse hydraulique du site.....	<u>29</u>
4.2.1	Description du site.....	<u>29</u>
4.2.2	Fonctionnement hydraulique du site.....	<u>31</u>
4.2.3	Synthèse de l'analyse hydraulique de la station.....	<u>35</u>
4.3	Données de jaugeage.....	<u>36</u>
4.4	Modélisation hydraulique.....	<u>38</u>
4.4.1	Utilisation de la modélisation.....	<u>38</u>
4.4.2	Données topographiques.....	<u>38</u>
4.4.3	Le modèle hydraulique.....	<u>39</u>
4.5	Détermination des a priori .....	<u>41</u>
4.5.1	Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle.....	<u>41</u>

4.5.2 Synthèse des a priori fournis à BaRatin.....	<u>43</u>
4.6 Résultats et commentaires.....	<u>43</u>
4.6.1 Les résultats en graphiques.....	<u>43</u>
4.6.2 Paramètres calculés par BaRatin.....	<u>45</u>
4.6.3 Conclusions sur la courbe générée.....	<u>46</u>
5 Station de la Sarre à Diedendorf.....	<u>48</u>
5.1 Informations sur la station.....	<u>48</u>
5.2 Description et analyse hydraulique du site.....	<u>49</u>
5.2.1 Description du site.....	<u>49</u>
5.2.2 Fonctionnement hydraulique du site.....	<u>55</u>
5.2.3 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station.....	<u>56</u>
5.3 Données de jaugeage.....	<u>56</u>
5.4 Modélisation hydraulique.....	<u>60</u>
5.4.1 Utilisation de la modélisation.....	<u>60</u>
5.4.2 Données topographiques.....	<u>60</u>
5.4.3 Le modèle hydraulique.....	<u>61</u>
5.5 Détermination des a priori .....	<u>62</u>
5.5.1 Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle.....	<u>62</u>
5.5.2 Synthèse des a priori fournis à BaRatin.....	<u>64</u>
5.6 Résultats et commentaires.....	<u>65</u>
5.6.1 Les résultats en graphiques.....	<u>65</u>
5.6.2 Paramètres calculés par BaRatin.....	<u>67</u>
5.6.3 Conclusions sur la courbe générée.....	<u>68</u>
6 Station de la Sarre à Sarralbe-centre.....	<u>70</u>
6.1 Informations sur la station.....	<u>70</u>
6.2 Description et analyse hydraulique du site.....	<u>71</u>
6.2.1 Description du site.....	<u>71</u>
6.2.2 Fonctionnement hydraulique du site.....	<u>75</u>
6.2.3 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station.....	<u>76</u>
6.3 Données de jaugeage.....	<u>77</u>
6.4 Modélisation hydraulique.....	<u>78</u>
6.4.1 Utilisation de la modélisation.....	<u>78</u>
6.4.2 Données topographiques.....	<u>78</u>



6.4.3 Le modèle hydraulique.....	<u>79</u>
6.5 Détermination des a priori .....	<u>81</u>
6.5.1 Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle.....	<u>81</u>
6.5.2 Synthèse des a priori fournis à BaRatin.....	<u>82</u>
6.6 Résultats et commentaires.....	<u>83</u>
6.6.1 Les résultats en graphiques.....	<u>83</u>
6.6.2 Paramètres calculés par BaRatin.....	<u>84</u>
6.6.3 Conclusions sur la courbe générée.....	<u>86</u>
7 Station de l'Albe à Rech.....	<u>88</u>
7.1 Présentation de la station.....	<u>88</u>
7.2 Description du site.....	<u>89</u>
7.3 Détermination des a priori.....	<u>93</u>
7.3.1 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station.....	<u>93</u>
7.3.2 A priori fournis à BaRatin.....	<u>93</u>
7.4 Données de jaugeages.....	<u>94</u>
7.4.1 Approximation du zéro de l'échelle.....	<u>94</u>
7.4.2 Analyse des jaugeages.....	<u>96</u>
7.5 Résultats et commentaires.....	<u>96</u>
7.5.1 Les résultats en graphique.....	<u>96</u>
7.5.2 Paramètres calculés par BaRatin.....	<u>98</u>
7.5.3 Conclusions sur la courbe générée.....	<u>99</u>
8 Complément d'étude : influence de la Sarre sur l'Albe à Eich.....	<u>100</u>
8.1 Présentation du site.....	<u>100</u>
8.2 Modèle hydraulique.....	<u>101</u>
8.3 Résultats et conclusion.....	<u>102</u>
9 Station de la Sarre à Wittring.....	<u>103</u>
9.1 Informations sur la station.....	<u>103</u>
9.2 Description et analyse hydraulique du site.....	<u>104</u>
9.2.1 Description du site.....	<u>104</u>
9.2.2 Analyse hydraulique de la station.....	<u>110</u>
9.3 Données de jaugeage.....	<u>111</u>
9.4 Modélisation hydraulique.....	<u>112</u>
9.4.1 Utilisation de la modélisation.....	<u>112</u>

9.4.2	Données topographiques.....	<a href="#">112</a>
9.4.3	Le modèle hydraulique.....	<a href="#">113</a>
9.5	Détermination des a priori .....	<a href="#">114</a>
9.5.1	Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle.....	<a href="#">114</a>
9.5.2	Synthèse des a priori fournis à BaRatin.....	<a href="#">116</a>
9.6	Résultats et commentaires.....	<a href="#">117</a>
9.6.1	Les résultats en graphiques.....	<a href="#">117</a>
9.6.2	Paramètres calculés par BaRatin.....	<a href="#">119</a>
9.6.3	Conclusions sur la courbe générée.....	<a href="#">121</a>
10	Station de la Blies à Bliesbruck.....	<a href="#">123</a>
10.1	Informations sur la station.....	<a href="#">123</a>
10.2	Description et analyse hydraulique du site.....	<a href="#">124</a>
10.2.1	Description du site.....	<a href="#">124</a>
10.2.2	Fonctionnement hydraulique du site.....	<a href="#">129</a>
10.3	Données de jaugeage.....	<a href="#">130</a>
10.4	Modélisation hydraulique.....	<a href="#">134</a>
10.4.1	Utilisation de la modélisation.....	<a href="#">134</a>
10.4.2	Données topographiques.....	<a href="#">135</a>
10.4.3	Le modèle hydraulique.....	<a href="#">135</a>
10.5	Détermination des a priori .....	<a href="#">137</a>
10.5.1	Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle.....	<a href="#">137</a>
10.5.2	Synthèse des a priori fournis à BaRatin.....	<a href="#">138</a>
10.6	Résultats et commentaires.....	<a href="#">140</a>
10.6.1	Les résultats en graphiques.....	<a href="#">140</a>
10.6.2	Paramètres calculés par BaRatin.....	<a href="#">141</a>
10.6.3	Conclusions sur la courbe générée.....	<a href="#">142</a>
10.7	Comparaison avec la station de la Blies à Reinheim (Allemagne).....	<a href="#">143</a>
10.7.1	Présentation de la station de la Blies à Reinheim (Allemagne).....	<a href="#">143</a>
10.7.2	Analyse des chroniques de débit.....	<a href="#">145</a>
11	Références bibliographiques.....	<a href="#">151</a>
12	Annexes.....	<a href="#">152</a>
12.1	Synthèse des données.....	<a href="#">153</a>
12.1.1	Station de Sarrebourg (Sarre).....	<a href="#">153</a>

12.1.2 Station de Diedendorf (Sarre).....	<a href="#"><u>157</u></a>
12.1.3 Station de Sarralbe centre (Sarre).....	<a href="#"><u>161</u></a>
12.1.4 Station de Wittring (Sarre).....	<a href="#"><u>164</u></a>
12.1.5 Station de Bliesbruck (Blies).....	<a href="#"><u>169</u></a>

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte et objectifs de l'étude

En 2011, le SPC Rhin-Sarre a sollicité un appui de l'Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique d'Irstea (Lyon) pour une analyse des courbes de tarage (relations hauteur-débit) de plusieurs de ses stations hydrométriques présentant une importance particulière pour les débits de crue. Cet appui s'est inscrit en 2011 et 2012 dans le cadre de la convention SRNH/Irstea (Prévision des inondations, volet Hydrométrie).

Une première liste de 7 stations a été proposée par le SPC (Tableau 1).

1. Sarrebourg (Sarre)
2. Keskastel (Sarre)
3. Diedendorf (Sarre)
4. Sarralbe Centre (Sarre)
5. Wittring (Sarre)
6. Sarralbe Eich (Albe)
7. Bliesbruck (Blies)

Le SPC Rhin-Sarre disposait fin 2011 d'un budget au sein d'un marché de campagne topographique. Les données topographiques initiales sur les différentes stations visées par l'étude étant très incomplètes, il a été décidé que les levés nécessaires à l'étude des courbes de tarage de ces stations constitueraient une priorité.

Après de nombreux échanges (téléphoniques, visio-conférences, courriers électroniques), une visite de terrain menée le 6/09/2011 par Irstea et le SPC a permis de définir ensemble les levés à commander au géomètre. En plus du levé de la section au droit du limnimètre, l'enjeu était de lever des profils en travers et les ouvrages éventuels nécessaires à la construction d'un modèle hydraulique 1D, outil permettant l'analyse hydraulique sur des gammes de hauteurs non jaugées.

Cours d'eau	Stations concernées	Code Hydro	Surface du bassin (km2)	Date mise en service	Cordonnées Lambert II étendu	
					X	Y
Sarre	Sarrebourg	A9021010	311	01/01/1953	946662	2425803
Sarre	Diedendorf	A9091060	733	01/07/1970	946096	2441386
Sarre	Keskastel	A9091050	879	01/01/1967	944301	2451589
Sarre	Sarralbe (centre)	A9200100	1303	21/02/2005	943698	2455499
Sarre	Wittring	A9301010	1716	02/04/1987	951856	2461350
Albe	Sarralbe (Eich)	A9192060	409	01/01/2008	942681	2454562
Blies	Bliesbruck	A9372050	1815	1977	953444	2468475

*Tableau 1: Stations hydrométriques pré-sélectionnées par le SPC Rhin-Sarre pour une étude d'extrapolation.*

L'ensemble des analyses et calculs réalisés sont documentés dans les dossiers de travail et dans le présent rapport. L'ensemble des documents et des modèles hydrauliques sont transmis au service producteur pour ré-analyses et évolutions ultérieures des courbes de tarage.

## **1.2 Sélection des stations hydrométriques étudiées**

Afin de déterminer dans la liste de stations fournie par le SPC Rhin-Sarre lesquelles seront traitées ici, différents critères ont été utilisés.

Le premier est celui des enjeux portés par la station en terme de surveillance du réseau hydrographique. Ensuite, la faisabilité technique est mise en question. Un site soumis à l'influence d'une vanne ou située dans un remous de confluence sera par exemple jugé non adapté. D'autre part, la présence de ponts bas qui entrent en charge très vite rend une telle étude très limitée et donc peu utile. De même, des débordements rapides et complexes, un contournement de la station, sont des obstacles à une représentation pertinente dans un modèle hydraulique 1D.

La station de Keskastel a été écartée de l'étude d'extrapolation en raison d'un débordement rapide qui provoque un contournement important de la station. La station étant relativement bien jaugée avant débordement, l'analyse de la relation hauteur-débit peut se faire jusqu'à la hauteur de débordement sans avoir recours à la modélisation hydraulique. Au delà, la hauteur mesurée à la

station n'est plus représentative de l'écoulement en raison du contournement évoqué précédemment. Par conséquent, aucun complément topographique autre que le levé de la section du limnimètre n'a été demandé, il était préférable que les besoins soient attribués à l'étude des autres stations.

La station de Sarralbe Eich a également été écartée de la liste initiale en raison d'une très probable influence aval en période de crue de la part de la Sarre. En effet, cette station récente située sur l'Albe est assez proche de la confluence avec la Sarre. La pente du lit étant très faible, une influence aval de la Sarre est soupçonnée. Ce cas particulier demande une étude fine et des développements. Un complément d'étude a néanmoins été réalisé et figure dans le présent rapport, venant conforter l'hypothèse d'une influence aval forte.

Ainsi, sur les 7 stations pré-sélectionnées, cinq stations ont été retenues pour application de la méthode d'extrapolation et d'analyse des incertitudes, (méthode BaRatin) développée à Irstea et décrite plus loin.

Enfin, à la demande du SPC, une analyse de la station de l'Albe à Reich a également été réalisée et figure dans le présent rapport.

### **1.3 Calendrier des principales étapes et missions**

- Visite de terrain : 6 septembre 2011
- Dates des CDD IE affectés à cette étude : mai 2011 à mars 2012 (Laurent Bonnifait, 2 mois), puis mars 2012 à décembre 2012 (Raphaël Le Boursicaud, 2 mois)
- Prises de contact avec les partenaires : juin 2011
- Campagne topographique par un géomètre : automne 2011
- Échanges techniques réguliers avec les agents du SPC Rhin-Sarre et les partenaires
- Livraison du rapport provisoire début Octobre 2012
- Réunion de présentation des résultats provisoires fin Octobre 2012
- Livraison du rapport complet avant fin 2012
- Réunion de présentation des résultats finaux avant fin 2012

## 2 Principes méthodologiques

Pour plus de détails sur les concepts et méthodes associés aux incertitudes sur les relations hauteur-débit simples, le lecteur peut se référer à la synthèse bibliographique réalisée par Le Coz, 2011. Les points les plus importants sont repris dans cette section.

### 2.1 Base physique des relations hauteur-débit simples

La méthode la plus répandue pour mesurer une série temporelle continue de débit à une station hydrométrique consiste à établir une relation hauteur-débit (appelée « courbe de tarage », voir par exemple Rantz, 1982, Schmidt, 2002). Cette relation  $Q(h)$  est ensuite utilisée pour convertir en débit un enregistrement continu du niveau d'eau (« limnigramme »).

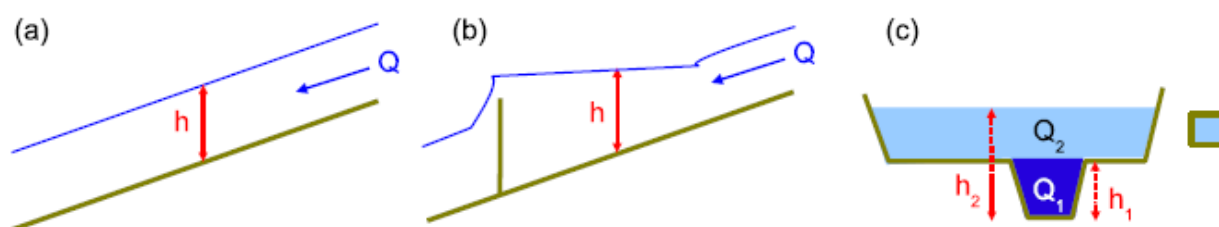


Figure 1: Contrôle hydraulique par le chenal (a) ou par une section de contrôle (b) le long d'un chenal idéalisé. Contrôle hydraulique variable selon la gamme de débit (c), dans une section en travers de lit composé en présence d'un orifice évacuateur de crue.

La base physique de cette méthode indirecte de mesure des débits est le contrôle hydraulique, c'est-à-dire les caractéristiques physiques d'un chenal qui déterminent la relation entre la hauteur et le débit à un emplacement donné dans le chenal. Ce contrôle hydraulique peut être exercé par le chenal dans son ensemble (Figure 1a) ou par une section dite de contrôle, où l'écoulement passe par le régime critique (Figure 1b). La nature du contrôle hydraulique varie selon la gamme de hauteur considérée, par exemple lorsqu'un seuil est noyé, ou que l'écoulement déborde en lit majeur ou active des ouvrages de décharge (Figure 1c).

Une courbe de tarage simple<sup>1</sup> est une relation univoque croissante  $Q(h)$  prévalant à une section de

1 Dans les situations où une relation hauteur-débit ne peut être établie avec des erreurs acceptables, des relations plus complexes, incluant des paramètres supplémentaires comme la pente de l'écoulement, la variation temporelle du niveau d'eau, ou encore une vitesse indice sont parfois développées. Ces

l'écoulement dans les conditions hydrauliques de référence. Le régime hydraulique de référence correspond aux contrôles hydrauliques usuels<sup>2</sup> en régime permanent. Ce régime hydraulique de référence se traduit par une relation  $Q(h)$ , qui par nature ne peut rendre compte de détarages<sup>3</sup> ou d'effets transitoires<sup>4</sup>.

## **2.2 Incertitudes sur les courbes de tarage et les hydrogrammes instantanés**

L'expression de l'incertitude associée aux mesures du débit des cours d'eau est d'une importance cruciale pour les problèmes de ressources en eau et de risques liés aux crues et aux étiages.

L'exactitude et la stabilité d'une courbe de tarage dépendent i) des conditions hydrauliques qui prévalent sur le site, ii) de la connaissance des processus physiques reliant le niveau d'eau et le débit sur le site, et iii) de la disponibilité et de l'incertitude de mesures ponctuelles de débit appelées « jaugeages », servant à étalonner la courbe de tarage.

La méthodologie pour évaluer l'incertitude associée à une relation hauteur-débit, sur une période de temps donnée et pour des conditions hydrauliques données, est toujours une question scientifique ouverte (Le Coz, 2011, Olivier et al., 2008). C'est particulièrement vrai pour ce qui concerne la partie de la courbe extrapolée au-dessus des plus hauts jaugeages disponibles (Lang et al., 2010).

Il convient de distinguer clairement l'incertitude sur la courbe de tarage  $Q(h)$  (i.e. sur la relation hauteur-débit établie pour le régime hydraulique de référence) et l'incertitude sur le débit instantané  $Q(t)$  (hydrogramme) issu de cette même courbe de tarage. Cette deuxième incertitude combine la première composante d'incertitude, ainsi que des composantes liées aux conditions hydrauliques réelles et à l'incertitude sur le niveau d'eau enregistré (limnigramme).

Dans cette étude, une méthodologie développée à Irstea en 2010 est appliquée, qui introduit clairement cette distinction. Elle est une généralisation de la méthode à base hydraulique développée par Lang et al. (2010), la représentation statistique des incertitudes étant précisée et évaluée par inférence bayésienne et simulations Markov Chains Monte Carlo (MCMC). Cette nouvelle méthode est également conforme au Guide ISO NF ENV 13005 (GUM) pour l'expression

---

relations ne sont pas considérées dans le cadre de cette étude.

2 Le régime usuel n'est pas nécessairement uniforme selon la gamme de débit considérée.

3 Variations temporaires ou définitives du contrôle hydraulique, dues à des évolutions morphologiques du chenal, une influence aval, ou à un changement de rugosité lié à la végétation saisonnière, par exemple.

4 Ecart à la relation hauteur-débit de référence dus à la montée ou descente de crue (on parle d'hystérésis).



des incertitudes sur les mesures, qui constitue la référence internationale en la matière. Les incertitudes élargies  $U(Q)$  sont exprimées au niveau de confiance 95% ( $k=2$ , Figure 2).

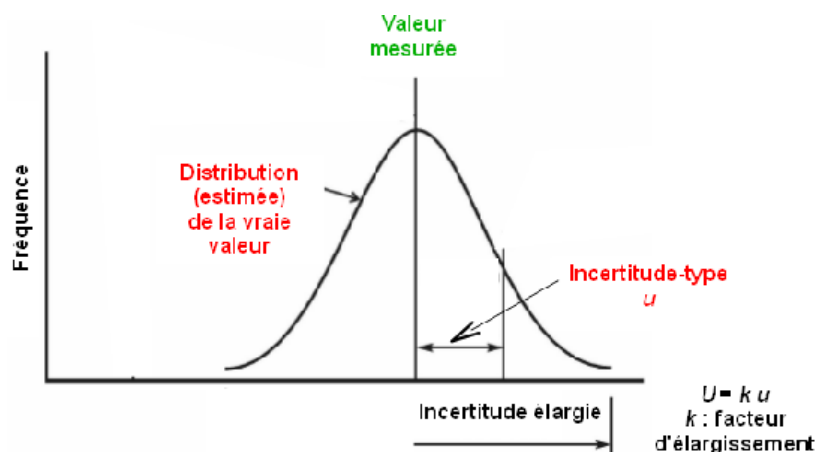


Figure 2: Notion d'incertitude de mesure.

### 2.3 Principes de la méthode proposée

La méthode proposée reprend et modifie<sup>5</sup> la formule de propagation des incertitudes proposée par Olivier et al. (2008) pour le calcul de l'incertitude combinée sur les chroniques de débit instantané issues d'une courbe de tarage  $Q(h)$  :

$$U(Q) = k \sqrt{u_{\text{tarage}}^2(Q) + u_{\text{écart}}^2(Q) + \left[ u(h) \frac{\partial Q}{\partial h} \right]^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

On distingue ainsi trois composantes d'incertitudes :

1. incertitude sur la loi  $Q(h)$  en régime de référence : c'est l'incertitude sur la courbe de tarage proprement dite
2. incertitude due à l'écart aux conditions hydrauliques de référence (contrôles hydrauliques variables, régime transitoire) au temps  $t$
3. propagation de l'incertitude sur le niveau d'eau mesuré au temps  $t$  :  $u(h)$  combine l'incertitude de la mesure ponctuelle de niveau, ainsi que sa représentativité sur l'ensemble de la section<sup>6</sup>. Elle est multipliée par la pente locale de la relation  $Q(h)$ , qui

<sup>5</sup> Dans la formule proposée par Olivier et al. (2008), l'incertitude moyenne des jaugeages se substitue à l'incertitude due à l'écart au régime de référence, notion qui n'est d'ailleurs pas précisée par ces auteurs.

<sup>6</sup> Par exemple, dans le cas d'un limnimètre situé à proximité d'un obstacle comme une pile de pont, la mesure de niveau en crue peut ne pas être représentative de l'écoulement global dans la section, à

traduit la sensibilité du contrôle hydraulique, variable selon la station et la gamme de débit considérées

La première composante, l'incertitude sur la courbe de tarage, sera évaluée pour chaque station hydrométrique étudiée dans cette étude, selon la méthode développée plus loin.

Les deux autres composantes s'appliquent au débit instantané  $Q(t)$  issu de la station hydrométrique à l'instant  $t$  (hydrogramme).

L'incertitude due à l'écart au régime de référence à cause d'une modification du contrôle hydraulique usuel est la plus difficile à évaluer. Elle doit nécessairement être appréciée au cas par cas, à partir des jaugeages, éventuellement d'une modélisation, et d'une analyse des causes du détarage (exemples : végétation saisonnière, influence aval, érosion...). Quand le détarage est établi et non négligeable, il n'y a pas d'autre solution que de réactualiser la courbe de tarage, ou de recourir à des relations plus complexes qu'une simple  $Q(h)$ .

L'incertitude due à l'écart au régime de référence à cause d'effets transitoires (hystérésis) peut très simplement être évaluée à l'aide de la formule de Jones (1916), qui exprime l'écart entre le débit en régime de référence ( $Q_{ref}$ ) et le débit en régime réel au temps  $t$  ( $Q_m$ ) ainsi :

$$Q_{ref} = Q_m \left[ 1 + \frac{1}{S_{ref} C} \frac{dh}{dt} \right]^{-1/2} \quad (\text{Eq. 2})$$

avec :

- $S_{ref}$  pente de l'écoulement en régime de référence (proche de la pente moyenne du fond)
- $C$  célérité de l'onde de crue,  $C \sim 1/B \cdot dQ/dh$  avec  $B$  la largeur du chenal et  $dQ/dh$  estimé à partir de la courbe de tarage
- $dh/dt$  la variation temporelle de hauteur d'eau

Enfin, la propagation de l'incertitude sur le niveau d'eau nécessite simplement l'estimation de  $u(h)$  à partir des caractéristiques du limnimètre et de la section de mesure.

A partir des concepts qui viennent d'être présentés, la méthode proposée se structure donc autour d'une inférence bayésienne réalisée dans le cadre du régime hydraulique de référence de la courbe de tarage (Figure 3). A l'aide de simulations MCMC, l'outil BaRatin<sup>7</sup> fournit la distribution a posteriori de la courbe de tarage, à partir d'*a priori* hydrauliques et de l'information contenue dans les observations (jaugeages).

Un jaugeage doit être considéré comme une estimation à  $h$  donné du débit  $Q$  de la courbe de

---

cause de la déformation locale de la surface libre.

<sup>7</sup> BAYesian RATINg curve analysis (Irstea, Renard, et al. 2011).

tarage, et non pas simplement comme une mesure directe de  $h$  et  $Q$  pendant une durée réduite, dans des conditions hydrauliques données. Il faut donc évaluer l'incertitude associée au débit<sup>8</sup> de chaque jaugeage, qui sera prise en compte individuellement par l'inférence bayésienne<sup>9</sup>. L'implémentation pratique de cette méthode est présentée dans la section suivante.

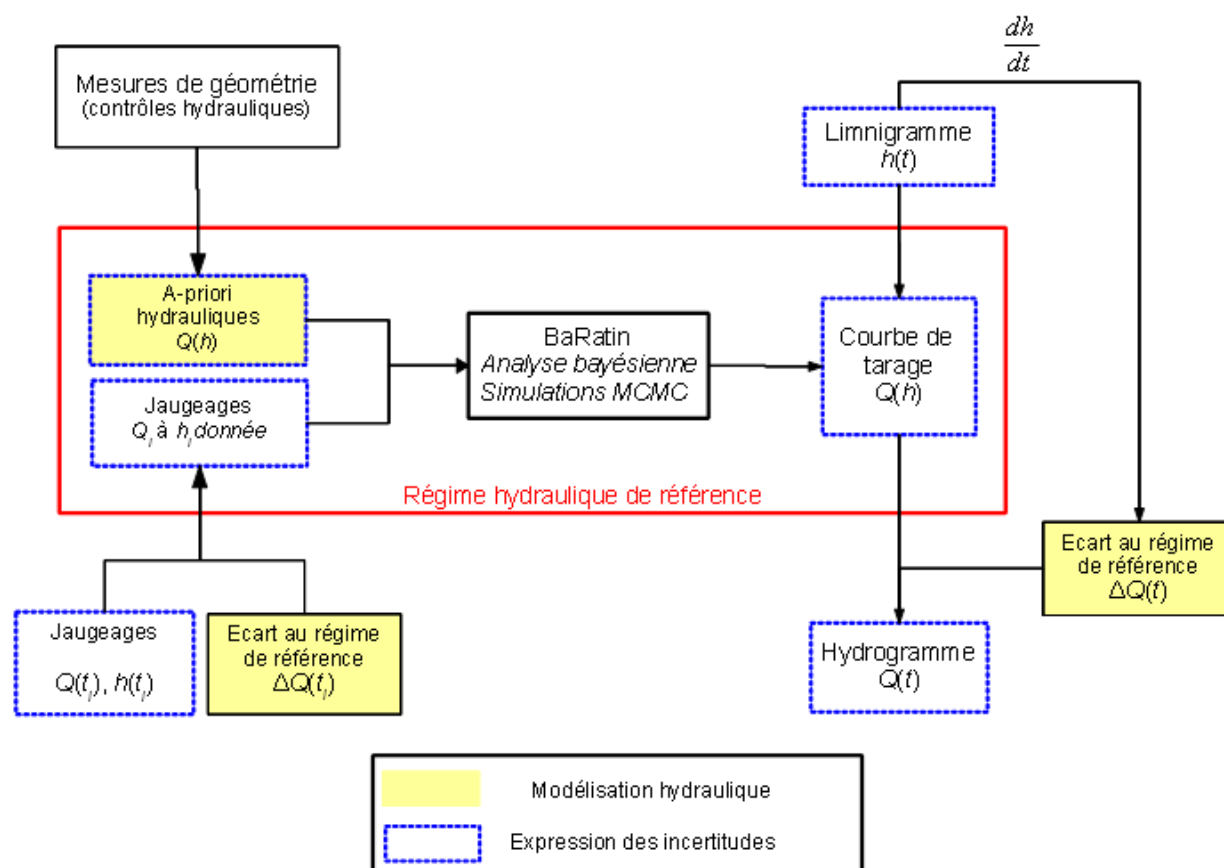


Figure 3: Cadre général de la méthode d'établissement des courbes de tarage et de leurs incertitudes

## 2.4 Estimation de la courbe de tarage et de ses incertitudes par inférence bayésienne

L'établissement de la courbe de tarage et de ses incertitudes par inférence bayésienne est réalisée à l'aide de l'outil BaRatin (Irstea, Renard, et al. 2011). Les hypothèses de bases sont les suivantes. On considère que l'erreur  $\epsilon_i^Q$  sur chaque débit jaugé  $\tilde{Q}_i$  suit une loi de distribution gaussienne d'écart-type (i.e. incertitude-type) connu  $u_i^Q$ . On considère également que l'erreur

<sup>8</sup> L'incertitude due à un niveau variable durant le jaugeage doit donc être reportée sur  $Q$ .

<sup>9</sup> C'est un immense avantage pour pouvoir utiliser des jaugeages de crue plus incertains mais utiles, sans qu'ils ne contraignent trop fortement la courbe de tarage finale.

$\epsilon_i^f$  sur la relation hydraulique théorique  $f$  de paramètres  $\theta$  suit une loi de distribution gaussienne d'écart-type constant inconnu  $\sigma_f$ , appelée incertitude restante<sup>10</sup>. Sous hypothèse d'indépendance des erreurs, on obtient les équations suivantes :

$$\begin{aligned}\tilde{Q}_i &= Q_i + \epsilon_i^Q & \epsilon_i^Q &\sim N(0, u_i^Q) \\ Q_i &= f(H_i / \vec{\theta}) + \epsilon_i^f & \epsilon_i^f &\sim N(0, \sigma_f) \\ \tilde{Q}_i &= f(H_i / \vec{\theta}) + \epsilon_i^f + \epsilon_i^Q & \epsilon_i^f + \epsilon_i^Q &\sim N(0, \sqrt{\sigma_f^2 + (u_i^Q)^2})\end{aligned}\quad (\text{Eq. 3})$$

Les entrées du simulateur sont donc :

- le forçage des lois hydrauliques spécifiées par l'utilisateur (puissances par morceaux)
- les distributions *a priori* des paramètres  $\theta$  de ces lois (y compris les hauteurs de transitions entre gammes)
- les jaugeages et leurs incertitudes associées  $H_i, \tilde{Q}_i, u_i^Q$

Ensuite, des simulations Monte Carlo Markov Chains (typiquement  $10^4$  à  $10^5$  réalisations) sont effectuées et permettent d'estimer les distributions a posteriori des paramètres hydrauliques  $\theta$  et de l'incertitude restante  $\sigma_f$  (Figure 4).

---

<sup>10</sup> Cette incertitude est due à l'approximation de la relation  $Q(h)$  réelle, dans le régime hydraulique de référence, par le cadre mathématique restreint à des lois puissances par morceaux.

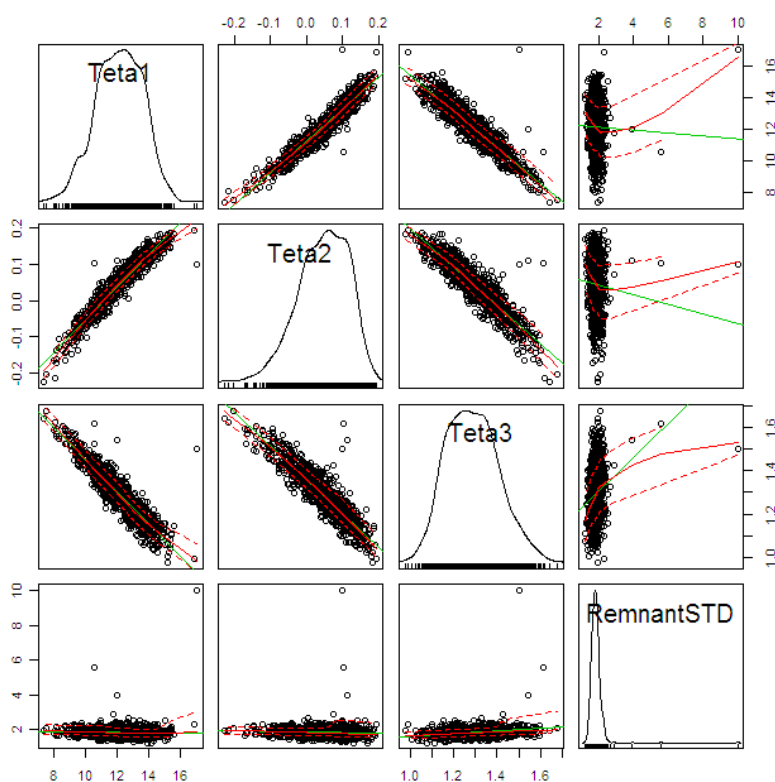


Figure 4: Distributions a posteriori des paramètres  $\theta$  et  $\sigma_f$ , à partir des simulations MCMC réalisées par l'outil BaRatin (Irstea)

Il est alors possible d'estimer la courbe de tarage :

- soit à partir du jeu de paramètres qui maximise la densité de la distribution a posteriori ( $Q(h)$  Max\_post)
- soit comme un barème (non paramétrique) dont chaque point est la médiane de l'ensemble des réalisations de courbes de tarage simulées

On fournit au SPC Rhin-Sarre la première courbe<sup>11</sup>, car elle a l'avantage d'être paramétrique, et donc fiable aux *a priori* hydrauliques. En pratique, les deux courbes sont le plus souvent équivalentes. Cette courbe est fournie sous forme de formule mathématique paramétrée, et sous forme de barème. Elle est comparée à la courbe de tarage en vigueur<sup>12</sup>.

L'incertitude paramétrique sur cette courbe de tarage est calculée comme l'intervalle de confiance à 95% basé sur les quantiles à 2,5% et 97,5% de l'ensemble des réalisations de courbes de tarage

<sup>11</sup> affichée en bleu sur les graphiques de résultats.

<sup>12</sup> affichée en rouge sur les graphiques de résultats.

simulées<sup>13</sup>. L'incertitude totale sur la courbe de tarage<sup>14</sup> (exprimée à un niveau de confiance de 95%) est la combinaison de cette incertitude paramétrique et de l'incertitude restante  $\sigma_r$ .

---

13 intervalle pointillé affiché sur les graphiques de résultats.

14 intervalle grisé affiché sur les graphiques de résultats.

### 3 Méthodologie et outils

Avant toute construction de la courbe de tarage, une analyse hydraulique approfondie de chaque site étudié est indispensable à partir des observations et des données disponibles. Dans le cas de cette étude, cette étape a pu s'appuyer sur :

- la collecte des données et informations disponibles réunies par le SPC Rhin-Sarre et Irstea, en particulier les jaugeages, métadonnées sur chaque station, données topographiques, photos, vidéos, cartes et observations sur l'hydraulicité, pour différents régime de débit
- une visite technique sur le terrain et des échanges avec les jaugeurs en vue d'affiner la connaissance des conditions d'écoulement en hautes eaux sur chacun des sites étudiés

Le but de ces analyses est de pouvoir fournir à BaRatin des *a priori* réalistes sur les paramètres hydrauliques de la courbe de tarage.

#### 3.1 Identification des contrôles hydrauliques en présence

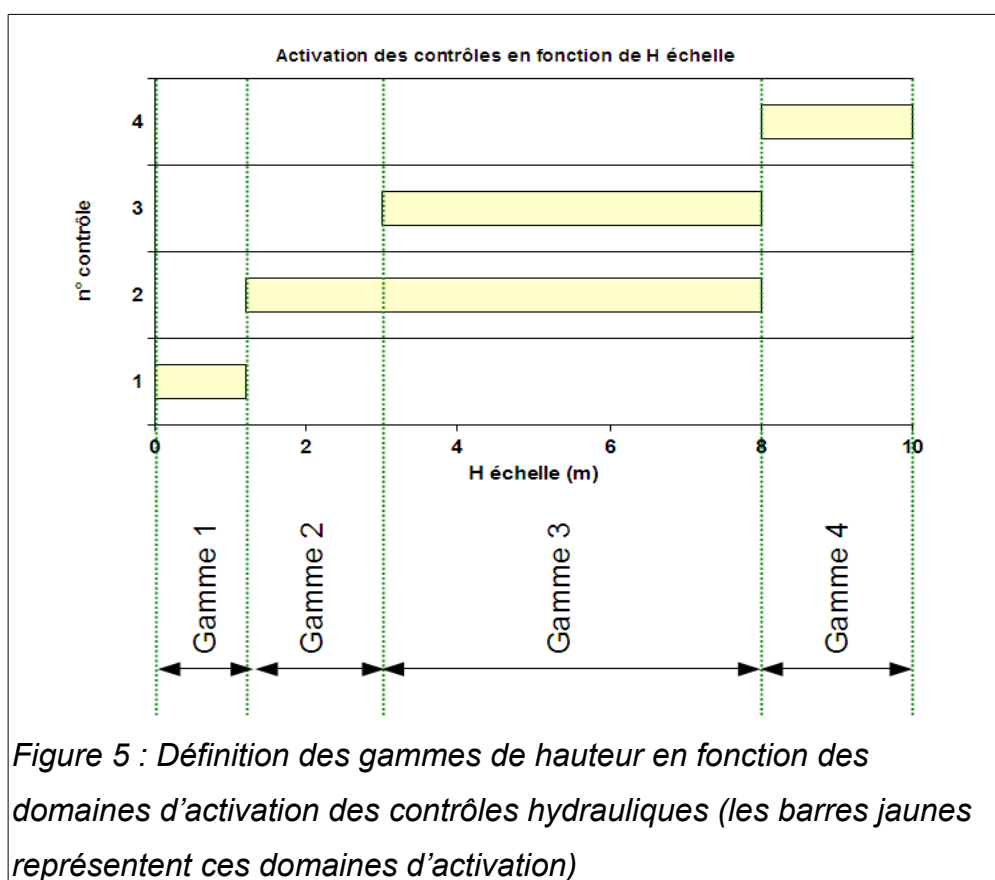
La première étape de la méthode présentée ici est une analyse du fonctionnement hydraulique du site. Cela consiste tout d'abord à identifier les différents contrôles hydrauliques qui participent à l'écoulement pour les différents régimes hydrauliques, des basses eaux aux plus forts débits. Les contrôles les plus courants sont les radiers naturels, les seuils, horizontaux ou triangulaires, les contrôles par le chenal (de type Manning-Strickler, par le lit mineur ou le lit majeur), et plus rarement les ponts en charge.

Selon leur nature, la topographie et/ou leur conception, ces contrôles s'activent et se désactivent à des niveaux d'eau qu'il faudra estimer afin de décrire précisément le fonctionnement hydraulique du site.

#### 3.2 Identification des gammes de hauteurs

Après avoir identifié les différents contrôles hydrauliques, il s'agit maintenant de déterminer les hauteurs à l'échelle pour lesquelles ils s'activent, et éventuellement se désactivent. Ce faisant, on met en évidence l'existence de gammes de hauteur sur lesquelles le fonctionnement hydraulique est stable (i.e. aucun contrôle ne s'active ou ne se désactive entre ses bornes). La Figure 5

représente graphiquement le principe d'une gamme de hauteur.



L'exemple de la Figure 5 peut se traduire ainsi, la numérotation des gammes de hauteur allant croissante avec les hauteurs d'eau considérées :

- Sur la gamme de hauteur 1 qui correspond aux bas débits, l'écoulement est seulement contrôlé par le contrôle 1, un radier naturel par exemple.
- Sur la gamme de hauteur 2, le contrôle 2 prend le relais du contrôle 1. Exemple : l'ennoisement d'un radier naturel se traduit souvent par la disparition du contrôle par ce radier et l'activation d'un contrôle de type Manning-Strickler par le chenal du lit mineur.
- Sur la gamme de hauteur 3, le contrôle 3 vient s'ajouter au contrôle 2, cas typique d'un contrôle par le chenal d'un lit majeur qui vient se superposer au contrôle par le chenal d'un lit mineur à la faveur d'un débordement.
- Sur la gamme de hauteur 4, les contrôles 2 et 3 sont désactivés et le contrôle 4 est actif. Ce cas peut par exemple s'observer lorsqu'un pont entre en charge et que le contrôle ainsi créé supplante tous les autres.



Ainsi, au terme de l'analyse hydraulique, il est possible d'établir un tableau similaire au Tableau 2 qui en synthétise les conclusions.

n° Gamme	Hmin	Hmax	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3	Contrôle 4
			Radier	Chenal lit mineur	Chenal lit majeur	Pont en charge
1						
2						
3						
4						

*Tableau 2 : Synthèse de l'analyse hydraulique (les cases en vert représentent l'activation du contrôle sur une gamme de hauteur)*

A noter que les gammes de hauteurs sont contiguës, le Hmax de la gamme  $i$  étant rigoureusement égal au Hmin de la gamme  $i+1$ .

Les bornes des gammes de hauteur se définissent à partir de l'analyse topographique du site. Par exemple la hauteur d'enneigement d'un seuil ou d'un radier et donc de la désactivation du contrôle associé peut se calculer. Autre exemple, la hauteur d'activation d'un contrôle par le chenal du lit majeur correspond à la hauteur de débordement.

Du fait de la décomposition du fonctionnement hydraulique en plusieurs gammes de hauteur, il en découle que la courbe de tarage peut être construite par partie, chacune d'entre elle correspondant à une gamme de hauteur et à un fonctionnement hydraulique particulier.

### **3.3 Définition des a priori hydrauliques**

Les formules hydrauliques usuelles permettent de définir une courbe de tarage sous forme de lois puissances par morceaux. En effet, pour chaque contrôle hydraulique identifié, la relation hauteur-débit qui lui est associée peut être approchée de façon acceptable par l'équation de base suivante<sup>15</sup> :

$$Q = a(h - b)^c \quad (\text{Eq. 4})$$

Or il a été vu précédemment qu'une courbe de tarage peut se composer par partie, chaque partie correspondant sur une gamme de hauteur à un fonctionnement hydraulique homogène. Excepté

<sup>15</sup> Erreur fréquemment rencontrée : omettre le zéro hydraulique  $b$ , donc ne pas réussir à caler une loi puissance, et se rabattre vers le calage d'un polynôme sans base physique

pour un certain nombre de cas particuliers qui ne seront pas abordés ici, pour chaque gamme de hauteur le débit peut donc s'exprimer sous la forme suivante :

$$Q = \sum_1^n a_i (h - b_i)^{c_i} \quad (\text{Eq. 5})$$

Avec  $n$  le nombre de contrôles actifs sur la gamme de hauteur considérée, et  $i$  l'indice du contrôle hydraulique.

En vue de l'inférence bayésienne réalisée avec l'outil BaRatin, les distributions *a priori* des paramètres  $a$ ,  $b$ ,  $c$  pour chaque contrôle hydraulique, ainsi que des hauteurs de transitions entre gammes, doivent être spécifiées. En pratique, on suppose une distribution gaussienne de ces paramètres, on doit donc donner la **valeur centrale et l'écart-type de la distribution de chacun d'entre-eux**.

La distribution des paramètres étant supposée gaussienne, l'écart-type à attribuer à un paramètre  $p$  se calcule selon l'équation 6, considérant  $p_{\max}$  et  $p_{\min}$  les valeurs extrêmes à un niveau de confiance de 95 %.

$$\sigma_p = \frac{|p_{\max} - p_{\min}|}{4} \quad (\text{Eq. 6})$$

Cela constitue un moyen simple d'évaluer l'écart-type d'un paramètre à partir de valeurs minimales et maximales de celui-ci.

Note : comme les paramètres  $a$  et  $c$  sont en pratique fortement corrélés, on spécifie un écart-type étroit (généralement 0.05) sur les valeurs d'exposant  $c$  qui sont précisées par les lois hydrauliques classiques.

### 3.3.1 Utilisation des formules de l'hydraulique classique

Selon la nature du contrôle hydraulique en jeu, la théorie hydraulique fournit une connaissance précise de l'exposant  $c$ , et permet d'évaluer les paramètres  $a$  et  $b$  à partir des caractéristiques géométriques et hydrauliques du chenal ou de la section de contrôle.

Il est à noter que pour une courbe de tarage par morceaux, le paramètre  $b$  ne sera nécessaire que pour le premier contrôle hydraulique (les plus basses eaux). Pour les lois-puissance suivantes, le paramètre  $b$  est défini par continuité et ne doit pas être fourni à BaRatin.

- **Estimation des valeurs centrales :**

Les lois classiques suivantes peuvent être utilisées :

**Formule de Manning-Strickler** (contrôle par un chenal en régime permanent uniforme), simplifiée pour une section rectangulaire large :

$$Q = K B \sqrt{J} (h - h_0)^{5/3} \quad (\text{Eq. 7})$$

avec  $K$  coefficient de résistance à l'écoulement (ou « Strickler »),  $B$  largeur du chenal,  $J$  pente d'énergie de l'écoulement,  $h_0$  niveau de référence du fond du chenal considéré.

Ainsi, dans le cas présent et par analogie avec l'équation 4 on peut exprimer :

$$a = K B \sqrt{J}$$

$$b = h_0 = H_{\text{fond}}$$

$$c = 1.67$$

**Formule de déversoir/seuil rectangulaire à crête horizontale :**

$$Q = C B \sqrt{2g} (h - h_0)^{3/2} \quad (\text{Eq. 8})$$

avec  $C$  coefficient de débit (0,4 par défaut),  $B$  largeur de la section de contrôle,  $g$  accélération de la gravité,  $h_0$  niveau de la crête du seuil.

Ainsi, dans le cas présent et par analogie avec l'équation 4 on peut exprimer :

$$a = C B \sqrt{2g}$$

$$b = h_0 = H_{\text{crête}}$$

$$c = 1.50$$

**Formule d'orifice** (utilisée pour représenter la mise en charge d'un pont)

$$Q = C S \sqrt{2g} (h_{\text{amont}} - h_{\text{aval}})^{1/2} \quad (\text{Eq. 9})$$

avec  $C$  coefficient de débit (0,6 par défaut),  $S$  aire de la section mouillée en  $\text{m}^2$ ,  $h_{\text{amont}}$  hauteur de

l'eau à l'amont de l'ouvrage et  $h_{\text{aval}}$  hauteur d'eau à l'aval de l'ouvrage.

Ainsi, dans le cas présent et par analogie avec l'équation 4 on peut exprimer :

$$a = C S \sqrt{2g}$$

$$b = H_{\text{fond}}$$

$$c = 0.50$$

- Estimation des écarts-type

Rappel : les paramètres  $a$  et  $c$  sont en pratique fortement corrélés, on spécifie donc un écart-type étroit (généralement 0.05) sur les valeurs d'exposant  $c$  qui sont précisées par les lois hydrauliques classiques.

Ainsi, parmi les paramètres  $a$ ,  $b$  et  $c$  de chaque contrôle hydraulique identifié, il est nécessaire d'évaluer un écart-type pour les paramètres  $a$ , pour le paramètre  $b$  du contrôle 1 (les autres étant évalués par continuité).

D'après la formule 6, le calcul d'un écart-type d'une distribution gaussienne peut se faire à partir des valeurs minimales et maximales du paramètre considéré à un niveau de confiance de 95 %.. Les valeurs min et max du paramètre sont calculées à partir des équations de l'hydraulique classique explicitées précédemment. En effet, les paramètres physiques utilisés dans ces formules sont estimés avec une certaine incertitude. Ainsi, on peut définir pour chacun de ces paramètres physiques une estimation minimale et une estimation maximale. Par conséquent, on peut alors calculer l'écart-type avec l'équation 6.

### 3.3.2 Utilisation de la modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique repose sur les équations présentés précédemment. L'utilisation d'un modèle nous permettra d'affiner et de vérifier la cohérence des coefficients pour chaque station.

- Estimation des valeurs centrales

Afin d'estimer les valeurs centrales *des a priori*, le modèle hydraulique sera paramétré avec des valeurs de paramètres réalistes, et les résultats seront comparés à des jaugeages cohérents entre eux, par exemple à débits moyens, plus nombreux que pour des débits forts. Si l'accord est acceptable, des simulations sont réalisées en régime permanent pour couvrir toute la gamme de hauteur désirée. Dans l'éventualité où l'écart entre les jaugeages et le modèle hydraulique serait trop important, le modèle sera réétudier afin de trouver la cause du désaccord (souvent lié à

l'absence dans la géométrie de la section de contrôle). Les lois puissances identifiées lors de l'analyse hydraulique sont ensuite calées sur les résultats de ces simulations. Le résultat de ce calage des lois puissance donne les valeurs centrales recherchées.

- Estimation des écarts-type

L'équation 6 impose de calculer des valeurs minimales et maximales pour les paramètres à 95 %. Dans cette optique, le paramétrage du modèle hydraulique est modifié pour fournir une hypothèse basse et une hypothèse haute. De façon classique, c'est le coefficient de Strickler qui sert de levier pour la mise en œuvre de ces hypothèses. La présence d'un ouvrage offre en plus la possibilité de modifier le coefficient d'ouvrage. Grâce à ces paramètres du modèles hydrauliques, il est possible de générer des hypothèses hautes et basses du fonctionnement hydraulique du site. Un calage des lois puissances sur ces simulations permet d'obtenir pour chaque paramètre une valeur minimale et maximale, et donc un écart-type via l'équation 6.

Dans le cas où peu de données existent sur la gamme considérée, comme ce sera souvent le cas pour les gammes de forte hauteur, les résultats d'une modélisation hydraulique seront exploités pour évaluer les valeurs des écarts-type.

Considérant les valeurs de calage sur les jaugeages, un paramétrage représentatif d'une hypothèse lisse et un représentatif d'une hypothèse rugueuse seront définis. Une loi puissance sera calée sur chacune de ces simulations en conservant à la fois l'exposant attribué à cette gamme, et le paramètre  $b$  issu de la topographie. Ainsi, à partir du  $a_{\text{lisse}}$  et du  $a_{\text{rugueux}}$ , l'écart-type à attribuer au paramètre  $a$  sera calculé selon l'équation 6.

En complément de l'analyse hydraulique du site et des données disponibles, la modélisation numérique est en effet un outil utile pour préciser les *a priori* hydrauliques. Elle permet de préciser les transitions entre contrôles hydrauliques successifs<sup>16</sup>, et fournit une base physique pour les extrapolations de la courbe de tarage dans les gammes peu ou pas jaugeées. Il est alors possible de modéliser, avec des incertitudes significatives, l'information absente des jaugeages, associée au débordement, à la végétation et aux obstacles du lit majeur, aux ouvrages (ponts, orifices, bâtiments), et aux pertes de charge singulières de toute nature... Enfin, à partir de tests de sensibilité sur les paramètres de calage du modèle, dans une gamme de variation réaliste, les

---

16 Ce point est très important pour éviter d'utiliser des jaugeages correspondant à un contrôle hydraulique donné pour caler une relation  $Q(h)$  correspondant à un contrôle hydraulique indépendant du premier (erreur de modélisation souvent rencontrée : caler la modélisation de l'écoulement débordant avec uniquement des jaugeages à très bas débits contrôlés par un seuil).

incertitudes sur les paramètres des distributions *a priori* sont évaluées.

Chaque site étudié dans ce travail a été modélisé avec un code de simulation numérique 1D (logiciel MAGE ou RubarBE, Irstea). Dans certains cas, une modélisation 2D serait nécessaire pour mieux représenter les écoulements débordants. Toutefois, dans le temps limité de l'étude appliquée à un jeu important de stations, il n'est jamais apparu judicieux de se lancer dans une telle modélisation, dans la mesure où les écoulements débordants étaient complexes et remettaient en cause la représentativité du point de mesure limnimétrique appliqué au contrôle hydraulique. Nous sortirions alors du cadre hydrométrique de la présente étude (contournement, destruction ou situation hors du contrôle hydraulique propre du capteur limnimétrique), pour aller vers des études d'inondabilité ou de retour d'expérience sur événement extrême.

De nombreuses données sont utiles pour la modélisation, en particulier les données minimales de bathymétrie et de géométrie du lit majeur (tirée du MNT lidar si disponible) et des ouvrages, complétées par des mesures hydrauliques, lignes d'eau, laisses de crue, photos, etc. A défaut de données précises, les données de topographie ont parfois été complétées par lecture de photos aériennes ou de la carte IGN au 1/25 000ème.

### **3.3.3 Définition des *a priori* sur les hauteurs de transition**

- Estimation des valeurs centrales

Les valeurs centrales des hauteurs de transition correspondent aux hauteurs identifiées lors de l'analyse hydraulique.

- Estimation des écarts-type

Une hauteur de transition est souvent connue à « x » cm près. Cette fourchette d'incertitude permet de calculer l'écart-type recherché grâce à l'équation 6.

## **3.4 Analyse et sélection des jaugeages**

Tous les jaugeages disponibles sont systématiquement analysés et critiqués, en fonction de leur date et des conditions hydrauliques. Une attention particulière doit être portée au raccordement des niveaux en altitude, surtout si l'échelle graduée de référence a connu des modifications ou un déplacement.

Selon la technique employée et les conditions de mesure, l'incertitude individuelle des jaugeages

est évaluée simplement selon les méthodes simplifiées proposées par Le Coz et al. (2011, guide Onema). Cette incertitude est typiquement prise égale à 7% pour les débits jaugés au saumon par intégration pour une dizaine de verticales, et à 5% pour un jaugeage par ADCP<sup>17</sup>. Une méthode généralisée d'estimation des incertitudes sur les jaugeages par exploration du champ des vitesses conforme à la norme ISO748 a été développée à Irstea (Le Coz et al., 2012, FMI). Elle permettra d'affiner cette étape si besoin.

Dans la présente étude, les informations concernant la méthode utilisée pour chacun des jaugeages ayant été jugées douteuses nous avons choisi de retenir une incertitude de 7 % pour l'ensemble des jaugeages, y compris pour les jaugeages ADCP.

Notons que cette hypothèse n'aura que peu d'impact sur les résultats de l'étude.

### **3.5 L'outil BaRatin**

Le logiciel a été développé au sein de l'équipe Hydrologie-Hydraulique d'Irstea Lyon, par Benjamin Renard, Laurent Bonnifait, Jérôme Le Coz et Flora Branger ; et utilise la librairie Fortran DMSL développée par Dmitri Kavetski de l'Université d'Adélaïde, Australie.

Cet outil, développé au cours des dernières années, utilise l'ensemble des principes présentés précédemment pour fournir en sortie un jeu de courbes de tarage simulées à partir des distributions *a posteriori* des paramètres, ainsi que la courbe de tarage correspondant aux valeurs de paramètres les plus probables, et l'intervalle de confiance à 95%.

BaRatin et son interface graphique BaRatinAGE (Advanced Graphical Environment) sont distribués gratuitement sur acceptation individuelle des termes de la licence. Une intégration dans le logiciel Bareme est en cours.

---

17 Profileurs acoustiques de courant par effet Doppler (acoustic Doppler current profilers)

## 4 Station de la Sarre à Sarrebourg

### 4.1 Informations sur la station

- Code de la station : A9021010
- Rivière : Sarre
- Date d'installation : 01/01/1953
- Z0 échelle : 243.42 m IGN 69, levé topo 2011
- Bassin versant : 311 km<sup>2</sup>
- Pente locale du lit : 0.0013
- Hauteur minimale enregistrée à l'échelle depuis 2010 : 1.02 m
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0.95 m

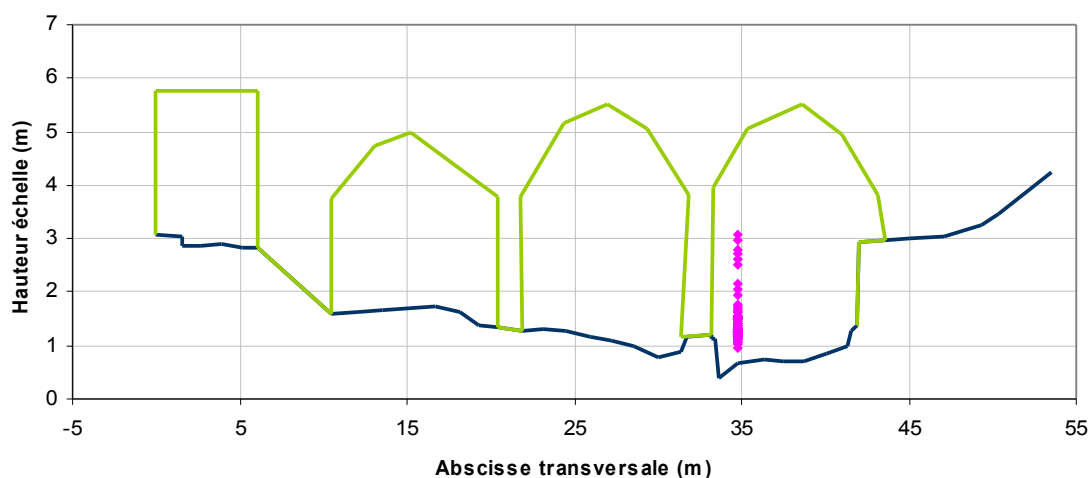


Figure 6: Section en travers au droit du limnimètre (en rose, les hauteurs correspondant aux jaugages disponibles et en vert les arches du pont SNCF)



## 4.2 Description et analyse hydraulique du site

### 4.2.1 Description du site

La station sur la Sarre à Sarrebourg a été installée en 1953 à l'amont immédiat d'un pont SNCF situé à 150 m au sud ouest de la gare. Ce pont d'environ 50 m de long comprend trois arches et un tunnel routier (Figure 6 et Figure 7).



*Figure 7 : le pont SNCF depuis le pont routier amont à bas débit*

A environ 50 m à l'amont, la Sarre est couverte par un large pont routier qui sert de stationnement (Figure 8). Ce pont est de section rectangulaire et sert d'emplacement pour les jaugeages de crue.

Entre les deux ponts la présence d'un large remblai en rive gauche provoque un important rétrécissement du lit visible sur les Figure 7 et Figure 9. La section au niveau du remblai s'élargit brusquement lors de la submersion de celui-ci, ce qui a inmanquablement un effet sur l'hydraulique du tronçon.



*Figure 8 : aval du pont routier amont depuis la rive droite*



*Figure 9 : le pont routier amont depuis le pont SNCF*

## 4.2.2 Fonctionnement hydraulique du site

- Bas débits

L'écoulement s'effectue côté droit, au pied de la station (Figure 7). Le contrôle hydraulique, peu sensible et potentiellement instable, est ici assuré par un radier naturel de type gravelo-sableux avec végétation fournie, situé sous l'arche de droite (Figure 10).



*Figure 10 : intérieur de l'arche de droite du pont SNCF à bas débit*

- Débits moyens

Les deux arches de droite, voire les trois arches du pont SNCF sont activées (Figure 11). Le contrôle hydraulique est alors assuré par un chenal peu uniforme en raison du rétrécissement qui n'est pas encore noyé à ce stade. Le rétrécissement constitue un verrou hydraulique qui contrôle le débit à la station.



*Figure 11 : le site depuis le pont routier amont lors d'une crue à débit moyen*

- Débits forts

Le remblai est submergé et le tunnel routier situé côté gauche peut même être inondé à son tour (Figure 12) ; la station est alors relativement vulnérable comme on peut le voir Figure 15. Pour des niveaux d'eau supérieurs, un débordement en zone urbaine rive droite a lieu, contenu par le remblai SNCF. Il est à noter également que le pont « parking » à l'amont peut entrer en charge avant le pont SNCF comme le montrent les Figure 12 et Figure 14 qui sont des photographies prises lors d'une crue forte mais pas exceptionnelle.

- Limite supérieure d'exploitation

Cette limite correspond au contournement du pont SNCF au dessus des voies en rive droite. En effet, les voies ferrées sont moins élevées au niveau de la gare qu'au niveau du pont. A ces niveaux d'eau, l'abri de la station est atteint et il est possible que le capteur soit hors d'état de marche.





*Figure 12 : le site depuis le pont routier amont lors d'une crue à fort débit*



*Figure 13 : le pont SNCF depuis la station lors d'une crue à fort débit*



*Figure 14 : le pont routier amont depuis la station lors d'une crue à fort débit*



*Figure 15 : le local de la station lors d'une crue*

### 4.2.3 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station

Après analyse du site, son fonctionnement hydraulique peut se décomposer en trois gammes de hauteurs :

- Gamme 1 : représentative des bas débits et de leur contrôle par le radier naturel identifié. Ce dernier pourra être représenté par une relation de seuil.
- Gamme 2 : représentative des débits moyens et de leur contrôle par la géométrie du lit mineur situé en face du remblai. Ce fonctionnement pourra se modéliser par une relation de Manning-Strickler.
- Gamme 3 : représentative des forts débits et de leur contrôle par le banc situé en rive gauche, quelques mètres en amont du limnimètre. Le fonctionnement hydraulique reste en partie contrôlé par le lit mineur. Les orifices du pont SNCF, à savoir les trois arches et le tunnel routier, sont également pris en compte dans le modèle mais ne semblent pas opérer de contrôle significatif sur le fonctionnement hydraulique, l'arche gauche du pont SNCF étant en partie masquée par le remblai. Ainsi nous utilisons deux relations de Manning-Strickler pour cette gamme : celle du lit mineur, à laquelle vient s'ajouter celle du lit moyen situé au dessus du banc.

La limite supérieure de cette gamme est atteinte lors de la mise en charge du pont amont, soit pour une valeur d'environ 4,5m à l'échelle limnimétrique. Pour l'étude nous fourniront une extrapolation allant jusqu'à une hauteur d'échelle de 5m.

La modélisation des écoulements après la mise en charge du pont ferait intervenir un trop grand nombre d'hypothèses étant donné le fort risque de contournement de la section du limnimètre pour de telles hauteurs d'eau.

Le fonctionnement hydraulique du site est synthétisé dans le tableau suivant :

n° Gamme	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
	<i>Radier</i>	<i>Lit mineur</i>	<i>Banc rive gauche</i>
1			
2			
3			

Tableau 3 : Synthèse de l'analyse hydraulique de la Sarre à Sarrebourg

### 4.3 Données de jaugeage

Les jaugeages disponibles couvrent la période de 1995 à aujourd'hui avec une moyenne d'environ 6 jaugeages par an.

La Figure 16 montre que la station a été bien jaugeée jusqu'à une hauteur échelle de 1.80 m mais aussi pour des débits moyens à forts jusqu'à une hauteur échelle de 3,07 m, bien que de façon moins fréquente. Deux jaugeages ont d'ailleurs été réalisés lorsque le tunnel routier est en eau, ce qui se produit à partir d'environ 3 m. Ces deux jaugeages sont facilement identifiables sur la Figure 16 : ils marquent une rupture brutale avec l'évolution de la relation  $Q(h)$  précédente et témoignent clairement de l'activation d'un nouveau contrôle hydraulique.

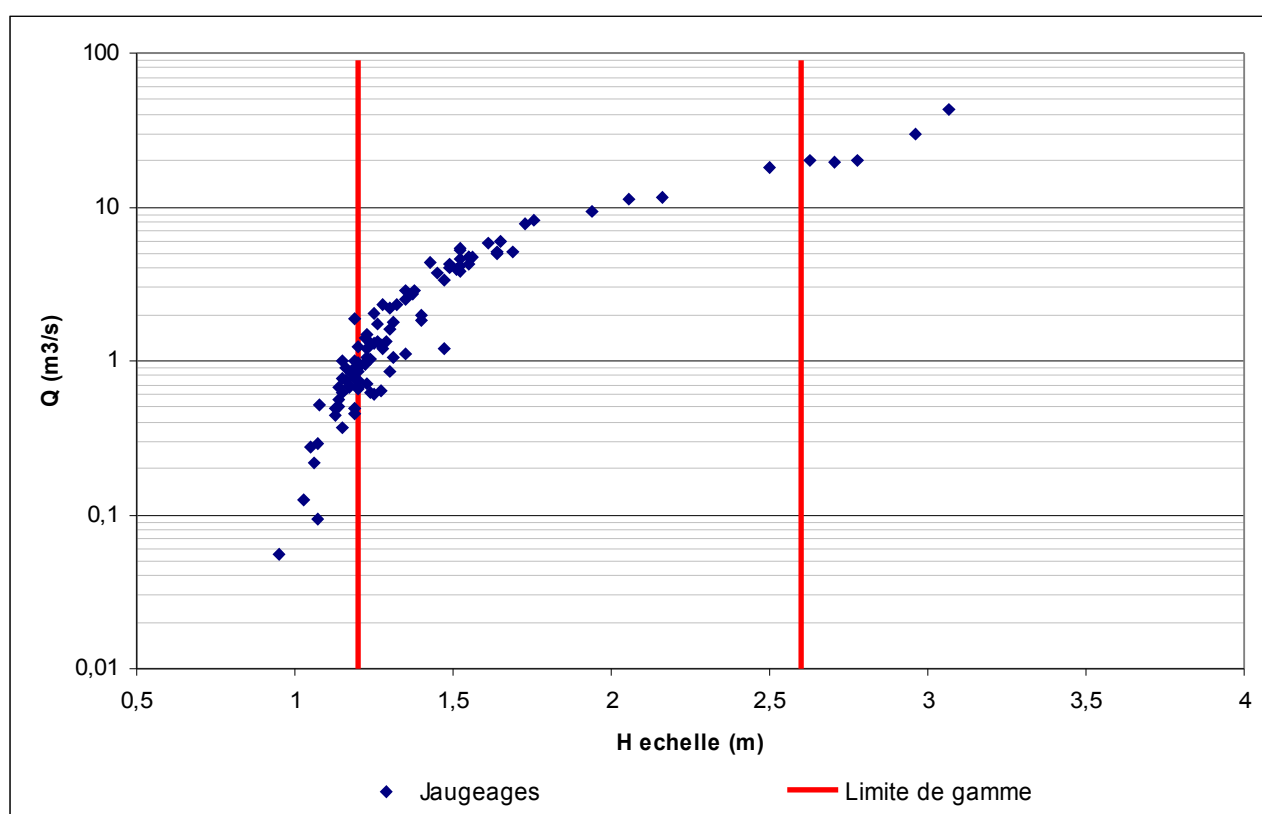


Figure 16: Données de jaugeage disponibles pour la station sur la Sarre à Sarrebourg

Ces deux jaugeages ont été réalisés en 2011 par mesure ADCP. Selon les jaugeurs et la réanalyse des données brutes et des vidéos qui a été menée, aucun élément ne permet de les mettre particulièrement en doute. La hausse du débit qui d'après ces mesures se produit lors de la submersion du remblai et la mise en eau du tunnel routier est impressionnante : le débit passe du simple au double (de  $20m^3/s$  à  $40m^3/s$ ) pour une augmentation du niveau d'eau d'environ 25 cm. Cette évolution brutale s'explique par la forte augmentation de la débitance de la section de contrôle au droit du remblai. La modélisation hydraulique pourra venir étayer cette explication.



Les données de jaugeage montrent une importante dispersion à bas débit (Figure 17). Après une analyse des dates de ces jaugeages, il s'avère qu'aucune période de stabilité ne peut être identifiée. La dispersion est observée quelle que soit la saison ou l'année considérée. Cela peut signifier que la section évolue faiblement mais très souvent et pas nécessairement à la suite d'une crue. Le fond du lit de type gravelo-sableux est très susceptible d'être assez mobile et pourrait permettre d'expliquer cette dispersion. De plus, même si aucune saisonnalité flagrante n'a pu être mise en évidence, la présence estivale d'herbiers avérée par les observateurs participe inmanquablement à ce phénomène.

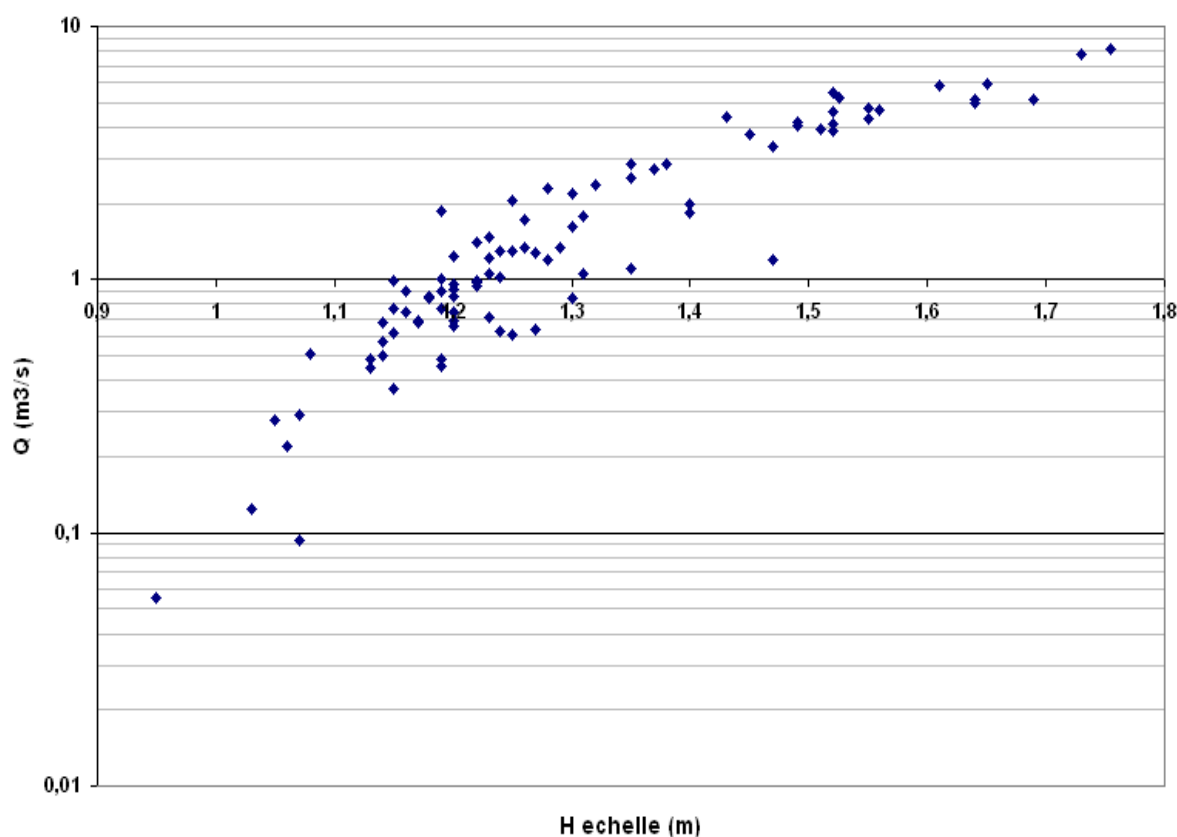


Figure 17 : zoom sur les jaugeages à bas débits

Cette dispersion à bas débit peut donc être considérée comme une caractéristique intrinsèque de la section, c'est pourquoi tous les jaugeages à bas débit ont été conservés pour cette étude. Il est cependant bon de rappeler que la méthode appliquée ici vise surtout à améliorer la relation hauteur/débit pour des débits moyens à forts. À bas débit et avec un échantillonnage fréquent, les jaugeages à l'étiage restent la référence la plus fiable.

Au final, un seul jaugeage a été écarté pour l'étude. Il s'agit d'un jaugeage du 4/11/1998 invalidé par les jaugeurs eux-mêmes en raison d'un problème technique du camion jaugeur.

## **4.4 Modélisation hydraulique**

### **4.4.1 Utilisation de la modélisation**

Dans le cas de la station de Sarrebourg, la modélisation hydraulique va permettre d'affiner la connaissance du fonctionnement hydraulique pour des débits moyens à forts, et notamment les conséquences de l'augmentation soudaine de la section mouillée au droit du remblai. D'autre part, la proximité de la station avec le pont SNCF implique que la modélisation de cet ouvrage devra être réalisée avec soin.

### **4.4.2 Données topographiques**

Trois profils en travers complémentaires ont été levés lors de la campagne 2011. Un premier profil a été réalisé en amont du pont SNCF, au niveau du rétrécissement observé sur le terrain. Un autre profil a été levé au droit de la station : ce levé contient également les données de l'ouvrage SNCF situé à l'aval immédiat de la station de mesure. Enfin, un troisième profil a été levé à l'aval du pont SNCF.

Comme pour les autres stations sur la Sarre, des données de topographie ont été récupérées de l'étude ISL 1997<sup>18</sup> et ont permis d'étendre le modèle sur une distance pertinente.

Pour les besoins du modèle, une section fictive a été créée en face aval du tunnel en se basant sur la section en face amont et en tenant compte de la pente.

Au total ce sont 9 sections qui constituent le modèle final, avec une description raffinée autour de la station et du pont, et une extension aval pour s'assurer de la dissipation de la condition aval (cf Figure 18).

---

<sup>18</sup> Analyse des stations hydrométriques sur la Sarre, Service de la navigation de Strasbourg – ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils, Mai 1997

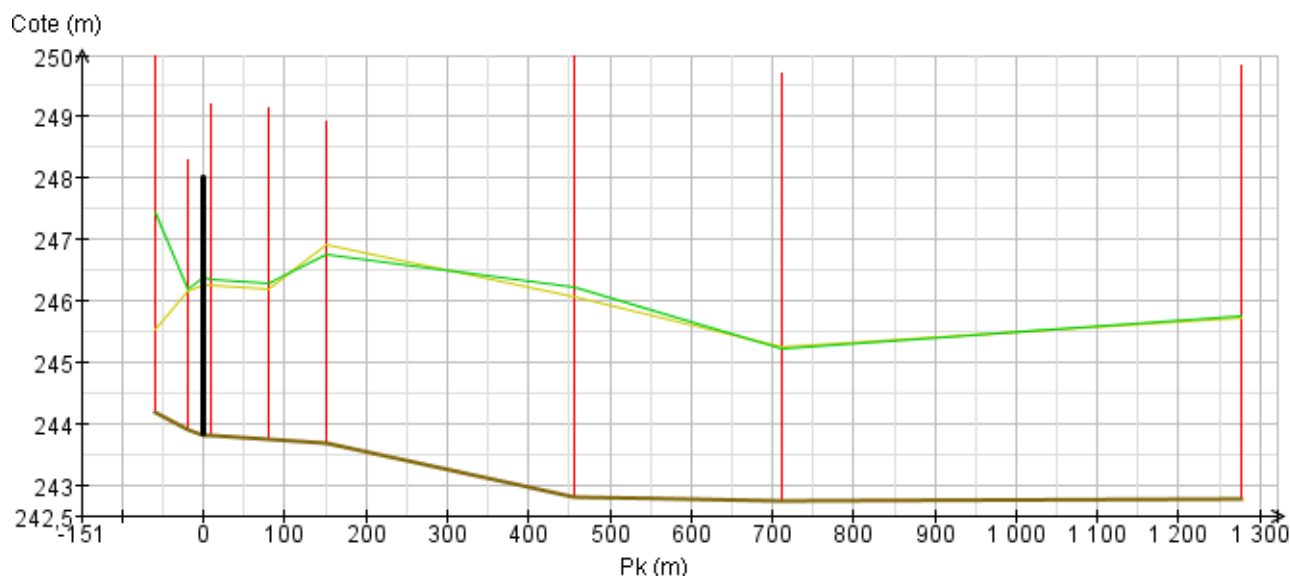


Figure 18: Profil en long du tronçon modélisé de la Sarre à Sarrebourg

Des sections de calcul sont interpolées par le logiciel de modélisation tous les 5 m.

#### 4.4.3 Le modèle hydraulique

Le modèle hydraulique inclut le remblai ainsi que le pont SNCF situé à l'amont immédiat du limnimètre.

La station se situe à l'aval d'un tronçon fortement anthropisé comprenant un très large pont routier et une division du cours d'eau. Afin de ne pas encombrer inutilement le modèle et risquer de rajouter des points de blocage ce tronçon n'a pas été pris en compte.

Rappelons que la modélisation est ici utilisée pour nous permettre d'affiner les *a priori* pour les débits moyens et hauts, les données de jaugeage étant suffisantes en étiage pour permettre un ajustement de la courbe de tarage finale par BaRatin. Nous nous sommes donc concentrés sur le comportement du modèle pour des hauteurs d'eau supérieures à 1,5m.

Les coefficients de Strickler choisis pour la modélisation hydraulique sont relativement élevés (cf Tableau 7). Ces valeurs reflètent le caractère anthropisé et enherbé du cours d'eau, et le faible boisement des berges.

Hypothèses	Coefficients de Strickler	
	Lit mineur	Lit moyen
lisse	43	27
standard	<b>40</b>	<b>25</b>
rugueuse	35	20

Tableau 4: Coefficients de Strickler retenus pour la modélisation hydraulique de la station de la Sarre à Sarrebourg

Les courbes données par les paramétrages que nous avons choisi de retenir semblent cohérentes avec les jaugeages sélectionnés dans les parties hautes (cf Figure 19).

En particulier nous retrouvons la cassure que marquent les deux jaugeages les plus hauts.

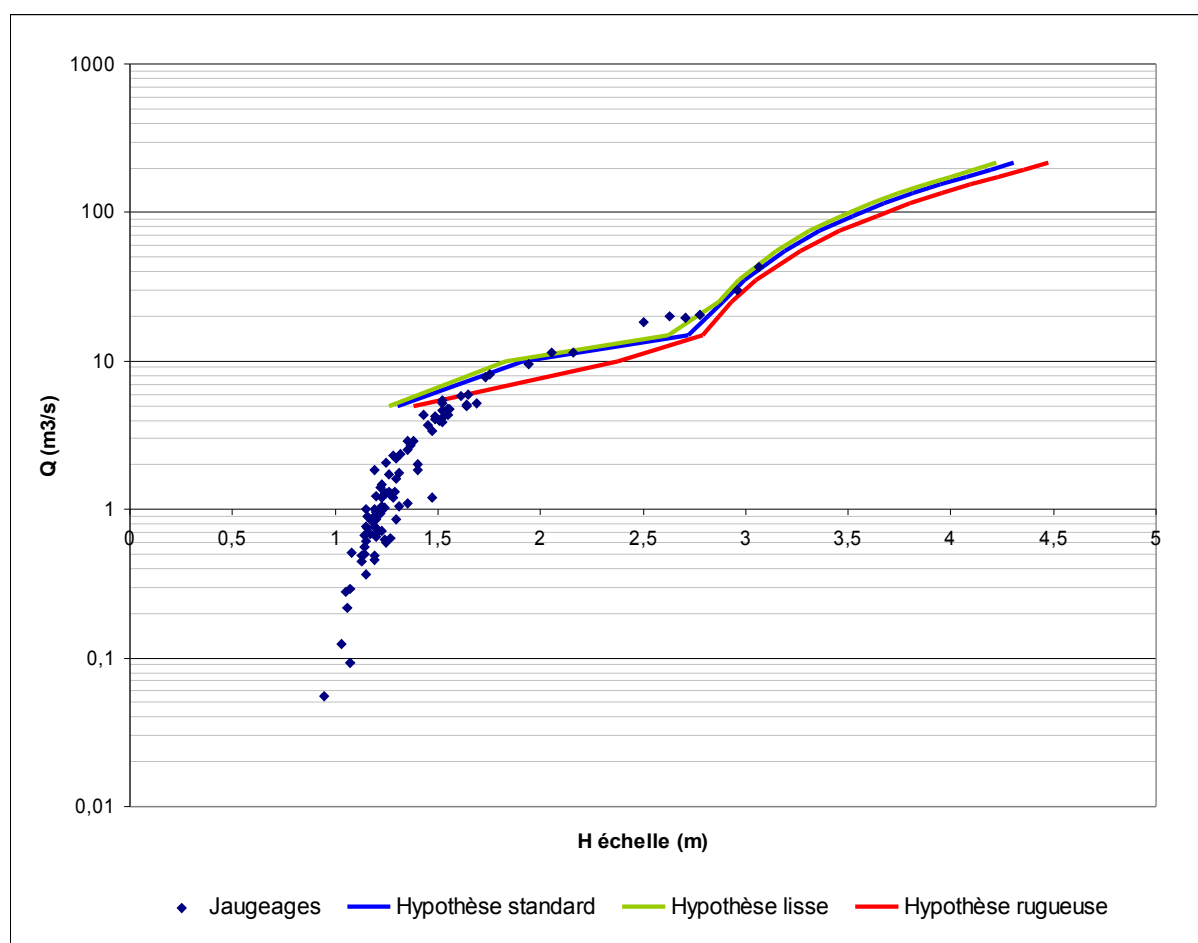


Figure 19: Modélisation de la courbe de tarage de la station hydrométrique de la Sarre à Sarrebourg

A première vue le modèle hydraulique semble donc correspondre à l'analyse hydraulique faite précédemment.

## 4.5 Détermination des *a priori*

### 4.5.1 Évaluation des *a priori* pour chaque gamme de contrôle

- **Contrôle 1 : radier naturel (cf. « renvoi à la section méthodologique »)**

- *a priori* sur *a* :  $a = C B \sqrt{2g}$

Paramètres	Valeur	Incertitude (+/-)
C	0.4	0.1
B (m)	8	1.50

d'où :  $a = 14.2$  et  $\sigma_a = 3.1$

Une valeur de 0.1 comme incertitude autour de la valeur de 0.4 permet de prendre en compte notre méconnaissance du fonctionnement de ce radier.

La largeur du lit au droit de la section est connue avec une certaine précision, d'où une incertitude assez réduite de 1.50 m autour de la valeur centrale.

- *a priori* sur *b* :  $b = H_{min} = 0.95$  et  $\sigma_b = 0.05$

La hauteur minimale enregistrée à la station est de 0.95 m. Cette donnée est relativement sûre, aussi, une incertitude de 0.05 m est acceptable.

- *a priori* sur *c* :  $c = 1.50$  et  $\sigma_c = 0.05$

- **Contrôle 2 et 3** : pour des débits moyens à forts, l'écoulement est contrôlé par le lit mineur, puis par le chenal du lit moyen sur le remblai. Ces deux contrôles suivent donc une relation de Manning-Strickler (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

La détermination des *a priori* sur les gammes correspondant à ces contrôles s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique, comme décrit au paragraphe 3.3.2.

Les paramètres de deux lois puissances ont été ajustés de façon à tenir compte de l'analyse du

fonctionnement hydraulique, croisée avec les résultats de la modélisation hydraulique. Nous obtenons ainsi une reproduction fidèle des courbes issues de la modélisation sans avoir besoin de prendre en compte les orifices des arches et du tunnel dans les *a priori* (cf Figure 20).

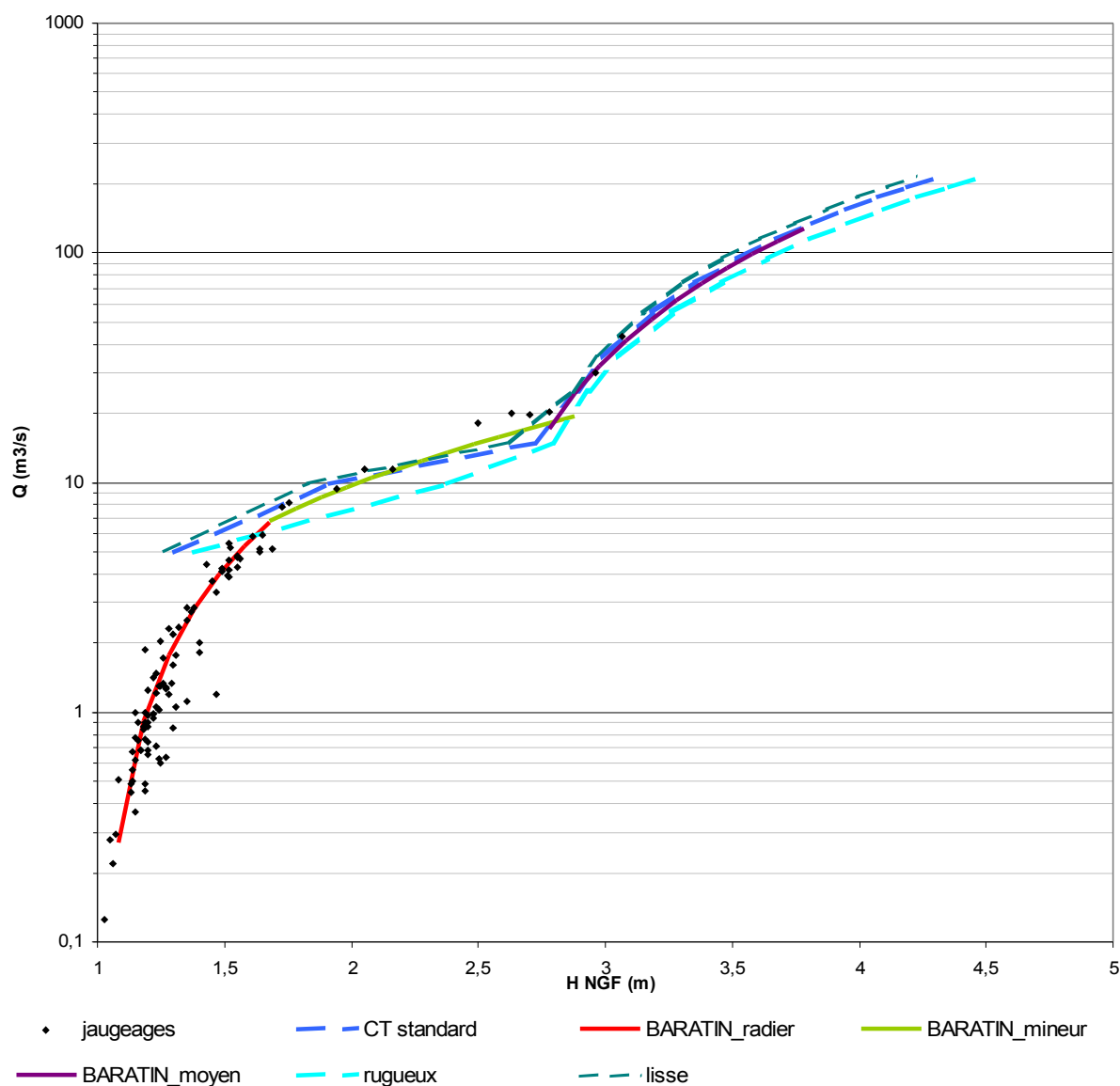


Figure 20: calage et comparaison des lois puissance *a priori* sur les courbes issues de la modélisation hydraulique à la station de Sarrebourg

## 4.5.2 Synthèse des *a priori* fournis à BaRatin

En fonction de l'analyse hydraulique du site, des formules analytiques ainsi que des simulations, les *a priori* fournis à BaRatin ont été définis et sont présentés dans le Tableau 7 et le Tableau 8.

Gamme			Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
n°	Hmin	Hmax	Radier	Chenal lit mineur	Chenal lit moyen
1	1	1,2			
2	1,2	2,6			
3	2,6	5			

Tableau 5 : Configuration du fonctionnement hydraulique *a priori* et bornes des gammes de hauteur pour le site sur la Sarre à Sarrebourg

La hauteur de transition entre les gammes 2 et 3 est fixée à partir des données de topographie, elle correspond à la cote moyenne du remblai en rive gauche.

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	+/-
1	a1	14	3
	b1	0,95	0,1
	c1	1,5	0,05
2	a2	2	0,5
	c2	1,67	0,05
3	a3	80	10
	c3	1,67	0,05

Tableau 6: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station sur la Sarre à Sarrebourg

## 4.6 Résultats et commentaires

### 4.6.1 Les résultats en graphiques

L'affichage graphique des résultats de BaRatin montre qu'à l'exception d'un jaugeage en étiage, tous les points sont contenus dans l'intervalle de confiance à 95 % (cf Figure 21), bien que celui-ci

soit très resserré.

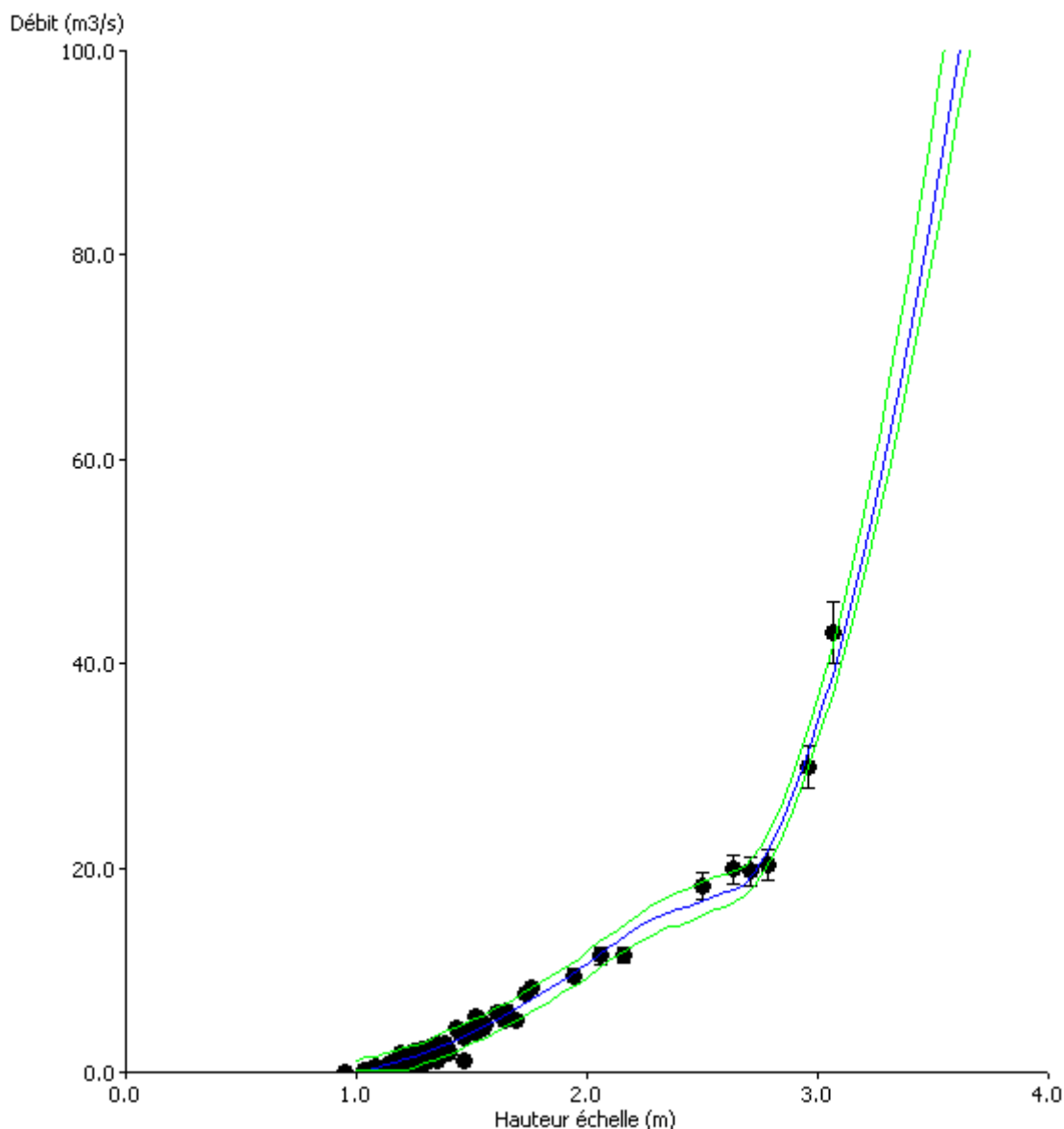


Figure 21: Courbe de tarage avec son enveloppe d'incertitude à 95% générées par BaRatin, zoom dans les gammes de débit jaugées

Notons que l'intervalle de confiance est un peu plus large au niveau de la transition entre les contrôles 2 et 3.

Dans les bas débits où les jaugeages sont plus dispersés en raison d'une instabilité du lit, l'enveloppe d'incertitude est plus large que dans les gammes hautes, moins soumises à des modifications du contrôle hydraulique.



#### 4.6.2 Paramètres calculés par BaRatin

Dans l'ensemble les paramètres calculées par BaRatin s'écartent peu des *a priori* fournis en entrée (cf Tableau 8).

La plus grande variation observée correspond à la hauteur de transition entre les gammes 1 et 2. Initialement fixée à 1,2 m par calcul, BaRatin en fournit une valeur bien plus élevée, à 2,25 m (cf Tableau 7).

Cette valeur, plus élevée que prévue, semble toutefois cohérente avec la topographie et place l'influence du radier jusqu'à hauteur du remblai.

Segment	H min	H max
1	1,0	2,25
2	2,25	2,66
3	2,66	5

Tableau 7: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin à Sarrebourg

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	<i>a priori</i>
1	a1	9,846	14 ± 3
	b1	0,949	0,95 ± 0,05
	c1	1,547	1,5 ± 0,05
2	a2	2,070	2 ± 0,5
	b2	-1,00	-0,5
	c2	1,669	1,67 ± 0,05
3	a3	78,751	80 ± 10
	b3	2,659	2,6
	c3	1,664	1,67 ± 0,05

Tableau 8: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin à Sarrebourg

### 4.6.3 Conclusions sur la courbe générée

La courbe fournie par BaRatin diffère légèrement de la courbe présente dans la base Bareme fournie par le SPC (Figure 22 et Figure 23).

Pour des hauteurs d'eau inférieures à 2,2 m, la courbe Bareme s'écarte jusqu'à 10 % de la courbe générée par BaRatin, et reste dans l'intervalle de confiance à 95 %.

Les deux courbes divergent ensuite nettement à partir de cette limite. Contrairement à la courbe Bareme, la courbe BaRatin marque un léger palier qui semblerait correspondre à ce que nous avons identifié comme étant un contrôle hydraulique opéré par le remblai en rive gauche situé à l'amont du pont SNCF.

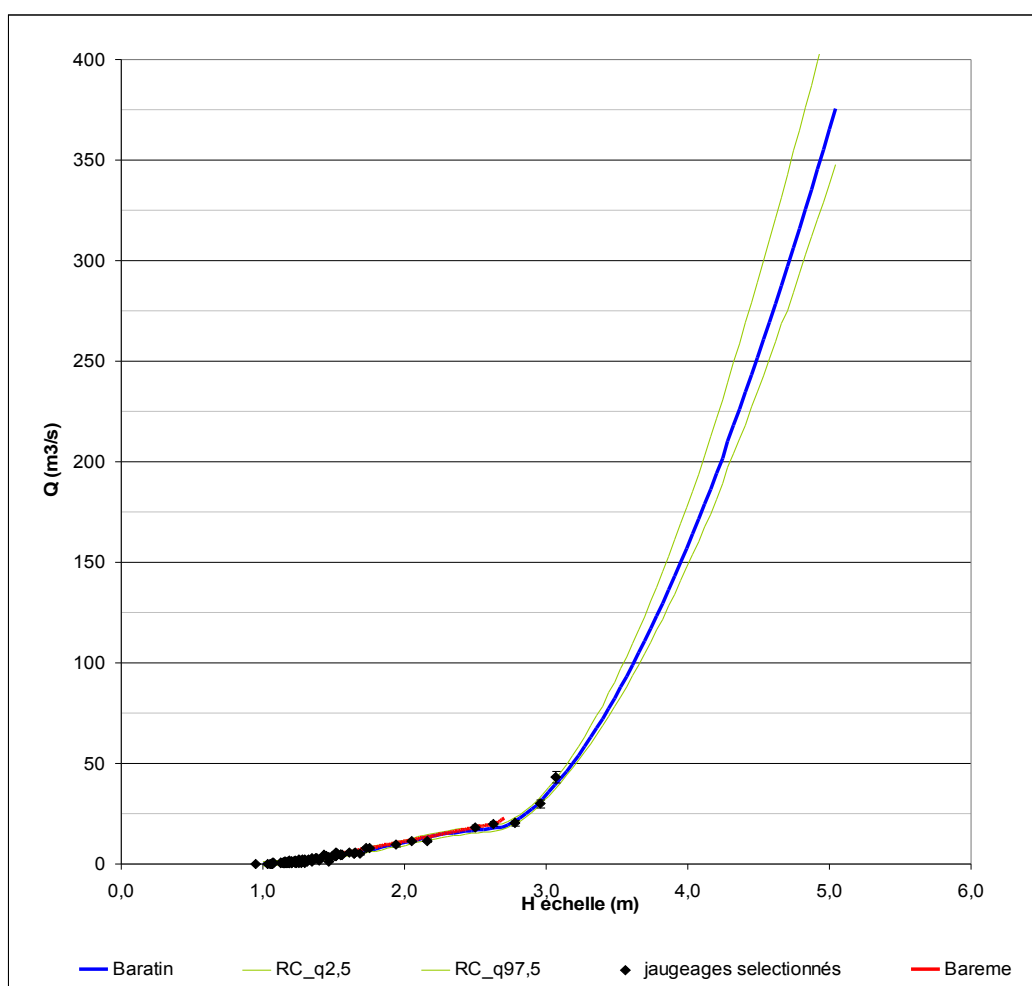


Figure 22: Comparaison graphique des courbes générées par BaRatin et de la courbe issue de la base Bareme de la Sarre à Sarrebourg

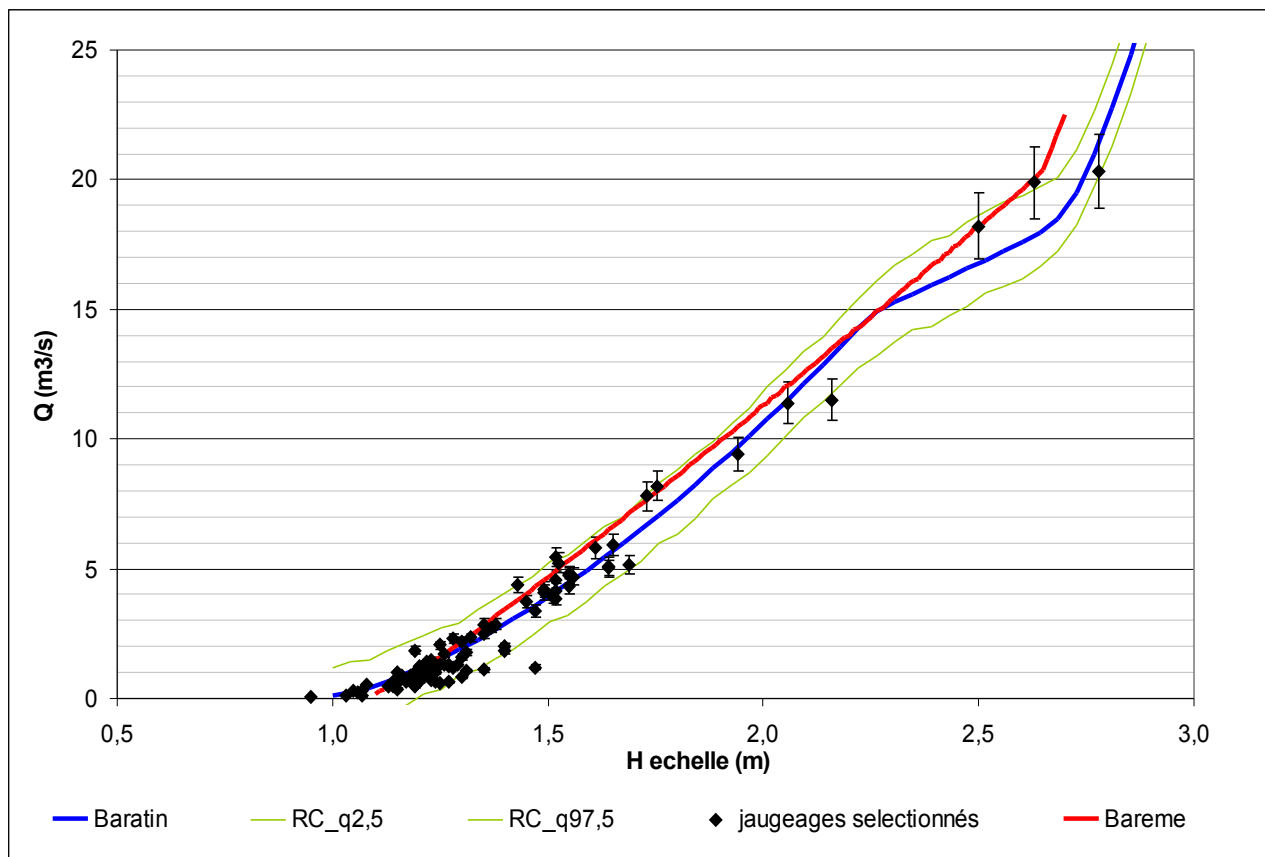


Figure 23: Comparaison graphique des courbes générées par BaRatin et de la courbe issue de la base Bareme pour la station de la Sarre à Sarrebourg, zoom sur les débits d'étiage

La courbe de tarage proposée est représentative du fonctionnement hydraulique actuelle, lequel est fortement contrôlé par le remblai situé en rive gauche à l'amont de la station. Ainsi pour connaître la période de validité de cette courbe dans le passé, il conviendra de remonter à la date d'apparition de ce remblai.

## 5 Station de la Sarre à Diedendorf

### 5.1 Informations sur la station

- Code de la station : A9091060
- Rivière : Sarre
- Date d'installation : 01/07/1970
- Z0 échelle : 222,15 m IGN 69, topo 2011
- Bassin versant : 733 km<sup>2</sup>
- Pente locale du lit : 0,0048 (cf. sections du modèle hydraulique)
- Hauteur minimale enregistrée à l'échelle depuis 2010 : 0,09 m
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0,26 m

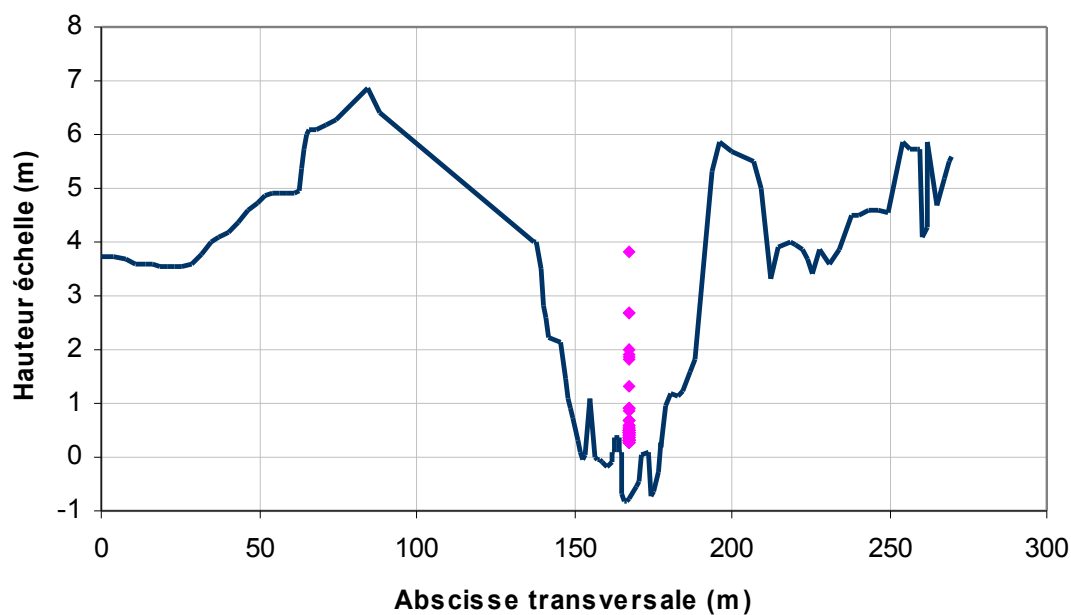


Figure 24: Section en travers au droit du limnimètre sur la Sarre à Diedendorf (en rose les hauteurs correspondant aux jaugeages)

## 5.2 Description et analyse hydraulique du site

### 5.2.1 Description du site

La station de Diedendorf a été installée en 1970 près du moulin de Wolfkircher, à l'aval du pont routier sur lequel se rejoignent et se croisent la route D8 (indiquée en rive droite RN) et la route D55 (Figure 25).

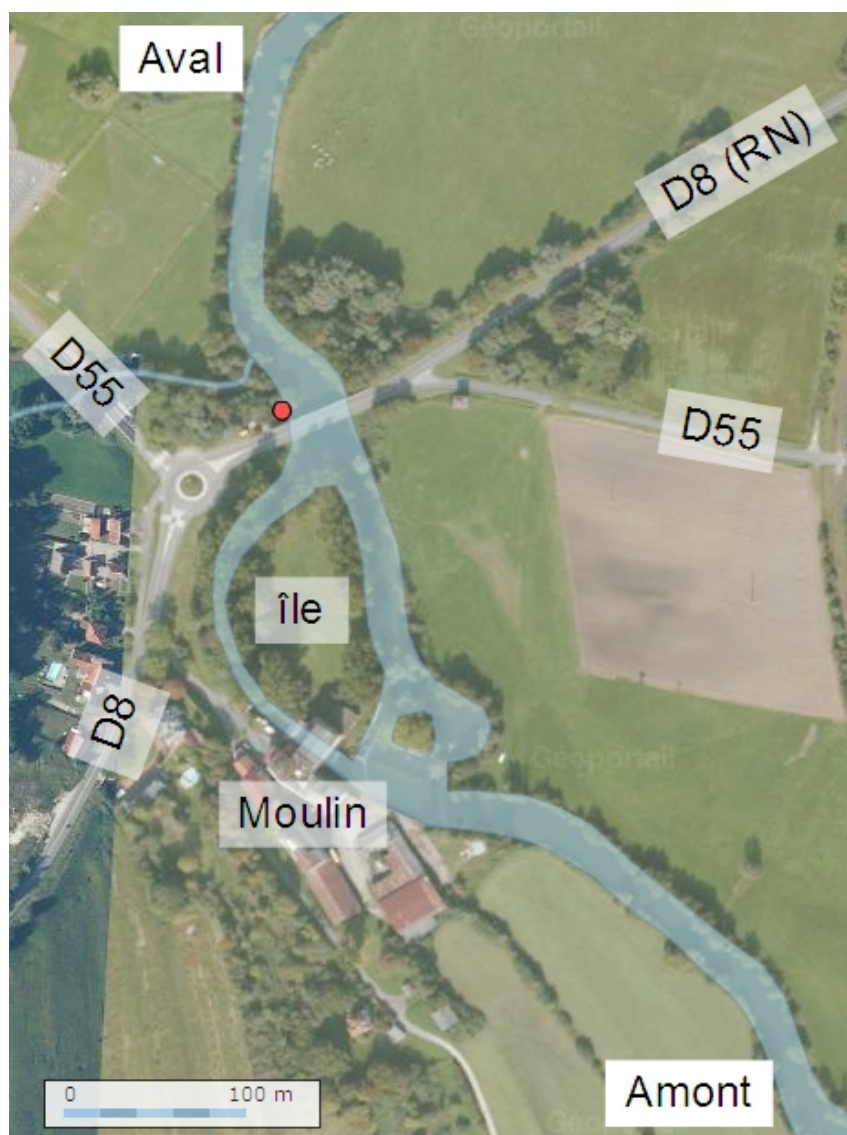


Figure 25 : photo aérienne et plan du site (en rouge l'emplacement de l'échelle limnimétrique et du limnimètre)

L'échelle limnimétrique ainsi que le limnimètre se trouvent à l'aval immédiat du pont routier de la D8, dont le tablier est assez élevé (environ 4 m au dessus du niveau d'étiage)

(Figure 26). A l'amont du pont, une île est formée par un chenal de dérivation servant à alimenter le moulin de Wolfskirchen (Figure 25). Les ouvrages liés au moulin sont conséquents : un large seuil à rampe inclinée est construit à l'amont du moulin (Figure 31 et Figure 32) ; une pelle assure la prise d'eau pour le moulin (Figure 30). L'extrémité aval de l'île est très proche du pont (Figure 27). En rive droite du pont se trouve une fourche constituée par les routes D8 (RN) et D55 (Figure 28 et Figure 29).

En période d'étiage le site est propice au développement d'herbiers qui peuvent venir perturber les mesures de jaugeage estivales (Figure 33 et Figure 34), et expliquer en partie la dispersion des jaugeages à bas débit.



*Figure 26 : dessous du pont vu depuis la section de l'échelle*





*Figure 27 : extrémité aval de l'île située en amont vue depuis le pont*



*Figure 28 : vue de la fourche des deux routes situées en rive droite (RN et D55).*



*Figure 29 : route en rive droite*



*Figure 30 : vanne et seuil du moulin situé à l'amont de la station*





*Figure 31 amont du seuil en rampe inclinée au niveau du moulin situé à l'amont de la station*



*Figure 32 rampe inclinée au niveau du moulin*



*Figure 33 : présence d'herbiers au niveau de la station*



*Figure 34 : présence d'herbiers à l'amont du pont*

Le fond de la rivière au niveau de la station est du type gravelo-sableux. Les rives de la Sarre sont végétalisées. A l'aval le seuil le plus proche se trouve à environ 4,2 km et semble donc trop éloigné de la station pour avoir une influence sur l'écoulement compte tenu de la pente du tronçon.

La Figure 34 montre un large champ d'expansion situé en rive droite en cas de crue importante. A l'aval de ce champ se trouve la route D55, puis la D8 (RN). Ces deux routes constituent deux obstacles à l'écoulement dans le lit majeur. Ces routes sont assez basses, en particulier la D55. La D8 (RN) et par endroit la D55 sont bordées par des haies susceptibles de freiner l'écoulement. Il est probable que le débordement en rive droite sera difficile à prendre en compte dans l'étude ; la modélisation hydraulique pourra être d'un apport précieux.

## 5.2.2 Fonctionnement hydraulique du site

- Bas débits

A bas débit, et en l'absence de seuil, le contrôle de l'écoulement est réalisé par un radier naturel. Celui-ci semble assez stable moyennant l'effet des herbiers pendant la période estivale.

- Débits moyens

Pour des débits moyens, l'écoulement est contrôlé par le chenal du lit mineur et la section sous le pont. La végétation des berges assez développée peut produire une rugosité à prendre en compte.

- Débits forts

La topographie et les témoignages indiquent qu'un débordement en rive droite en amont du pont se produit et inonde un large champ plat.

Les deux routes situées en rive droite jouent en quelque sorte le rôle de seuils malgré leur faible hauteur et la présence d'une petite buse. La rugosité dans ce lit majeur est très forte en raison de la végétation. De plus, cette rugosité est variable en fonction de la saison.

Ainsi, trois contrôles hydrauliques ont pu être identifiés lors de l'analyse du fonctionnement hydraulique :

1. Contrôle 1 : radier naturel
2. Contrôle 2 : chenal du lit mineur
3. Contrôle 3: chenal du lit majeur

### 5.2.3 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station

Après analyse du site, son fonctionnement hydraulique peut se décomposer en trois gammes de hauteur :

- Gamme 1 : représentative des bas débits et du contrôle de l'écoulement réalisé uniquement par un radier naturel constitué par le fond gravelo sableux sous le pont, dont on note l'influence jusqu'à environ 50 cm,
- Gamme 2 : représentative des débits moyens et de l'effacement du contrôle 1 au profit du contrôle 2, soit le chenal du lit mineur et de l'écoulement sous les arches du pont, jusqu'à des hauteurs d'eau d'environ 3m.
- Gamme 3 : elle est représentative d'une situation de débordement en lit majeur. Au contrôle par le lit mineur (contrôle 2) vient s'ajouter le contrôle hydraulique du lit majeur (contrôle 3)

La synthèse hydraulique peut se traduire par le tableau suivant :

n° Gamme	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
	Radier naturel	Chenal lit mineur	Chenal lit majeur
1			
2			
3			

Tableau 9 : Synthèse de l'analyse hydraulique du site de Diedendorf

### 5.3 Données de jaugeage

La station de Diedendorf existe depuis 1970 et a été modernisée en 1994. Les jaugeages antérieurs à 1994 ne correspondent pas à la station actuelle. Depuis 1995, la station a été jaugée 80 fois.

En première analyse il apparaît que les jaugeages sont fortement dispersés (cf Figure 35).

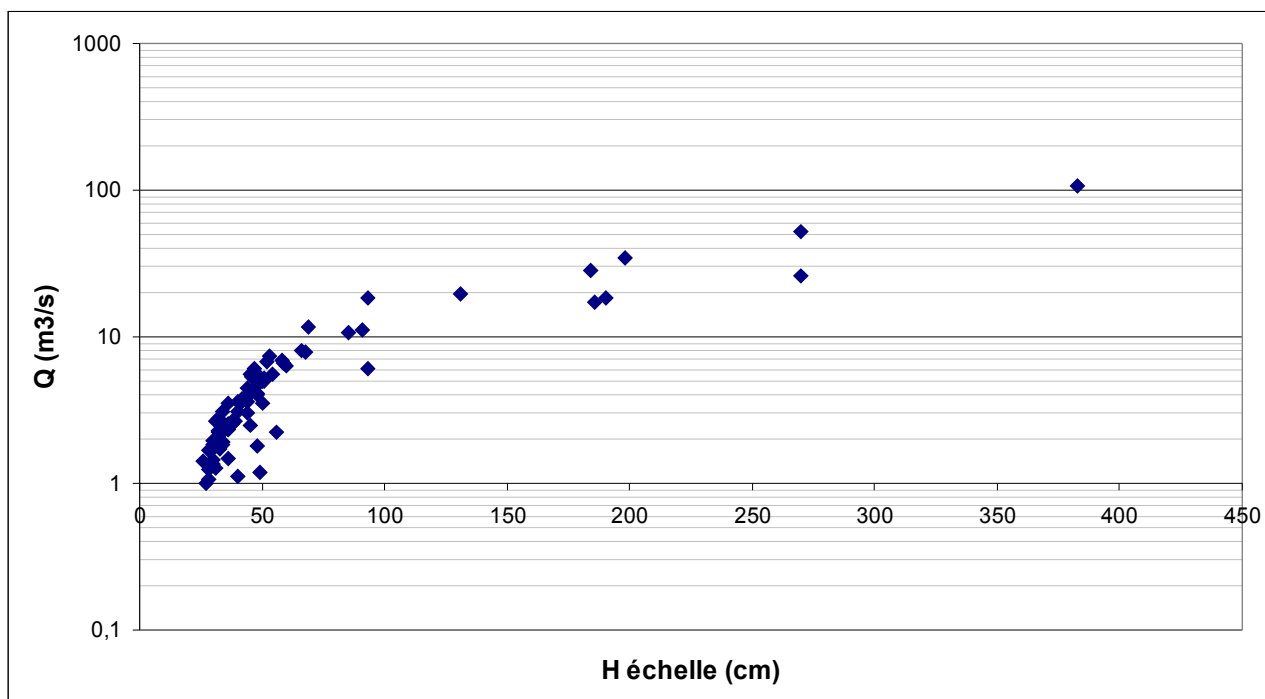


Figure 35: Jaugeages non triés disponibles pour la station de Diedendorf

En regardant de plus près les bas débit, nous nous apercevons que la plus forte dispersion s'observe entre 40 cm et 60 cm, où de nombreux jaugeages se distinguent des autres par une valeur d'environ 50 % inférieure (cf Figure 36).

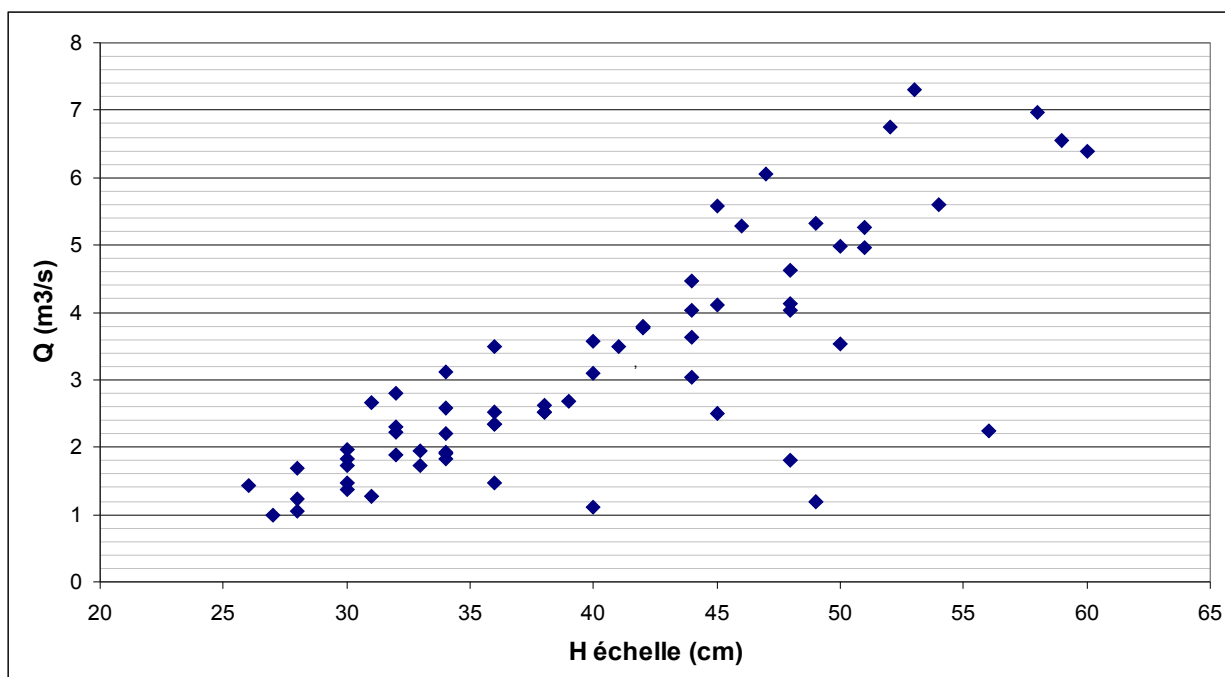


Figure 36: Jaugeages à bas débit disponibles pour la station de Diedendorf



La quasi totalité de ces jaugeages ont été réalisés avant 2000. Les nombreux jaugeages réalisés depuis 2000 semblent en revanche plus cohérents entre eux. Cette remarque se confirme à l'étude du graphique Hauteur – Surface mouillée (cf Figure 37).

La dispersion des jaugeages antérieurs à 2000 semble témoigner d'une forte instabilité du lit mineur dans cette période ou d'une forte incertitude sur la technique de jaugeage ; et nous conduit à exclure ces jaugeages de l'analyse statistique.

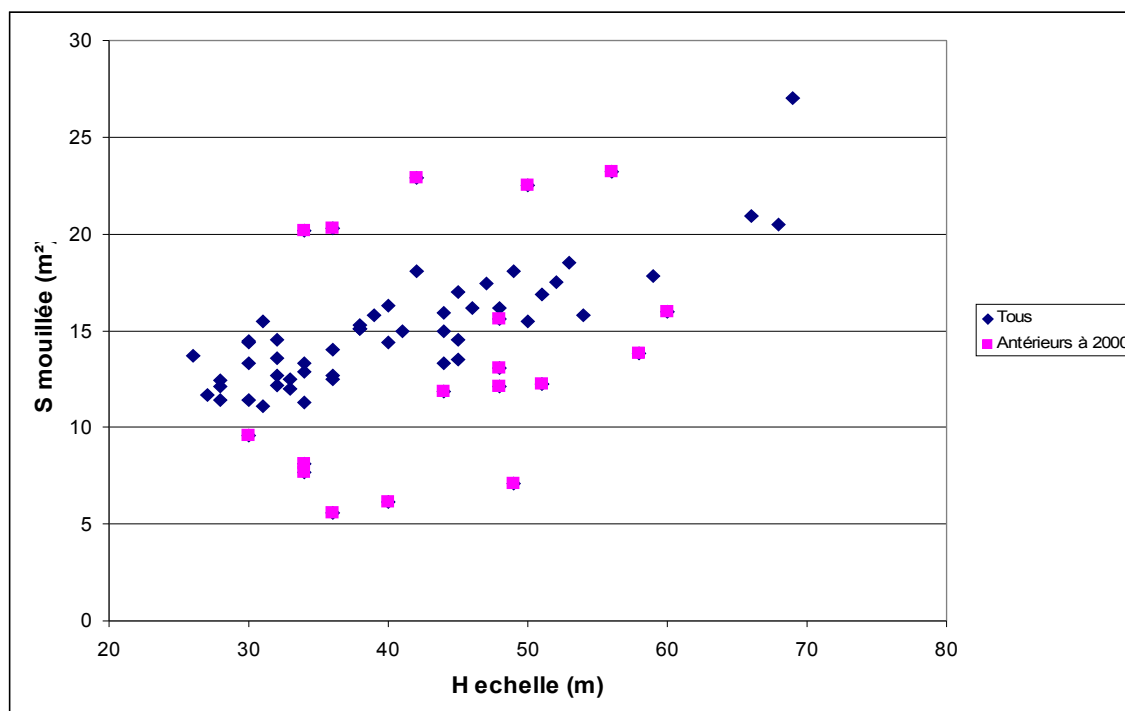


Figure 37: relation Hauteur - Surface mouillée des jaugeages à bas débit de la station de Diedendorf.

Dans les gammes plus élevées de débit nous observons également une certaine dispersion des jaugeages.

Un jaugeage du 23 décembre 1997, jugé aberrant sur les mêmes critères que précédemment, a ainsi été exclu de la sélection.

Enfin trois jaugeages réalisés à l'hiver 1998 – 1999 ont été également jugés trop incertains. Une première analyse BaRatin menée avec ces jaugeages a fait apparaître que ceux ci étaient systématiquement en dehors de l'intervalle de confiance à 95 %. L'analyse menée sur les métadonnées (section mouillée, vitesse moyenne, débit, hauteur) n'a pas fait apparaître de raison particulière de douter de ces jaugeages. Toutefois le fait que ces jaugeages, réalisés à quelques

semaines d'écart, présentent tous trois le même biais par rapport au reste du jeu de données nous conduit à les exclure de la suite de l'étude. La pertinence de ce choix a été discutée avec les jaugeurs.

Il apparaît l'ensemble des jaugeages réalisés à cette période, sur ce site et sur les autres, sont douteux. Nous excluons systématiquement les jaugeages correspondant à cette période pour la suite de l'étude.

Les jaugeages finalement retenus sont peu dispersés et semblent cohérents avec l'analyse hydraulique réalisés précédemment (Figure 38).

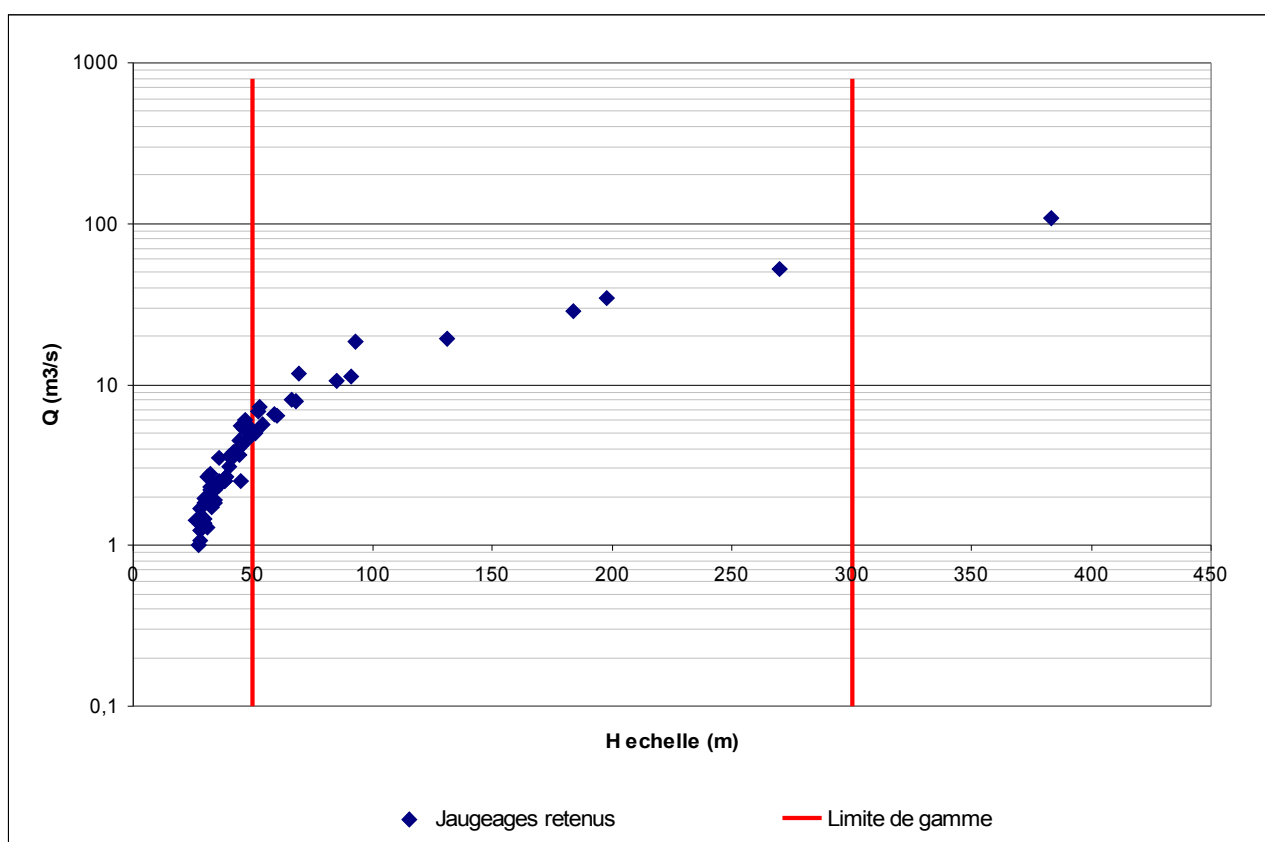


Figure 38: Jaugeages retenus pour l'étude de la station sur la Sarre à Diedendorf

Le jaugeage le plus élevé correspond à une hauteur d'échelle de 3,8m, et semble réaliser une certaine rupture de pente avec les jaugeages précédents. Cette hauteur d'échelle correspond au début du débordement en lit majeur, ce jaugeage témoignerait donc d'un changement dans le fonctionnement hydraulique ; en l'occurrence de l'activation du contrôle hydraulique par le lit majeur.

## **5.4 Modélisation hydraulique**

### **5.4.1 Utilisation de la modélisation**

Les jaugeages dont nous disposons pour les hauteurs d'eau supérieures à 1m sont dispersés.

La modélisation hydraulique de ce tronçon devrait nous permettre de préciser le comportement le plus probable et d'estimer les *a priori* hydrauliques pour les débits moyens et les débits de forte crue.

### **5.4.2 Données topographiques**

Les données topographiques dont nous disposons sont principalement issues de l'étude réalisée par ISL en 1997. Ces données ont été complétées par 3 relevés effectués en 2011 par un géomètre indépendant à la demande du SPC et d'Irstea. Ces relevés ont permis d'affiner la connaissance de la topographie à proximité de la station hydrométrique et ont également permis de juger de la cohérence des sections plus anciennes.

Enfin des sections ont été dupliquées de part et d'autre du pont afin de guider l'interpolation réalisée par le logiciel lors des calculs.

Au total 10 sections composent le modèle, couvrant une zone d'environ 1,5 km de part et d'autre de la station (cf Figure 39). Certaines sections ont été écartées afin d'obtenir un modèle le plus stable possible, tout en veillant à conserver une géométrie pertinente avec la réalité du terrain.



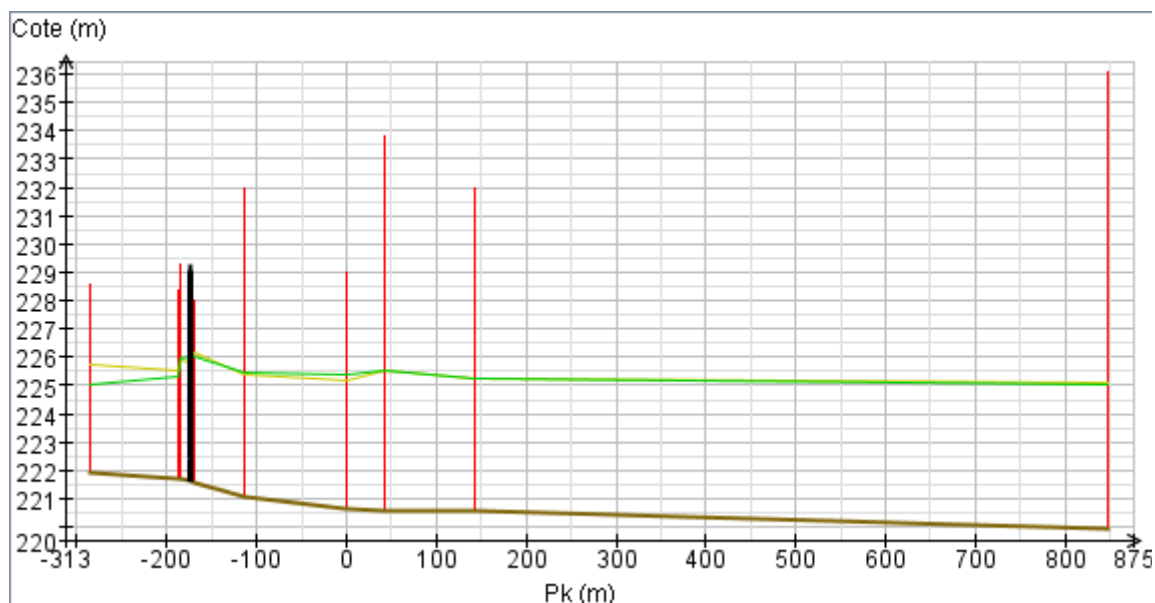


Figure 39: Profil en long de la modélisation hydraulique pour la station de Diedendorf

Des sections de calcul sont interpolées par le logiciel de modélisation tous les 10 m.

### 5.4.3 Le modèle hydraulique

Le calage du modèle hydraulique pour les différentes hypothèses (standard, rugueuse, lisse) a été réalisé avec les coefficients de Strickler présentés dans le Tableau 10.

Hypothèses	Coefficients de Strickler	
	Lit mineur	Lit moyen
lisse	25	20
standard	<b>15</b>	<b>10</b>
rugueuse	10	5

Tableau 10: Coefficients de Strickler retenus pour la modélisation hydraulique de la station de Diedendorf

Les faibles valeurs de coefficient reflètent la forte rugosité liée au caractère fortement boisé des berges au niveau de la station, ainsi qu'à l'impact du pont et à la présence d'éléments gênant les écoulements (île boisée et herbiers saisonniers).

Ces paramètres nous permettent d'obtenir des courbes de tarage qui semblent être en accord avec l'analyse du fonctionnement hydraulique présentée précédemment (cf Figure 40).

Cependant il est également possible que ces faibles valeurs viennent compenser une surestimation de la pente. Un levé de section plus resserrées sur ce site complexe permettrait de lever ces doutes.

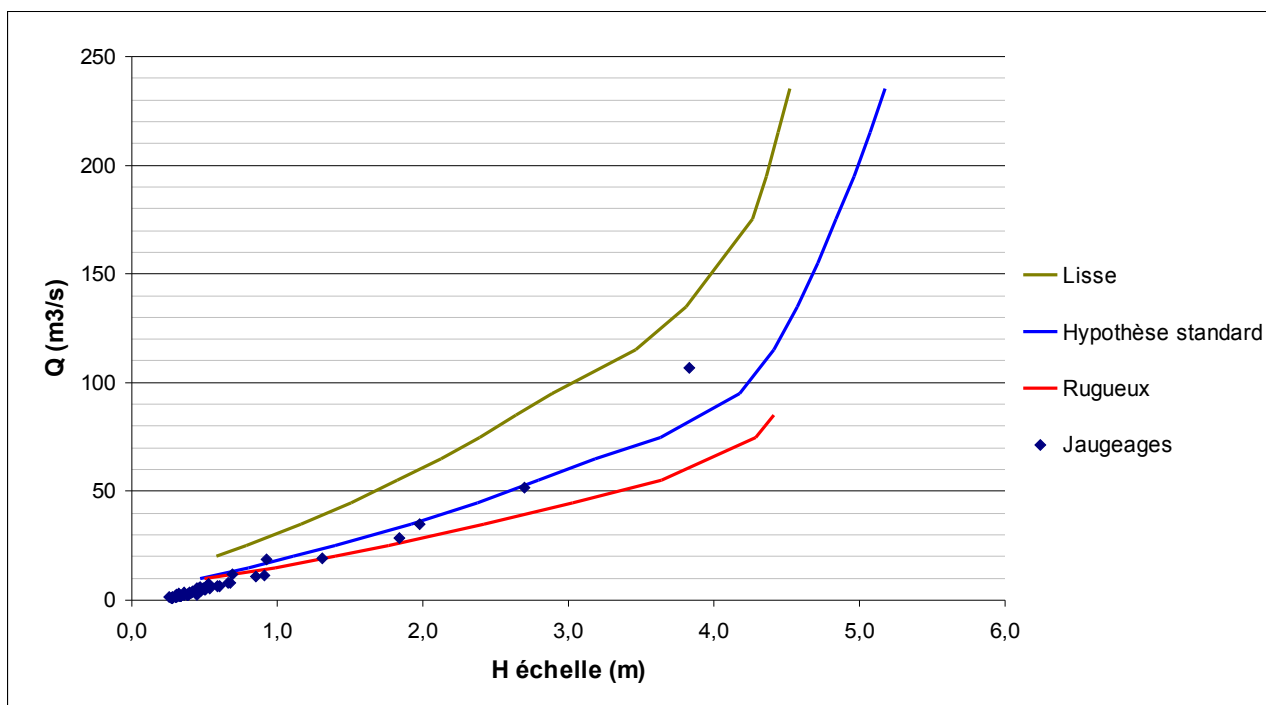


Figure 40: Courbes de tarage issues du modèle hydraulique de la station de Diedendorf

## 5.5 Détermination des a priori

### 5.5.1 Évaluation des a priori pour chaque gamme de contrôle

- **Contrôle 1** : contrôle par un radier naturel (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

- *a priori* sur  $a$  :  $a = C B \sqrt{2g}$

Paramètres	Valeur	Incertitude (+/-)
C	0,4	0,1
B (m)	17	5

d'où :  $a = 30,12$  et  $\sigma_a = 8,19$

Une valeur de 0.1 comme incertitude autour de la valeur de 0.4 permet de prendre en compte notre méconnaissance du fonctionnement de ce radier.

La largeur de la section de contrôle à bas débit est difficile à estimer précisément, d'où une incertitude, assez élevée, de 5 m.

- *a priori* sur  $b$  :  $b = H_{min} = 0.2$  et  $\sigma_b = 0.5$

- *a priori* sur  $c$  :  $c = 1.50$  et  $\sigma_c = 0.05$

- **Contrôle 2 et 3** : l'écoulement est contrôlé par le chenal qui commence après le rétrécissement (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

La détermination des *a priori* sur les gammes correspondant à ces contrôles s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique, comme décrit au paragraphe 3.3.2.

Les paramètres de deux lois puissances ont été ajustés de façon à tenir compte de l'analyse du fonctionnement hydraulique que venait conforter la modélisation hydraulique. Nous obtenons ainsi une reproduction fidèle des courbes issues de la modélisation (cf Figure 41).

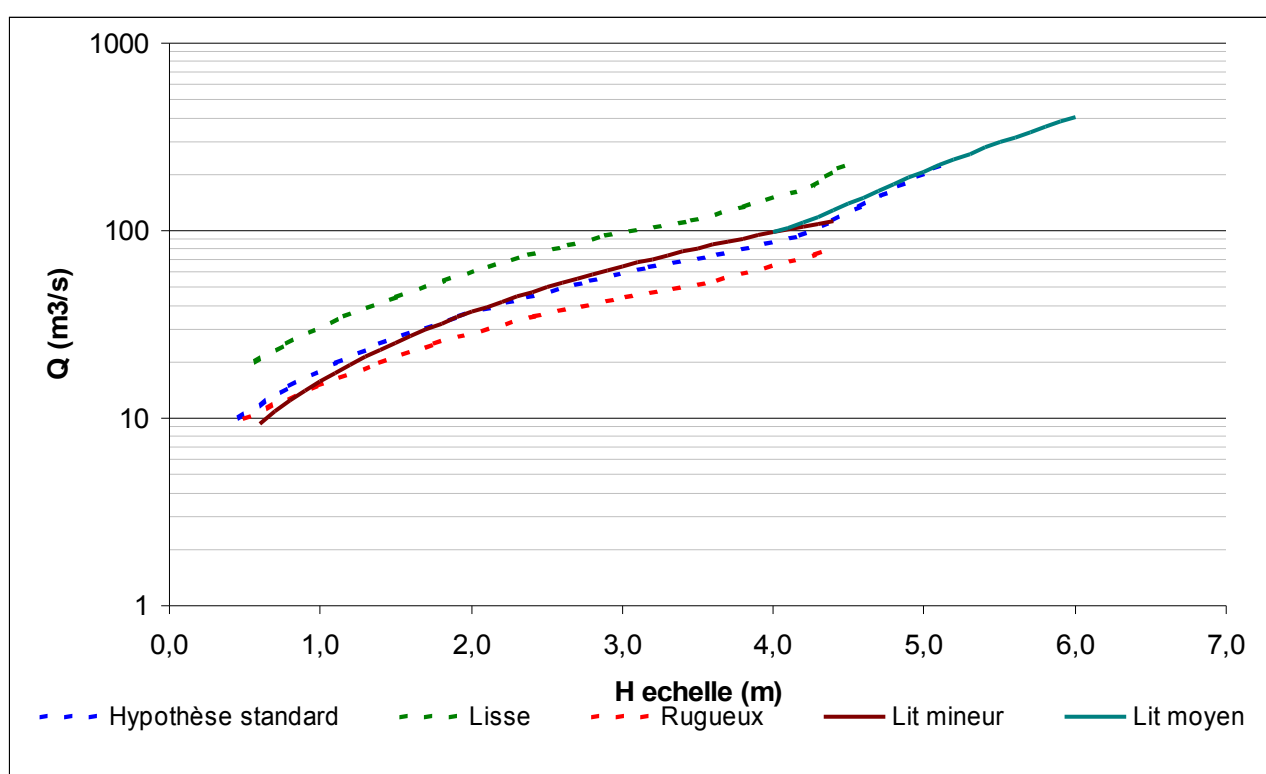


Figure 41: calage des lois puissance sur les courbes issues de la modélisation hydraulique à la station de Diedendorf

### 5.5.2 Synthèse des *a priori* fournis à BaRatin

En fonction de l'analyse hydraulique du site, des formules analytiques ainsi que des simulations, les *a priori* fournis à BaRatin ont été définis et sont présentés dans le Tableau 11 et Tableau 12.

Gamme			Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
n°	Hmin	Hmax	Radier	Chenal lit mineur	Chenal lit moyen
1	0,3	0,6			
2	0,6	4			
3	4	5,5			

Tableau 11 : Configuration du fonctionnement hydraulique et bornes des gammes de hauteur pour le site de Diedendorf

Les hauteurs de transition ont été fixées sur la base des données de topographie. La côte maximale d'exploitation a été fixée à 5,5 m, ce qui correspond approximativement à la cote de mise en charge du pont.

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	+/-
1	a1	30	15
	b1	0,2	0,3
	c1	1,5	0,05
2	a2	8	5
	b2	-0,5	0,5
	c2	1,67	0,05
3	a3	70	20
	b3	3,5	0,5
	c3	1,67	0,05

Tableau 12: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station de Diedendorf

## 5.6 Résultats et commentaires

### 5.6.1 Les résultats en graphiques

Les courbes générées gardent la même allure que les courbes de tarage issues de la modélisation hydraulique. Sans surprise l'intervalle de confiance à 95 % s'élargit considérablement au delà du dernier jaugeage disponible (Figure 42).

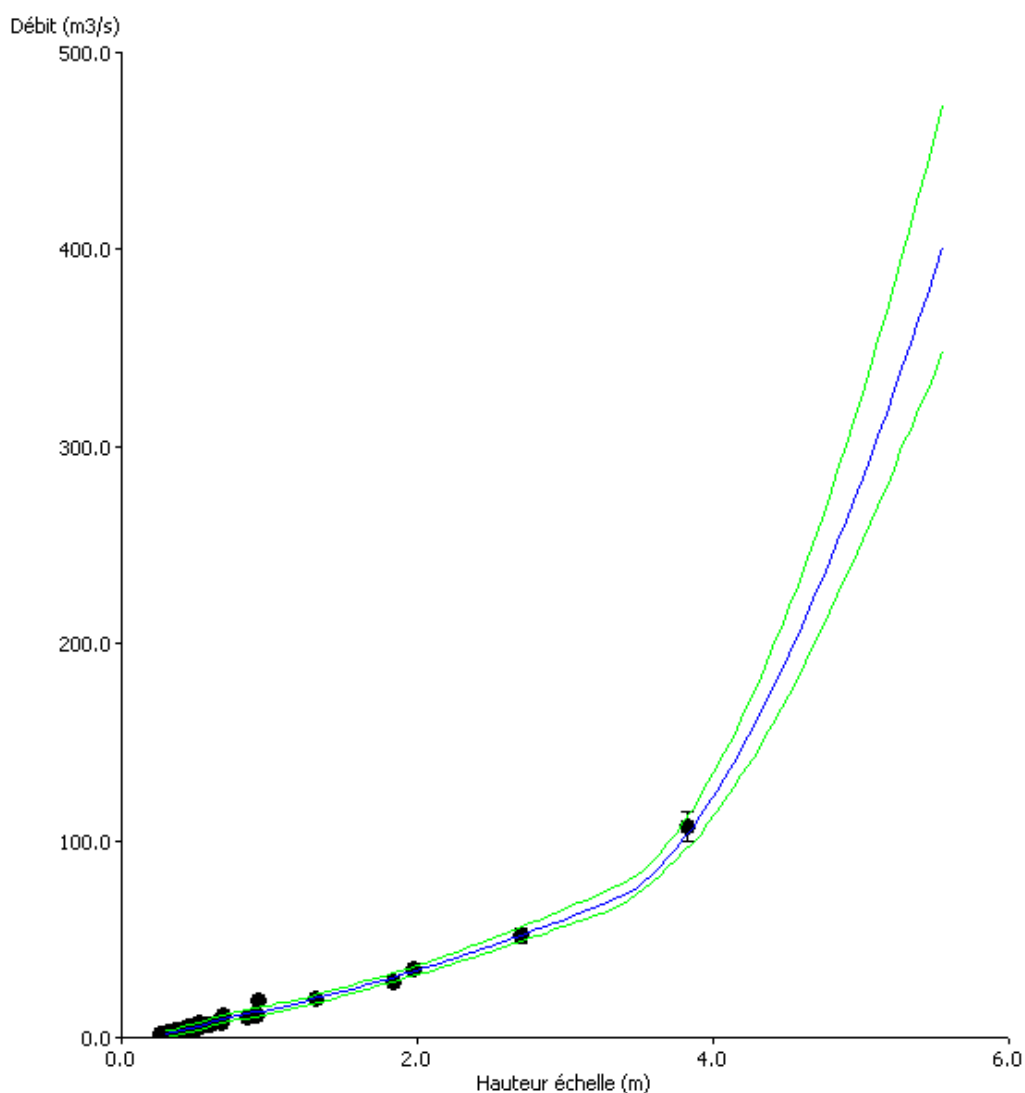


Figure 42: Courbe de tarage et intervalle de confiance à 95% générés par BaRatin

A bas débit l'enveloppe d'incertitude est assez resserrée et est très fidèle aux données de jaugeages. Cependant un jaugeage apparaît en dehors de l'intervalle de confiance (Figure 43). Notons que l'extrapolation sur les gammes de débit en situation de débordement ne s'appuie que

sur un seul jaugeage. De nouveaux jaugeages en débordement permettraient de raffiner cette extrapolation.

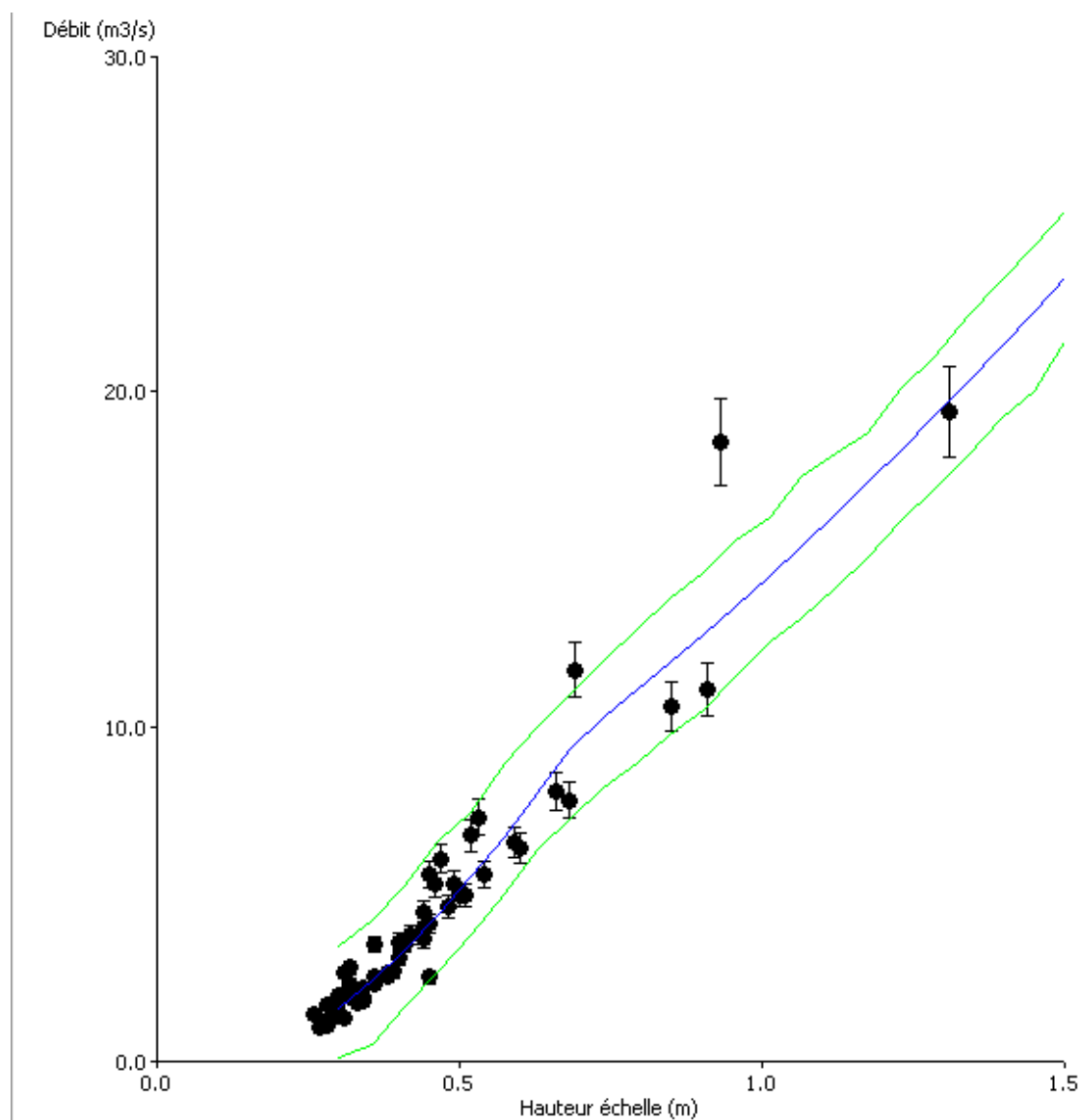


Figure 43: Résultats de BaRatin , zoom sur les bas débits

Le jaugeage exclu de l'intervalle de confiance a été réalisé en 2009. Aucun élément de l'analyse des méta données ne permet de mettre en doute la qualité de cette donnée, nous laisserons donc aux jaugeurs eux même le soin de juger de la qualité de ce jaugeage. Notons que ce jaugeage isolé dans une gamme relativement bien jaugée n'a qu'un faible poids et ne gêne pas l'analyse par BaRatin.

## 5.6.2 Paramètres calculés par BaRatin

Les valeurs calculées en sortie par BaRatin sont exposées dans les Tableau 13 et Tableau 14. Ces valeurs restent dans les gammes d'incertitude des *a priori* que nous avons évaluées à partir de l'analyse du fonctionnement hydraulique et du modèle.

Segment	H min	H max
1	0,3	0,70
2	0,70	3,40
3	3,40	5,5

Tableau 13: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	<i>a priori</i>
1	a1	22,807	30 ± 15
	b1	0,135	0,2 ± 0,3
	c1	1,486	1,5 ± 0,05
2	a2	7,736	10 ± 5
	b2	-0,450	0 ± 0,5
	c2	1,656	1,67 ± 0,05
3	a3	70,555	70 ± 20
	b3	3,395	4 ± 0,5
	c3	1,650	1,67 ± 0,05

Tableau 14: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin

Remarque : Il est tout à fait classique et cohérent du point de vue hydraulique que le coefficient b2 soit inférieur à b1 lorsque la première gamme est contrôlée par un seuil ou un radier, qui devient ennoyer pour les gammes supérieures de débit. En effet b1 correspond à la côte « réelle » du seuil, tandis que b2 correspond à la côte « virtuelle » du fond de la rivière sans seuil. De même il arrive que le coefficient b soit négatif comme c'est le cas ici.

### 5.6.3 Conclusions sur la courbe générée

La courbe générée par BaRatin vient se placer entre les précédentes courbes (Figure 44).

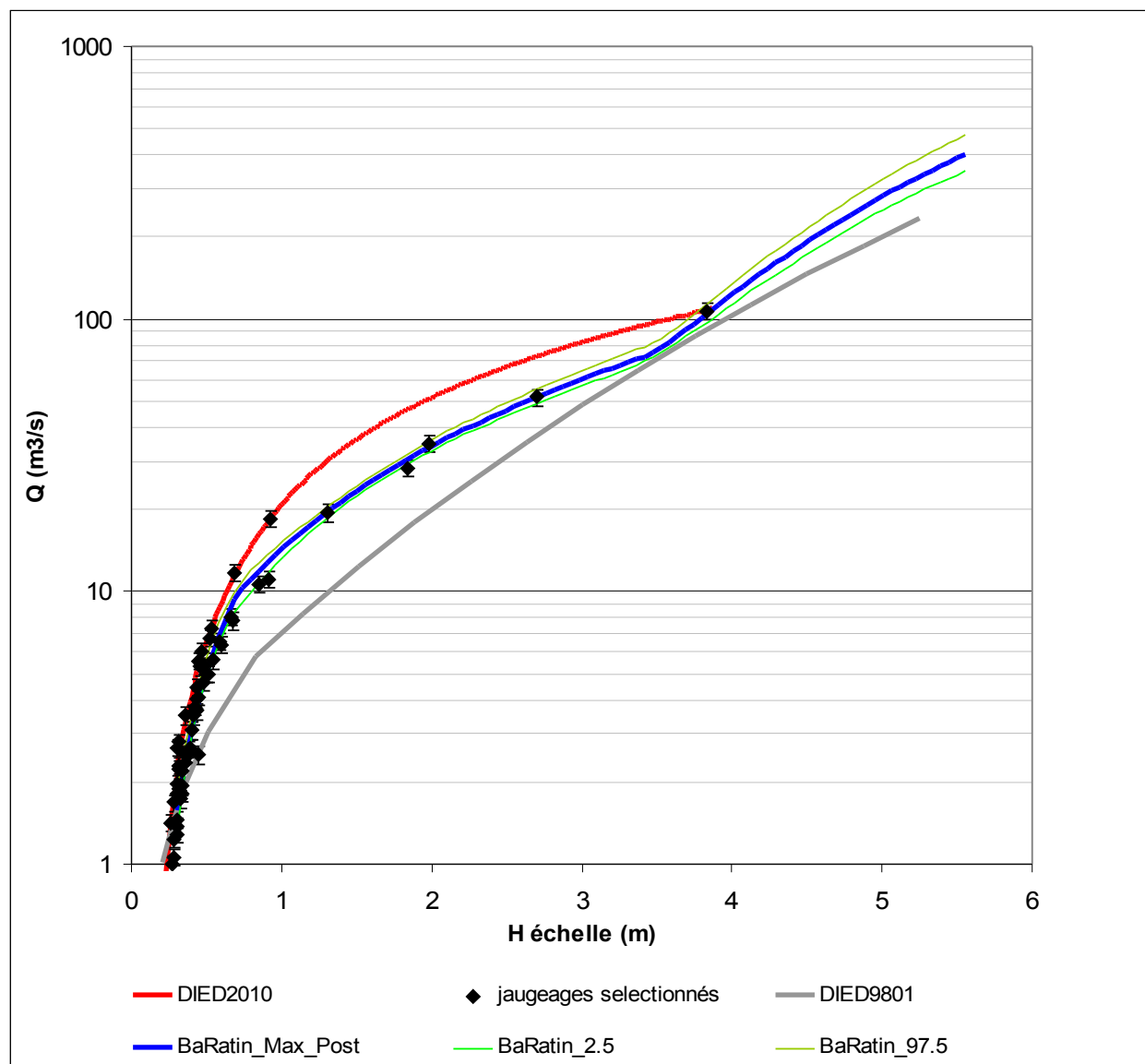


Figure 44: Comparaison des différentes courbes de tarage de la station de la Sarre à Diedendorf

La courbe DIED2010, actuellement utilisée par le SPC, semble donner beaucoup de poids au jaugeage du 16 mars 2009, au détriment du reste des jaugeages de la gamme comprise entre 1m et 4m d'eau. Lors de notre analyse il ne nous a pas semblé que ces jaugeages devaient être exclus, ceux-ci se trouvant au delà de la hauteur d'influence d'une modification du lit mineur affectant les débits d'étiage. Au contraire, l'analyse par BaRatin nous conduit même à nous interroger sur la qualité du jaugeage de mars 2009.



De même pour la gamme des bas débits, un plus grand nombre de jaugeages a été retenu pour l'analyse BaRatin, la courbe DIED2010 ne retenant que les jaugeages les plus récents. Cette démarche est tout à fait pertinente lorsque que l'on traite, comme c'est le cas ici, de station dont le lit est légèrement instable. Toutefois BaRatin présente l'avantage de fournir une enveloppe de confiance à 95 %, laquelle permet de tenir compte des modifications apparues lors des 10 dernières années et susceptibles de continuer à se produire. Notons d'ailleurs que la courbe DIED2010 est confinée, dans cette gamme de débit, à l'enveloppe d'incertitude.

## 6 Station de la Sarre à Sarralbe-centre

### 6.1 Informations sur la station

- Code de la station : A9200100
- Rivière : Sarre
- Date d'installation : 21/02/2005
- Z0 échelle : 206.28 m IGN69, topo 2011
- Bassin versant : 1303 km<sup>2</sup>
- Pente locale du lit : 0.0007 (cf. sections du modèle hydraulique)
- Hauteur minimale enregistrée à l'échelle depuis 2010 : 1.04 m
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0.98 m

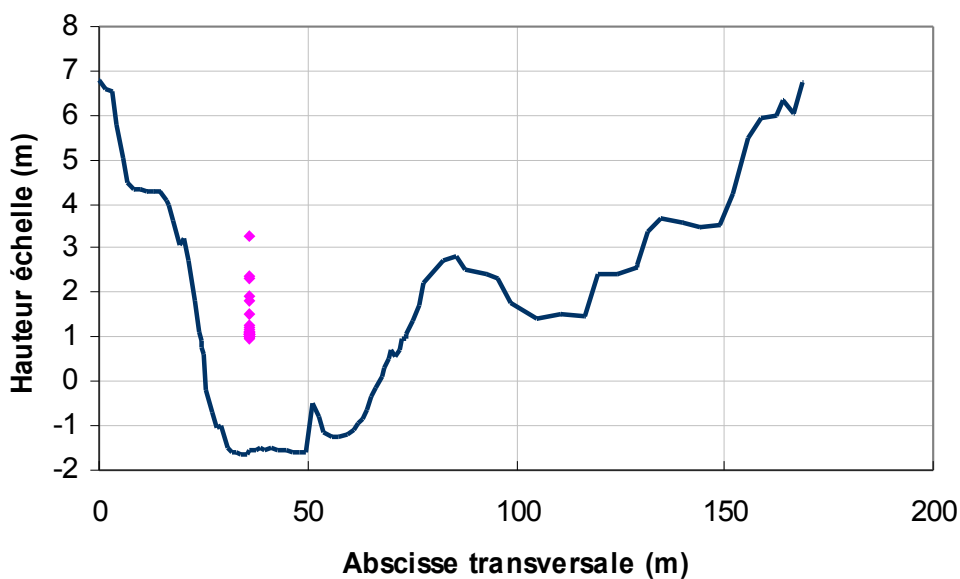


Figure 45: Section en travers du au droit du limnimètre de la station de Sarralbe centre sur la Sarre (en rose les hauteurs correspondant au jaugages)

## 6.2 Description et analyse hydraulique du site

### 6.2.1 Description du site

La station de Sarralbe-centre a été installée en 2005 à l'aval du bourg de Sarralbe (Figure 47), à environ 200 m en aval de la confluence entre l'Albe et la Sarre (Figure 46). L'écoulement se fit en direction du Nord-Est.

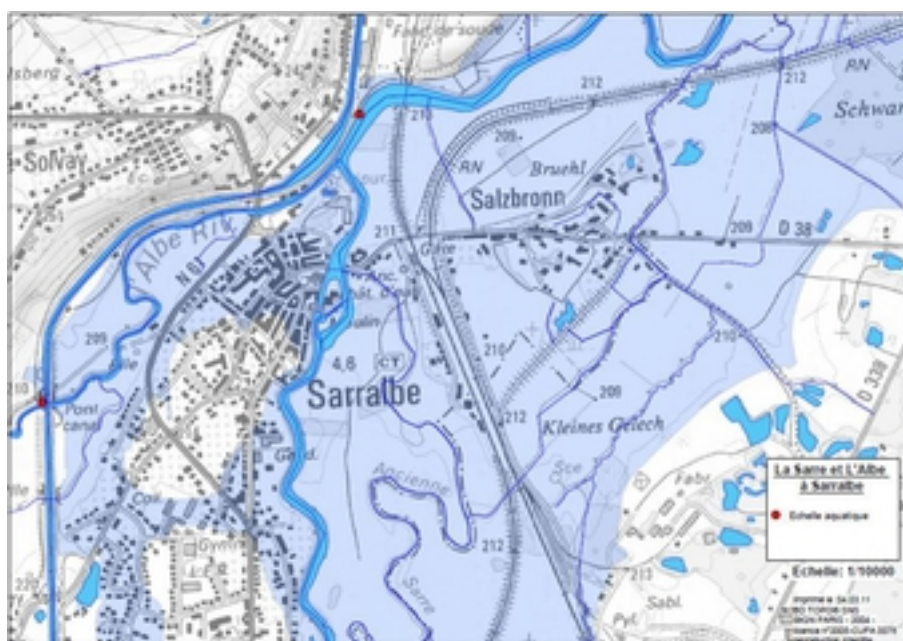


Figure 46 : Champ de débordement de la Sarre et de l'Albe à Sarralbe

Le champ d'expansion de la rivière en lit majeur est limité en rive droite par la voie ferrée qui traverse entièrement la vallée (Figure 46). Un pont SNCF relativement bas permet à la voie ferrée de franchir la Sarre à l'aval de la station (Figure 48).

Au niveau de la station, le lit de la Sarre est relativement profond et large (Figure 51). Le lit majeur en rive droite est boisé (Figure 51 et Figure 52) et sa largeur diminue progressivement jusqu'au pont SNCF avant de s'élargir à son aval. Par la suite, une deuxième voie ferrée limite une nouvelle fois le lit majeur. En rive gauche, la présence des digues du canal de l'Albe empêche l'existence d'un lit majeur en rive gauche (Figure 46).



*Figure 47 : le bourg de Sarralbe vu depuis la station*



*Figure 48 : vue du pont SNCF depuis l'amont*



A environ 2,7 km à l'aval de la station, au lieu-dit La Niederau, un seuil horizontal contrôle l'écoulement du lit mineur (Figure 49). D'abord mis de côté, les premières analyses ont fait apparaître le rôle que joue ce seuil sur les écoulements en étiage au niveau de la station.



Figure 49 : Vue aérienne du site de Sarralbe centre avec le seuil aval entouré d'un cercle rouge (source Geoportail)



*Figure 50 : vue du pont SNCF aval depuis la station et son échelle limnimétrique*



*Figure 51 : vue du site de la station depuis le pont SNCF*





Figure 52 : échelle limnimétrique



Figure 53 : pont SNCF depuis l'aval

## 6.2.2 Fonctionnement hydraulique du site

- Bas débits : pour les bas débits, l'écoulement est sous influence du seuil situé à 2,7 km à l'aval de la station.
- Débits moyens : pour les débits moyens, le seuil aval devient noyé ; l'écoulement est alors contrôlé par le chenal du lit mineur. Aucun ouvrage de type pilier de pont ou remblai n'influence pas l'écoulement significativement.
- Débits forts : à la faveur du débordement, l'écoulement qui se produit est toujours contrôlé par le chenal du lit mineur, auquel vient s'ajouter le chenal du lit majeur. Limité en rive gauche par la digue du canal au niveau de la station, le débordement s'effectue essentiellement en rive droite.

## 6.2.3 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station

Après analyse du site, son fonctionnement hydraulique peut se décomposer en trois gammes de hauteur :

- Gamme 1 : représentative des bas débits et du contrôle de l'écoulement réalisé uniquement par le seuil horizontal situé 2,7 km à l'aval de la station. L'influence du seuil devrait se faire sentir pour des hauteurs allant jusqu'à 1,70m environ.
- Gamme 2 : représentative des débits moyens et de l'effacement du contrôle par le seuil au profit d'un contrôle effectué par le chenal du lit mineur, pour des hauteurs d'eau allant jusqu'à 2,50m environ.
- Gamme 3 : elle est représentative d'une situation de débordement en lit majeur. Au contrôle par le lit mineur (contrôle 2) vient s'ajouter le contrôle hydraulique du lit majeur (contrôle 3). Ce dernier est constitué de parcelles agricoles en herbe, présentant de très faibles pentes en rive droite, où la majeure partie du débordement a lieu (Figure 46 et Figure 49).

La synthèse hydraulique peut se traduire par le tableau suivant :



n° Gamme	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
	Seuil aval	Chenal lit mineur	Chenal lit majeur
1			
2			
3			

Tableau 15 : Synthèse de l'analyse hydraulique du site de Sarralbe-centre

### 6.3 Données de jaugeage

La station de Sarralbe-centre n'existe que depuis 2005, aussi, seulement 28 jaugeages sont disponibles à ce jour (Figure 54).

La station est très bien jaugée à bas débit (<10 m<sup>3</sup>/s). Compte tenu du peu d'ancienneté de la station et du faible nombre de jaugeages, il n'existe pas une forte dispersion pour les bas débits comme cela peut s'observer pour des stations plus anciennes qui ont pu détarer au cours du temps. De plus il est probable que le seuil à l'aval permette de stabiliser les écoulement en étiage.

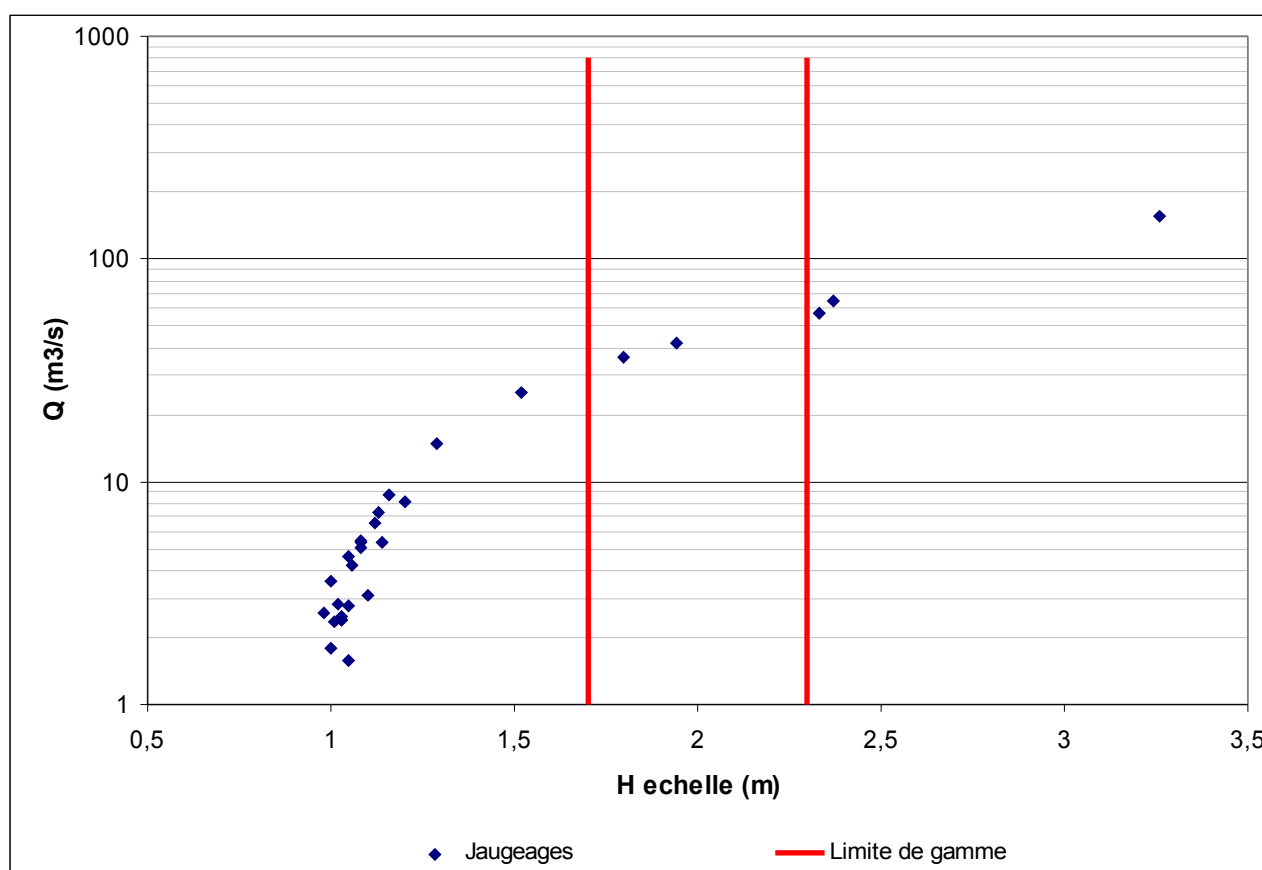


Figure 54: Jaugeages retenus pour l'analyse de la Sarre à Sarralbe Centre

Entre 10 m<sup>3</sup>/s et 70 m<sup>3</sup>/s, les jaugeages sont espacés relativement régulièrement et décrivent une relation Q(h) cohérente.

Au delà, nous ne disposons que d'un seul jaugeage. Ce dernier semble marquer une rupture de pente avec le jaugeage précédent, signe d'un débordement en lit moyen.

Aucun de ces jaugeages n'ayant été jugé aberrant ils sont tous conservés pour l'analyse bayésienne.

## **6.4 Modélisation hydraulique**

### **6.4.1 Utilisation de la modélisation**

Pour les forts débits, un seul jaugeage est disponible pour une hauteur de 3,26 m. Il n'existe aucun jaugeage entre 2,5 m et 3,26 m. Par conséquent, pour des hauteurs importantes, le tracé de la courbe Q(h) s'apparente à une extrapolation qui ne peut s'appuyer que sur un seul jaugeage fort. Dans ce cas, l'utilisation des *a priori* hydrauliques et de la modélisation hydraulique devrait permettre d'affiner la compréhension du comportement de la relation Q(h) pour cette gamme de hauteur.

### **6.4.2 Données topographiques**

Les données topographiques dont nous disposons sont principalement issues de l'étude réalisée par ISL en 1997. Ces données ont été complétées par 3 relevés effectués en 2011 par un géomètre indépendant à la demande du SPC et d'Irstea. Ces relevés ont permis d'affiner la connaissance de la topographie à proximité de la station hydrométrique et ont également permis de juger de la cohérence des sections plus anciennes.

Le tronçon ainsi modélisé s'étend sur environ 4,3 km ; principalement à l'aval de la station (Figure 55). La pente locale étant très faible (voire négative localement), il a été nécessaire d'établir pour le modèle un tronçon aval relativement long pour nous affranchir de la condition aval. Nous nous sommes ainsi aperçu du rôle que pouvait jouer le seuil en aval, pourtant situé à environ 2,7 km. Ce seuil a donc fait l'objet d'un levé pour être intégré au modèle.

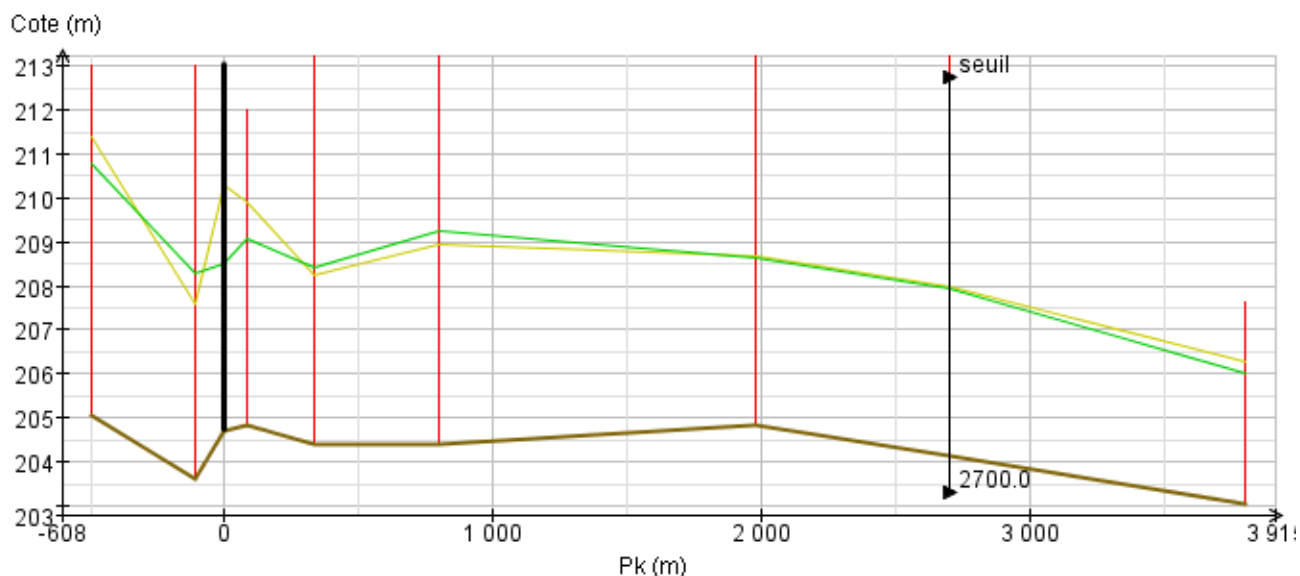


Figure 55: Profil en long du tronçon modélisé de la Sarre à la station de Sarralbe centre

Des sections de calcul sont interpolées par le logiciel de modélisation tous les 100 m.

### 6.4.3 Le modèle hydraulique

Le calage du modèle hydraulique pour les différentes hypothèses (standard, rugueuse, lisse) a été réalisé avec les coefficients de Strickler présentés dans le Tableau 16.

Hypothèses	Coefficients de Strickler	
	Lit mineur	Lit moyen
lisse	50	35
standard	<b>40</b>	<b>25</b>
rugueuse	30	15

Tableau 16: Coefficients de Strickler retenus pour la modélisation hydraulique de la station de Sarralbe centre sur la Sarre

Les valeurs de l'hypothèse standard sont cohérentes avec la morphologie des lits mineurs et majeurs. Cependant afin de tenir compte de l'hétérogénéité du champ de débordement (zones fortement boisées et prairies lisses sont côte à côte) nous avons choisi de donner une large amplitude au coefficient de Strickler dans les hypothèses lisse et rugueuse.

Ces paramètres nous permettent d'obtenir des courbes de tarage dont l'allure semble être en accord avec la relation  $Q(h)$  qui se dégage de l'observation des jaugeages (Figure 56).

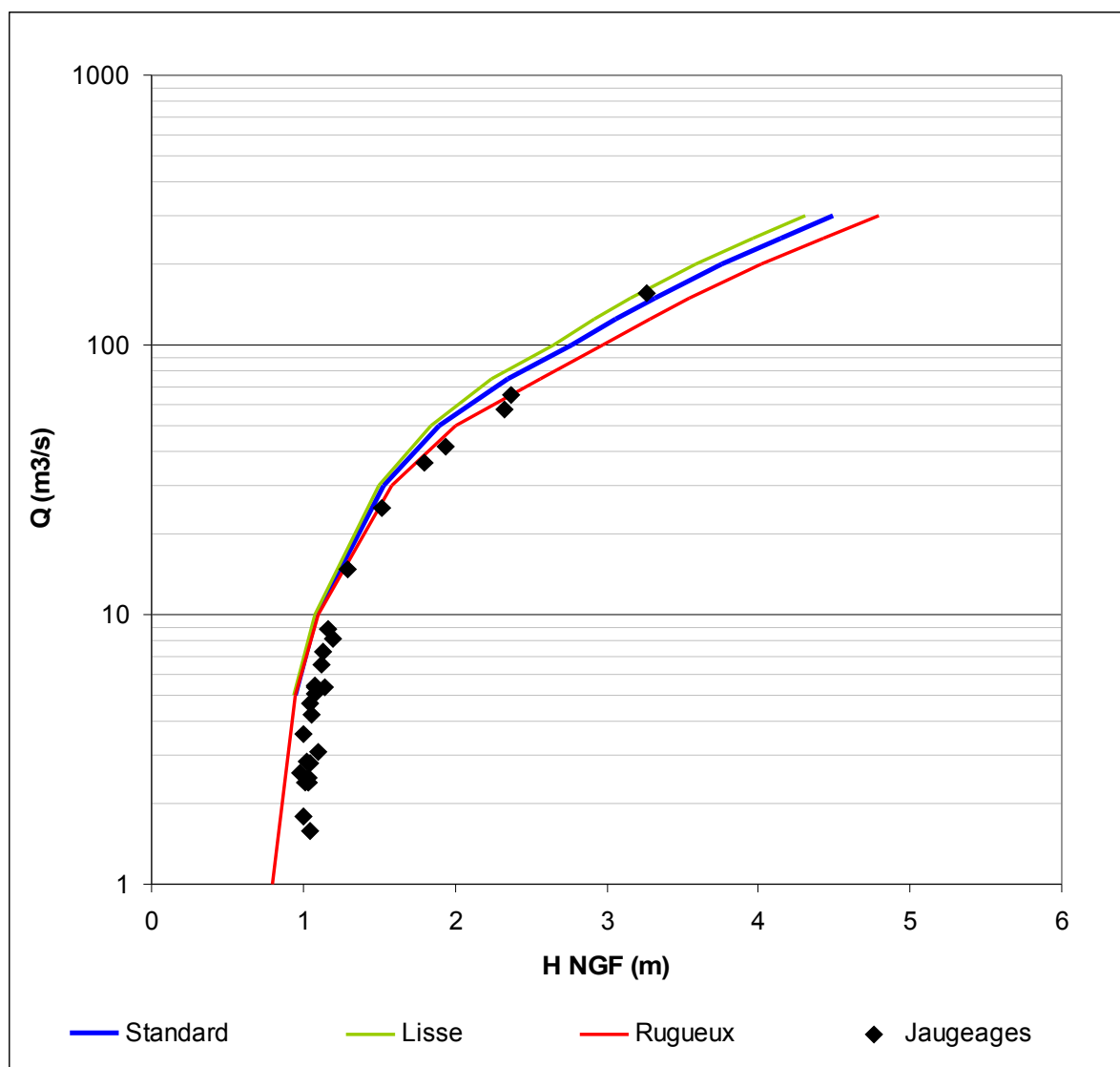


Figure 56: Calage et comparaison du modèle hydraulique aux jaugeages pour la station de Sarralbe Centre sur la Sarre

Il est important de se souvenir que le modèle est avant tout utilisé pour affiner les *a priori* des gammes de débit supérieures. Ainsi l'écart entre le modèle et les jaugeages à bas débit ne remet pas en cause l'utilisation du modèle pour la suite de l'analyse. Pour cette gamme de débit BaRatin s'appuiera davantage sur les nombreux jaugeages que sur la modélisation hydraulique.

## 6.5 Détermination des *a priori*

### 6.5.1 Évaluation des *a priori* pour chaque gamme de contrôle

- **Contrôle 1** : contrôle par un radier naturel (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

- *a priori* sur *a* :  $a = C B \sqrt{2g}$

Paramètres	Valeur	Incertitude (+/-)
C	0,4	0,1
B (m)	30	5

d'où :  $a = 50,4$  et  $\sigma_a = 10,5$

Une valeur de 0.1 comme incertitude autour de la valeur de 0.4 permet de prendre en compte notre méconnaissance du fonctionnement de ce radier.

La largeur du lit au droit de la section est connue avec une certaine précision, d'où une incertitude assez réduite de 1.50 m autour de la valeur centrale.

- *a priori* sur *b* :  $b = H_{min} = 0.95$  et  $\sigma_b = 0.3$

- *a priori* sur *c* :  $c = 1.50$  et  $\sigma_c = 0.05$

- **Contrôle 2 et 3** : l'écoulement est contrôlé par le chenal du lit mineur, auquel s'ajoute ensuite le chenal du lit moyen.

La détermination des *a priori* sur les gammes correspondant à ces contrôles s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique, comme décrit au paragraphe 3.3.2.

Les paramètres de deux lois puissances ont été ajustés de façon à tenir compte de l'analyse du fonctionnement hydraulique que venait conforter la modélisation hydraulique. Nous obtenons ainsi une reproduction fidèle des courbes issues de la modélisation (cf Figure 57).

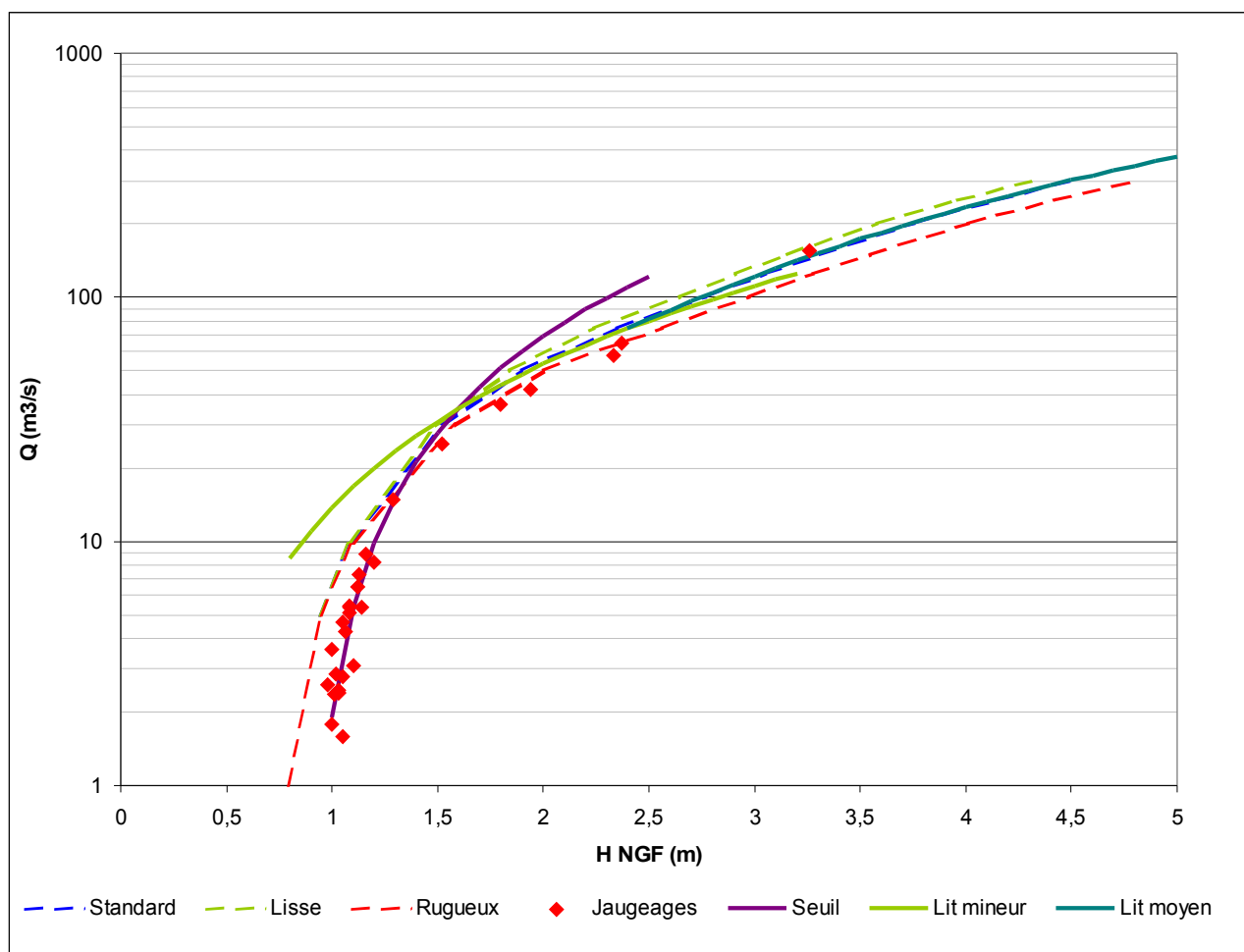


Figure 57: lois puissances calées sur les courbes de tarage issues de la modélisation hydraulique de la station de Sarralbe centre sur la Sarre

### 6.5.2 Synthèse des *a priori* fournis à BaRatin

En fonction de l'analyse hydraulique du site, des formules analytiques ainsi que des simulations, les *a priori* fournis à BaRatin ont été définis et sont présentés dans le Tableau 18 et Tableau 17.

Gamme			Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
n°	H min	H max	Radier	Chenal lit mineur	Chenal lit moyen
1	0,95	1,7			
2	1,7	2,3			
3	2,3	7			

Tableau 17 : Configuration du fonctionnement hydraulique et bornes des gammes de hauteur pour le site de Sarralbe centre

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	+/-
1	a1	50	20
	b1	0,9	0,3
	c1	1,5	0,05
2	a2	20	5
	b2	0,2	1
	c2	1,67	0,05
3	a3	20	10
	b3	2,3	1
	c3	1,67	0,05

Tableau 18: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station de Sarralbe centre

## 6.6 Résultats et commentaires

### 6.6.1 Les résultats en graphiques

BaRatin fournit une courbe de tarage qui semble tout à fait cohérente avec les données de jaugeages. L'enveloppe d'incertitude, d'abord assez fine, s'élargit une fois dépassé le jaugeage le plus haut. Cependant grâce à l'analyse hydraulique, l'intervalle de confiance reste relativement proche de la courbe centrale malgré l'absence de jaugeage sur une large gamme de débit.

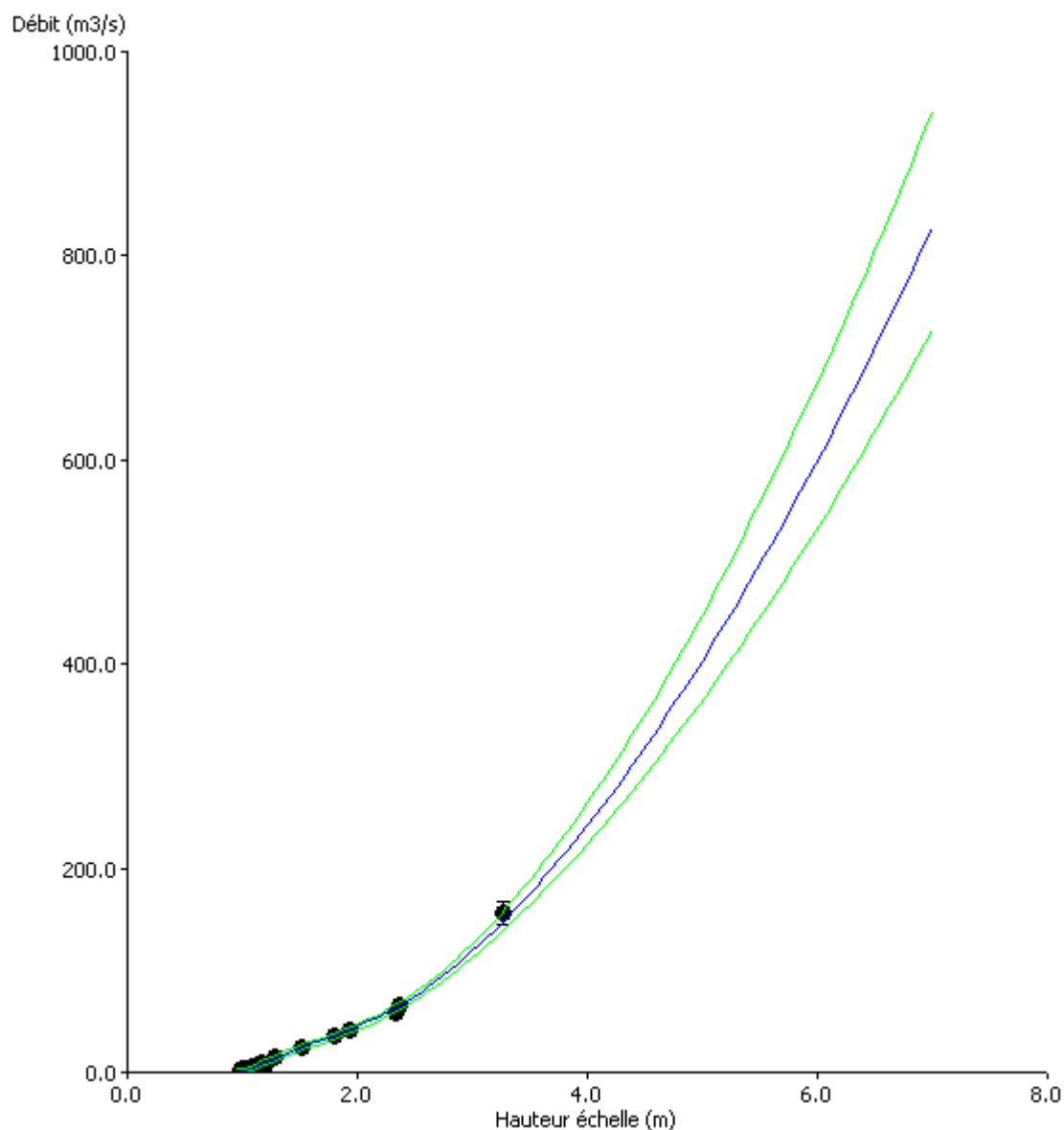


Figure 58: Résultat graphique de la courbe de tarage et de son intervalle d'incertitude à 95 % à la station sur la Sarre à Sarralbe centre

### 6.6.2 Paramètres calculés par BaRatin

Les valeurs calculées par BaRatin sont présentées dans les Tableau 19 et Tableau 20.

L'ensemble de ces valeurs est en accord avec les *a priori*, les courbes générées restent donc pertinentes vis à vis des jaugeages, ainsi que de l'analyse du fonctionnement hydraulique.



Segment	H min	H max
1	0,95	1,46
2	1,46	2,21
3	2,21	7

Tableau 19: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin pour la station de Sarralbe centre sur la Sarre

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	<i>a priori</i>
1	a1	52,037	50 ± 20
	b1	0,886	0,9 ± 0,3
	c1	1,500	1,5 ± 0,05
2	a2	20,794	20 ± 5
	b2	0,407	0,2 ± 1
	c2	1,673	1,67 ± 0,05
3	a3	24,858	20 ± 10
	b3	2,214	2,3 ± 1
	c3	1,669	1,67 ± 0,05

Tableau 20: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin pour la station de Sarralbe centre sur la Sarre

### 6.6.3 Conclusions sur la courbe générée

La courbe générée par BaRatin semble satisfaisante sur l'ensemble des gammes de débits (Figure 59).

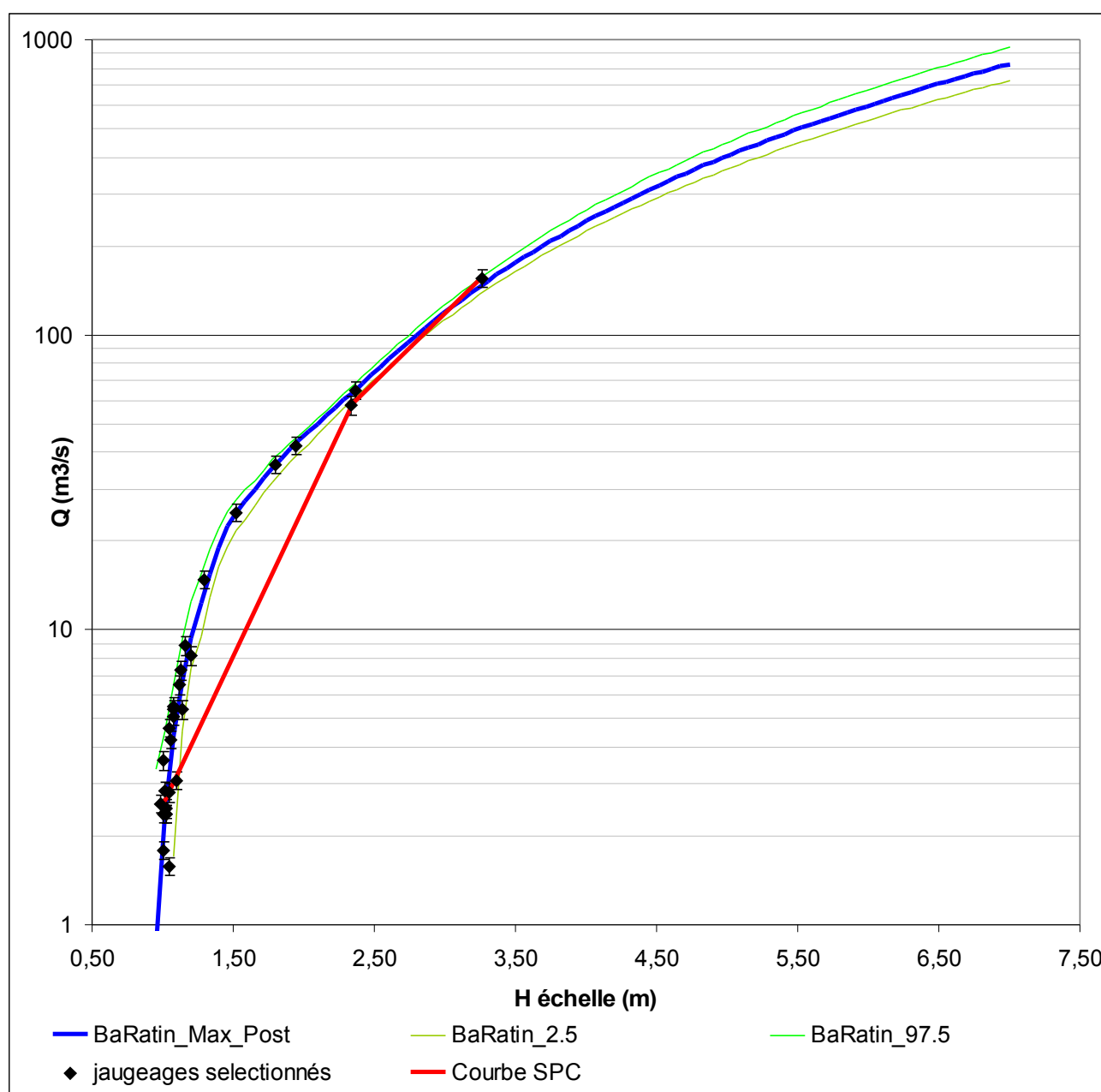


Figure 59: Comparaison des courbes de tarage SPC et BaRatin à la station de Sarralbe centre sur la Sarre

Les courbes BaRatin reposent sur davantage de jaugeages que la courbe actuellement présente dans la base Bareme, pour laquelle un certain nombre de jaugeages anciens avaient été écartés ; c'est pourquoi les écarts entre les deux courbes à bas débits sont si flagrants.

Les futurs jaugeages pourront venir s'ajouter et pourraient permettre de réduire l'enveloppe d'incertitude, en particulier dans les gammes les plus hautes. L'analyse hydraulique et les *a priori* issus de cette analyse ayant été confortés par l'analyse BaRatin, ces éléments pourront être utilisés pour d'éventuels mises à jour de la courbe dans le futur.

La courbe proposée est représentative de la configuration actuelle de la station, influencée à bas débit par le seuil aval et contrôlée par les chenaux dans les débits supérieurs. Pour déterminer jusqu'où l'on pourra faire remonter la période de validité il sera nécessaire de s'intéresser à l'historique des travaux sur les berges et sur le seuil aval.

## 7 Station de l'Albe à Rech

### 7.1 Présentation de la station

- Code de la station : A9132050
- Rivière : Albe
- Période de fonctionnement : du 01/01/1967 au 06/08/2007
- $Z_0$  échelle : évalué à 208,4 m
- Bassin versant : 406 km<sup>2</sup>
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0,1 m

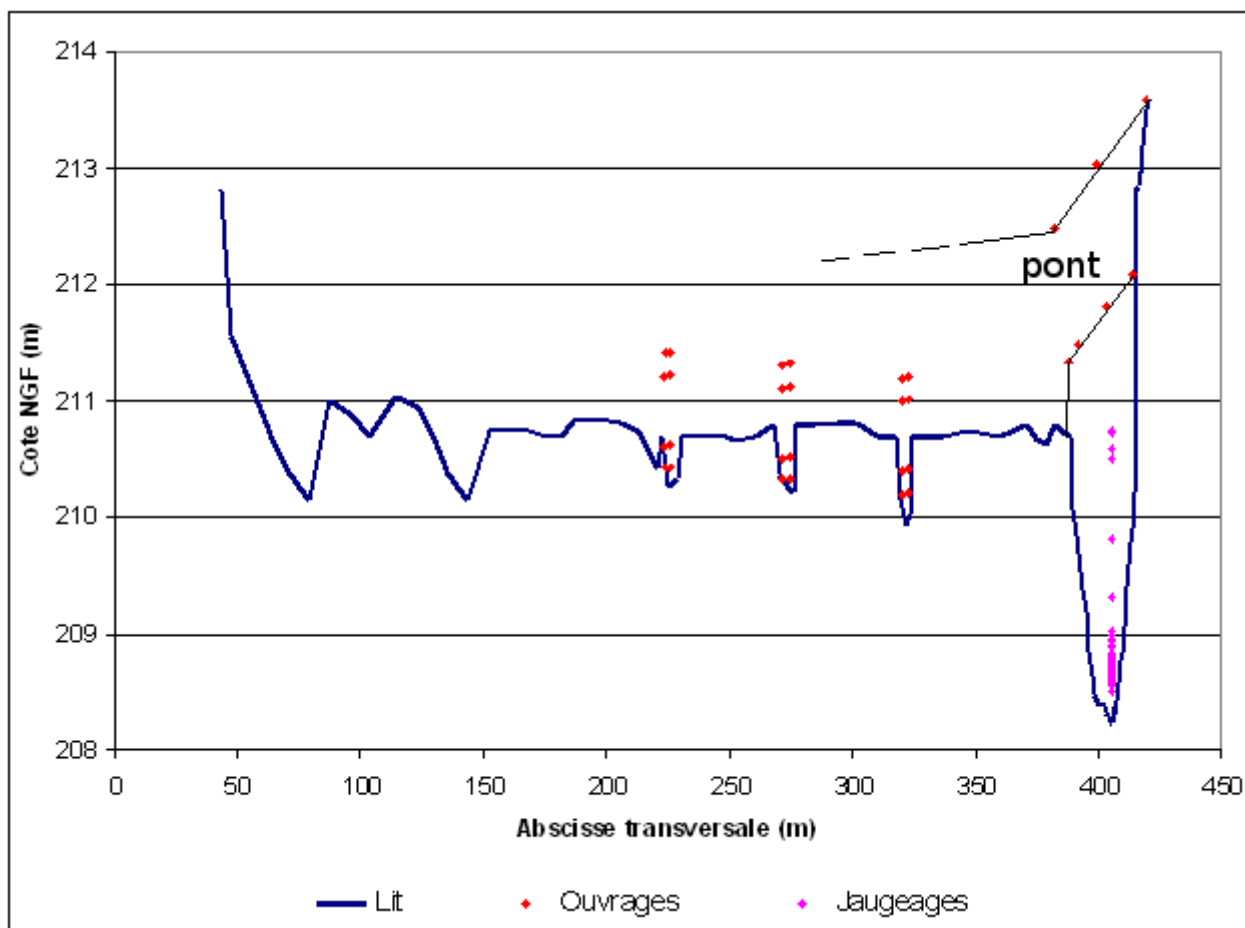


Figure 60: Section en travers au niveau du limnimètre à la station de l'Albe à Reich

## 7.2 Description du site



Figure 61: Vue du pont de la D156F au dessus de l'Albe depuis la rive droite via Google Streets (date de la prise de vue : janvier 2011)



Figure 62: Photo de l'Albe en période d'étiage, sous le pont de la D156F



*Figure 63: Photo de l'Albe à proximité de la station*



*Figure 64: Berge dégradée en rive gauche à l'amont immédiat du pont, où la rivière semble servir d'abreuvoir naturel*





*Figure 65: Vue de l'Albe en aval de la station depuis le pont de la D156F via Google Streets (date de la prise de vue : janvier 2011)*



*Figure 66: Photo aérienne de l'Albe au niveau de Rech. La station est localisée à l'aide d'un point rouge. L'écoulement se fait dans l'axe Sud-Nord (de bas en haut de l'image).*

La station de Rech est située sur l'Albe au niveau du pont de la D156F (Figure 61).

Le lit mineur, large d'une dizaine de mètres, semble relativement instable. De part et d'autre du pont, la rivière paraît être utilisée comme abreuvoir naturel (Figure 64). Par l'action mécanique du piétinement sur le fond sablo-limoneux (Figure 62) et par l'apport régulier de nutriments favorisant le développement d'algues en période estivale, la présence d'animaux d'élevage à proximité immédiate du cours d'eau pourrait contribuer doublement à l'instabilité du lit mineur et des mesures de débit en basses eaux.

La végétation des berges est assez développée (Figure 63 et Figure 65).

Les habitations en rive droite surplombent légèrement le cours d'eau. En hautes eaux l'Albe inonde les prairies situés en rive gauche au niveau de la station. Cette plaine de débordement est coupée par un talus sur lequel passe la D156F (Figure 66) et le long duquel sont installés trois dalots d'environ 3m de de large sur 1m de hauteur (Figure 60).



### 7.3 Détermination des a priori

Les a priori ont été déterminés sur la base de l'analyse hydraulique ainsi que sur les données topographiques.

#### 7.3.1 Synthèse de l'analyse hydraulique de la station

Bas débit : l'écoulement se fait dans une section potentiellement très instable en raison de la nature du fond du lit et de la présence d'animaux d'élevage. Nous estimons que la présence d'algues et d'herbiers, favorisée par ces deux facteurs, se ressent sur l'écoulement jusqu'à une hauteur d'échelle d'environ 0,4m.

Moyens et hauts débits : à partir d'une cote échelle d'environ 0,4m l'écoulement commence à être contrôlé par la section du chenal. En hautes eaux l'écoulement déborde en rive gauche. Les dalots sont activés respectivement pour des cotes de 1,8m, 1,9m et 2,0m.

Nous situons la limite de l'étude à 211,2 m NGF (soit une cote échelle de 2,8m), ce qui correspond à la mise en charge du premier dalot, le plus proche du cours d'eau.

#### 7.3.2 A priori fournis à BaRatin

Gamme			Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3	Contrôle 4	Contrôle 5
n°	H min	H max	Radier	Chenal lit mineur	Dalot 1	Dalot 2	Dalot 3
1	0,1	0,4					
2	0,4	1,8					
3	1,8	1,9					
4	1,9	2,0					
5	2,0	2,8					

Tableau 21 : Configuration du fonctionnement hydraulique et bornes des gammes de hauteur pour le site de l'Albe à Rech

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	+/-
1	a1	18	5
	b1	0,05	0,5
	c1	1,5	0,05
2	a2	5	5
	c2	1,67	0,05
3	a3	5,5	1
	c3	1,5	0,05
4	a4	5,5	1
	c4	1,5	0,05
5	a5	5,5	1
	c5	1,5	0,05

Tableau 22: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station de l'Albe à Rech

## 7.4 Données de jaugeages

### 7.4.1 Approximation du zéro de l'échelle

Les jaugeages dont nous disposons ont été réalisés dans la période allant de 1995 à 2007.

L'échelle limnimétrique servant de référence pour ces jaugeages a été emportée lors d'une crue après 2007, le zéro de l'échelle n'a donc pas pu être levé lors de la campagne de mesures topographiques de 2011. Cette donnée est également absente des archives du SPC.

**Ainsi nous ne disposons d'aucune donnée permettant de faire la correspondance entre le référentiel échelle, dans lequel sont exprimés les jaugeages, et le référentiel NGF, dans lequel sont exprimés les points de topographie.**

Cette donnée est cruciale pour pouvoir exprimer les cotes des éléments de contrôle identifiés dans l'analyse hydraulique dans le référentiel de l'échelle, et donc pour la détermination d'une partie des a priori.

Afin de poursuivre l'analyse nous avons donc réalisé une approximation de la cote du zéro de l'échelle à partir des métadonnées d'une dizaine de jaugeages à bas débit et de la topographie de la section de Rech.

Dans le logiciel PamHyr nous avons fait apparaître le niveau de l'eau dans la section topographiée à la station de Rech tel qu'il corresponde à la valeur de l'aire de la section mouillée donnée renseignée dans Bareme. Nous obtenons ainsi la cote NGF de la fleur d'eau au moment du jaugeage, à laquelle il suffit de soustraire la valeur de « cote échelle retenue » pour obtenir la cote NGF du zéro de l'échelle (Figure 67).

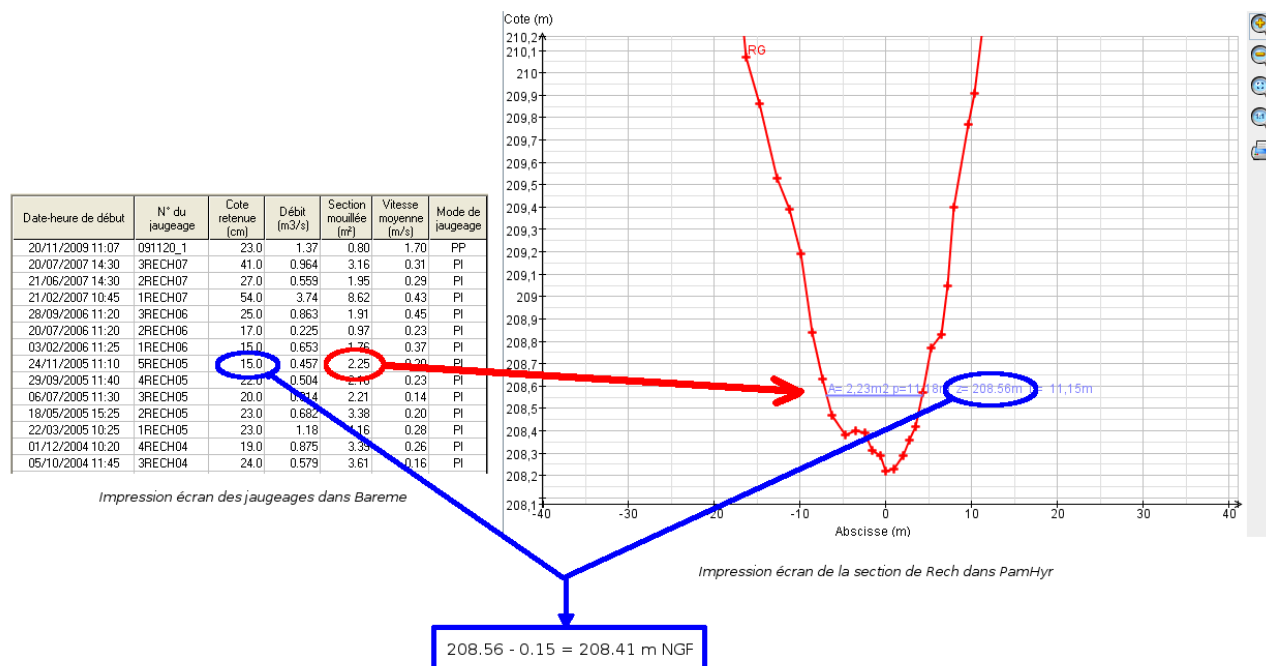


Figure 67: Schéma explicatif de la méthode utilisée pour la détermination du zéro de l'échelle à Rech

Nous avons répété cette opération pour une dizaine de jaugeages pour obtenir une valeur plus robuste et avons obtenues des valeurs allant de 208,36 m à 208,45 m.

**Nous avons ainsi estimé grossièrement la cote du zéro de l'échelle à 208,40 m NGF.**

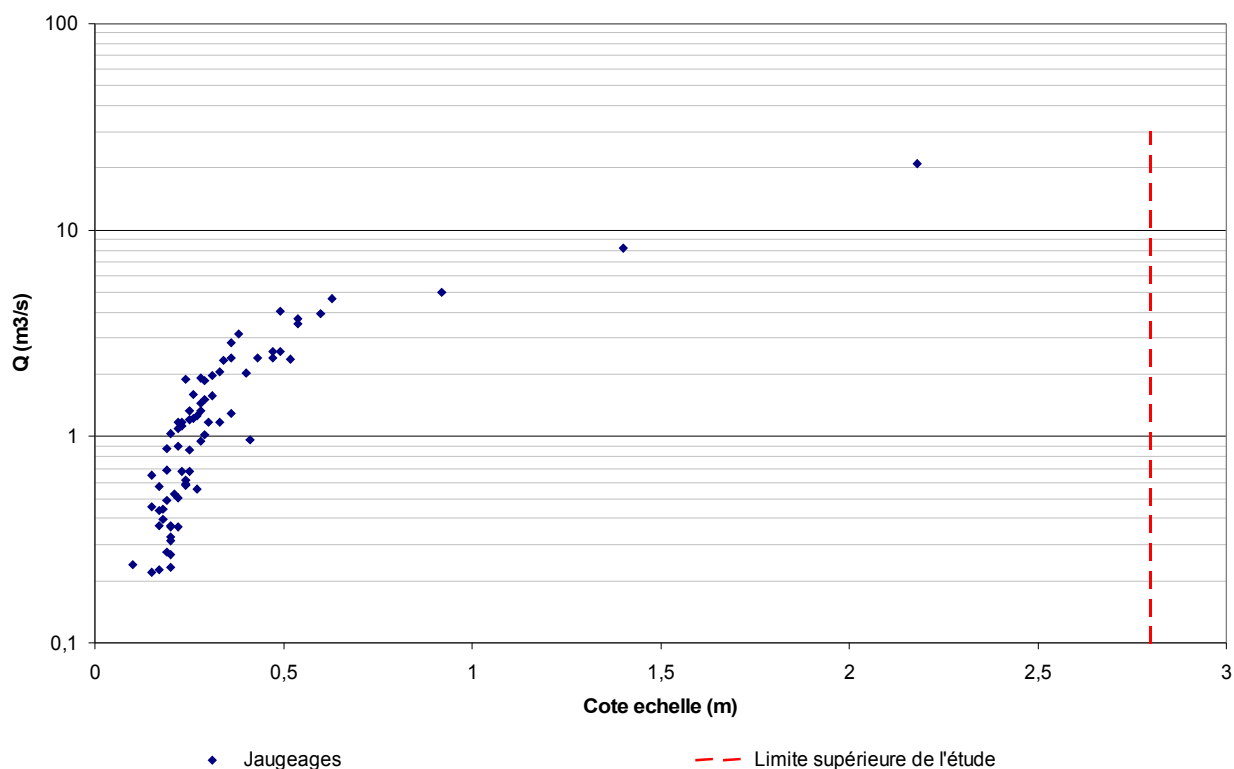
**D'autre part, comme nous l'avons dit précédemment le lit mineur au niveau de la station est potentiellement instable. La section, et en particulier son point le plus bas, est donc susceptible d'avoir évolué entre la date à laquelle ont été réalisés les jaugeages et la date du levé de la bathymétrie.**

**Enfin rien n'indique que la section de jaugeages correspond réellement à la section de l'échelle sur laquelle nous nous sommes basés.**

**Les résultats des analyses basées sur cette valeur estimée doivent donc être interprétés et utilisés avec la plus grande précaution.**

## 7.4.2 Analyse des jaugeages

Comme pour les autres stations les jaugeages de l'hiver 1998 - 1999 paraissent isolés, en particulier dans les hauts débits. Nous avons donc choisi de les écarter de l'étude.



*Figure 68: Jaugeages retenus pour l'analyse de l'Albe à la station de Rech*

Pour les hauteurs d'eau allant jusqu'à 0,6m en cote échelle, c'est-à-dire pour des débits ne dépassant pas  $4\text{m}^3/\text{s}$ , les jaugeages sont fortement dispersés (Figure 68). Pour autant nous n'avons pas pu trouver de tendance saisonnière nette ni de marque d'un détarage permettant de mettre en doute certaines données.

Notons que nous n'avons pas d'informations permettant de savoir si les débits passant dans les dalots ont été pris en compte.

## 7.5 Résultats et commentaires

### 7.5.1 Les résultats en graphique

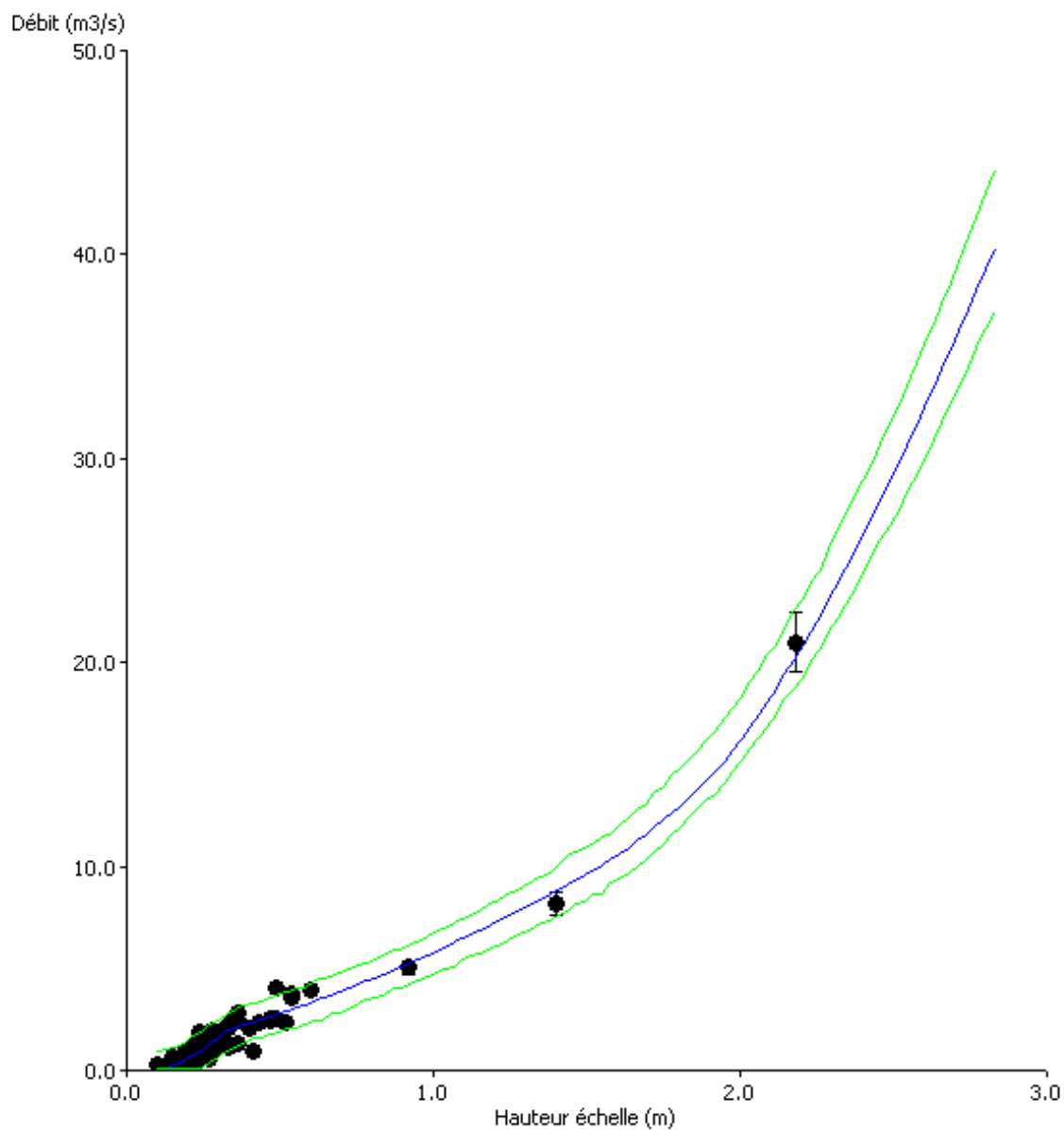


Figure 69: Courbe de tarage générée par BaRatin pour la station de l'Albe à Reich

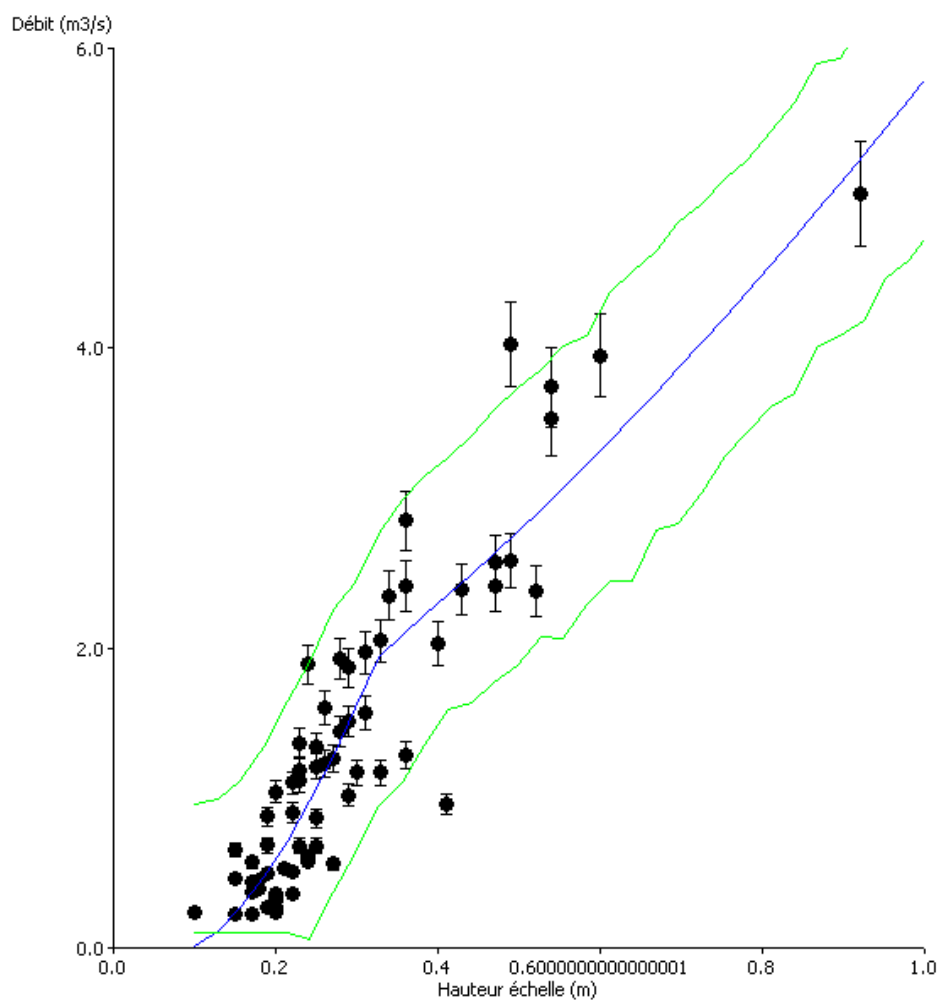


Figure 70: Zoom sur les bas débits sur la courbe de tarage générée par BaRatin pour la station de l'Albe à Reich

### 7.5.2 Paramètres calculés par BaRatin

Les valeurs calculées en sortie par BaRatin sont exposées dans les Tableau 23 et Tableau 24. Ces valeurs restent dans les gammes d'incertitude des *a priori* que nous avons évaluées à partir de l'analyse du fonctionnement hydraulique et du modèle.

Segment	H min	H max
1	0,1	0,35
2	0,35	1,55
3	1,55	1,70
4	1,70	2,01
5	2,01	2,8

Tableau 23: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	a priori
1	a1	15,41	18 ± 5
	b1	0,08	0,05 ± 0,5
	c1	1,50	1,5 ± 0,05
2	a2	3,33	5 ± 5
	c2	1,66	1,67 ± 0,05
3	a3	5,67	5,5 ± 1
	c3	1,50	1,5 ± 0,05
4	a4	5,20	5,5 ± 1
	c4	1,52	1,5 ± 0,05
5	a5	4,89	5,5 ± 1
	c5	1,51	1,5 ± 0,05

Tableau 24: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin

### 7.5.3 Conclusions sur la courbe générée

L'absence de données concernant l'échelle limnimétrique ayant servi pour le référencement des jaugeages nous a contraint à recourir à une approximation grossière de cette donnée.

Ainsi bien que l'enveloppe d'incertitude soit peu étendue et les paramètres fournis par BaRatin en accord avec nos a priori, la validité de la courbe de tarage fournie ici reste assez incertaine.

## 8 Complément d'étude : influence de la Sarre sur l'Albe à Eich

En complément de l'analyse des courbes de tarage à Rech (sur l'Albe) et à Sarralbe centre (sur la Sarre), nous proposons ici une étude d'influence de la Sarre sur l'Albe à Eich.

Nous avons cherché à estimer pour différentes gammes de débit de l'Albe, la cote à partir de laquelle la Sarre à Sarralbe contrôle l'écoulement de l'Albe à Eich.

### 8.1 Présentation du site

La site de Eich se situe sur l'Albe, à environ 1700m en amont de la confluence avec la Sarre, au niveau du pont canal (Figure 71).

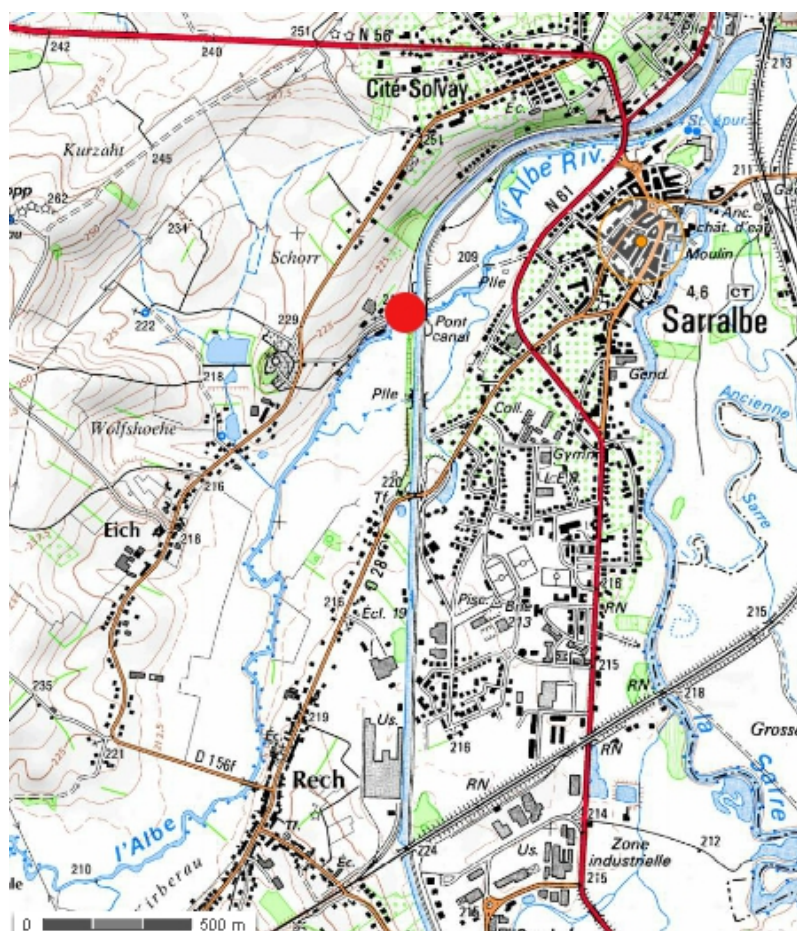


Figure 71: Localisation de la station sur l'Albe à Eich (point rouge)



## 8.2 Modèle hydraulique

Pour ce complément d'étude nous nous sommes basés sur un modèle hydraulique très simpliste constitué de seulement trois sections : Rech sur l'Albe au pont routier D156f, Ech sur l'Albe au niveau du pont canal et Sarralbe centre sur la Sarre (Figure 72).

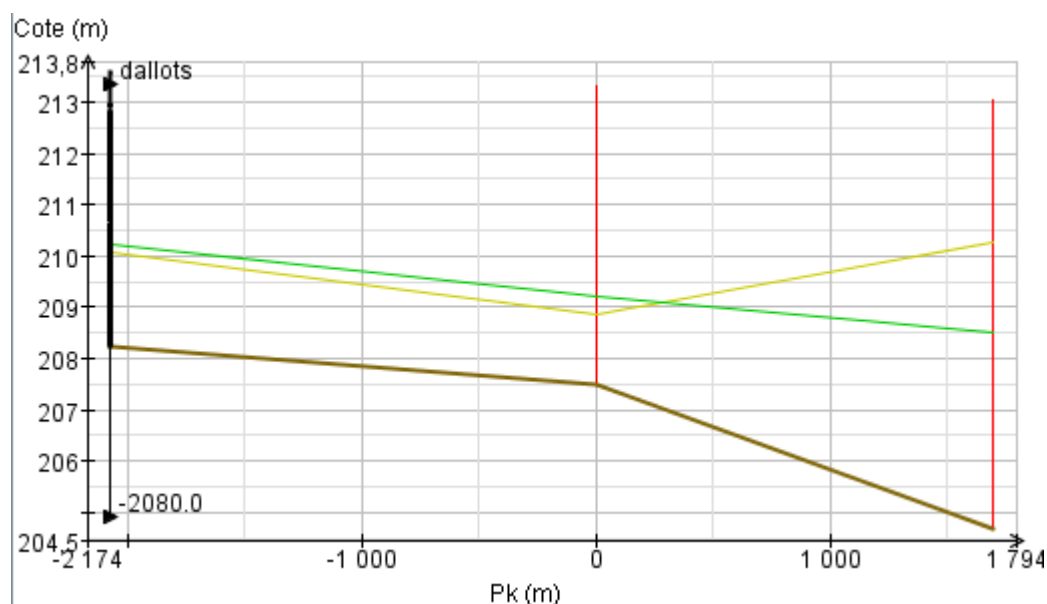


Figure 72: Profil en long du modèle hydraulique de l'Albe de Rech à Sarralbe centre

**En raison du faible nombre de sections qui composent le modèle hydraulique, il est inévitable que certaines irrégularités de pente n'apparaissent pas dans ce profil en long. Les valeurs de pentes sur lesquelles repose notre analyse sont donc très approximatives.**

En condition amont nous imposons un débit constant correspondant à une valeur caractéristique de crue à Reich. Les trois valeurs qui ont été testées correspondent à des crues bisannuelle, quinquennale, et décennale (respectivement  $60\text{m}^3/\text{s}$ ,  $95\text{m}^3/\text{s}$  et  $120\text{m}^3/\text{s}$ ).

En condition aval nous faisons varier la cote à Sarralbe centre de 205,5m à 212m à un pas de 0,2m toutes les heures afin d'explorer l'ensemble des gammes de débits pertinentes à Sarralbe centre. Nous avons veillé à laisser suffisamment de temps entre chaque palier pour que l'écoulement se stabilise.

Nous nous plaçons ainsi dans une situation où le niveau de l'Albe resterait constant tandis que la

celui de la Sarre augmenterait de façon continue. Nous pourrions alors repérer la cote (à Sarralbe centre) à partir de laquelle l'Albe à Eich est influencé par le niveau de la Sarre à Sarralbe à centre.

### 8.3 Résultats et conclusion

Nous obtenons les résultats suivants (Figure 73) :

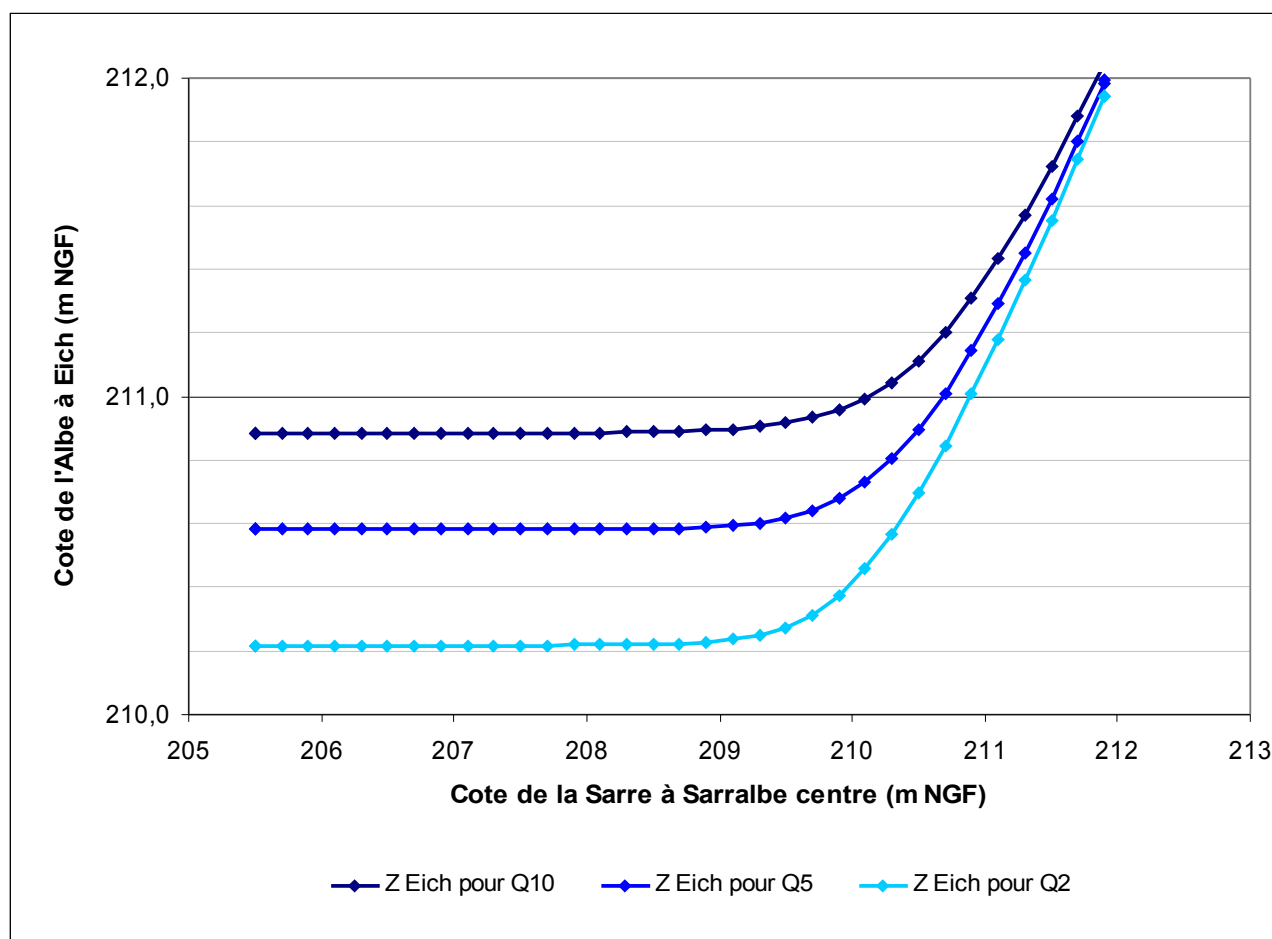


Figure 73: Limnigrammes comparés à Eich et Sarralbe centre

Pour chacun des débits testés nous observons que les hauteurs d'eau cessent d'être constantes à Eich pour un niveau d'eau à Sarralbe centre d'environ 209m NGF (soit environ 2,70m échelle).

Pour un raffinement de cette valeur il conviendrait de pouvoir se baser sur un modèle hydraulique plus complet et représentatif des évolutions de pente.

Cette analyse, bien que très grossière, permet de mettre en doute la pertinence d'une station de mesure à Eich sur l'Albe. Néanmoins pour une meilleure appréciation de l'impact de la sarre sur l'Albe une étude plus complète devra être menée.

## 9 Station de la Sarre à Witting

### 9.1 Informations sur la station

- Code de la station : A9301010
- Rivière : Sarre
- Date d'installation : 02/04/1987
- $Z_0$  échelle : 200.965 m IGN 69, topo 2011
- Bassin versant : 1716 km<sup>2</sup>
- Pente locale du lit : 0.00032 (cf. sections modèle hydraulique)
- Hauteur minimale enregistrée à l'échelle : 0.59 m
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0.54 m

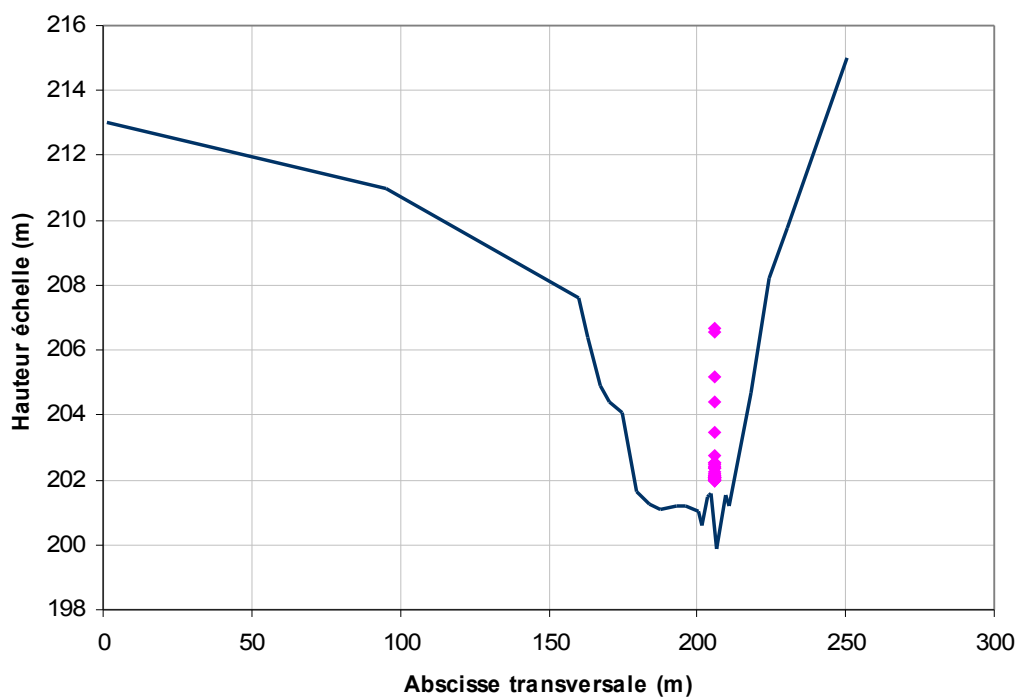


Figure 74: Section en travers au droit du limnimètre de la station de Witting sur la Sarre (en rose les hauteurs correspondant aux jaugages disponibles)

## 9.2 Description et analyse hydraulique du site

### 9.2.1 Description du site

La station de Wittring a été installée en 1987 à l'aval immédiat du pont routier qui traverse la Sarre près de l'écluse du canal des Houillères de la Sarre située en sortie du bourg de Wittring (Figure 75).

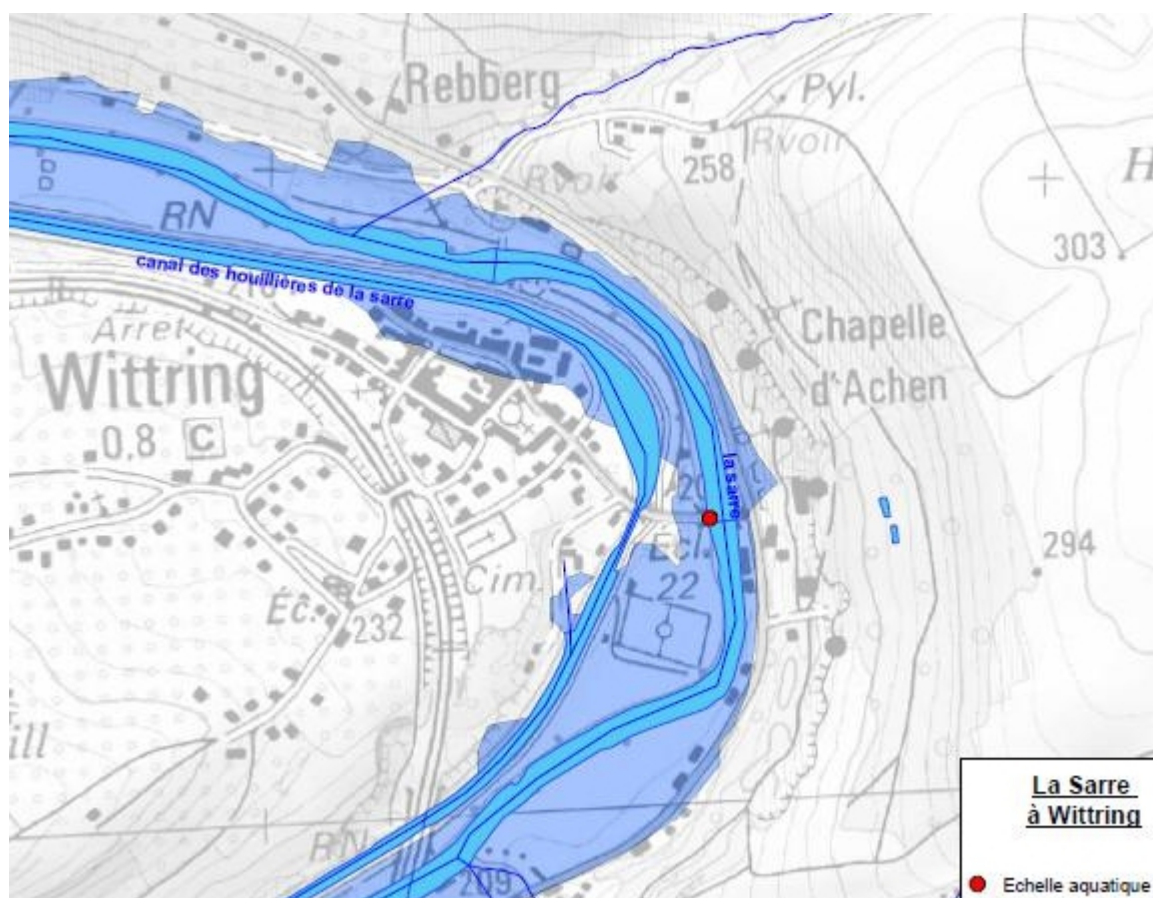


Figure 75 : Zone de débordement de la rivière à Wittring. L'écoulement se fait vers le Nord au niveau de la station, signalée par un point rouge

Le pont est très élevé au dessus de la rivière et ne pourrait être mis en charge complètement que dans les conditions d'une crue extrême (Figure 77).

Aucun seuil ne contrôle l'écoulement à bas débit. Le contrôle hydraulique est réalisé par un radier naturel situé à l'aval du pont routier, difficile à localiser précisément. Il faut également noter qu'une passerelle submersible constituée de blocs de béton est présente au niveau du lieu-dit Rebberg

(Figure 75 et Figure 83), environ 500m à l'aval du pont. Afin d'étudier l'influence de cet ouvrage, ce dernier a été l'objet d'un levé détaillé lors de la campagne topographique 2011 et a été intégré à la modélisation hydraulique. Les résultats ont permis de mettre en évidence le contrôle opéré par cette passerelle pour les débits faibles et moyens.

Au niveau de la station, le lit est large d'environ 40 m. Les rives amont par rapport au pont sont boisées en rive droite (Figure 78) et constituées d'un champ d'expansion plan en rive gauche (Figure 79). A l'aval du pont, les berges raides et boisées ne permettent pas une extension qualifiable de débordement en lit majeur (Figure 80).

Le site est propice à l'apparition d'embâcles qui viennent se former contre la pile de pont la plus à droite (Figure 81 et Figure 82). D'autre part, comme dans de nombreux sites la formation d'herbiers durant l'été (Figure 84) peut avoir un effet de dispersion sur les jaugeages à bas débit.

La cote la plus basse du dessous du tablier du pont est de 209,18 m NGF, ce qui correspond à une cote échelle de 8,2 m. Compte tenu de la mise en charge du pont et du risque de contournement de l'écoulement, il ne nous sera pas possible de fournir de relation hauteur-débit au delà de cette cote.



*Figure 76 : vue du pont depuis l'abri de la station situé à l'aval du pont en rive gauche*





*Figure 77 : vue du pont depuis le champ d'expansion situé à l'amont*



*Figure 78 : vue de l'amont depuis le pont*



*Figure 79 : vue du champ d'expansion amont depuis le pont*



*Figure 80 : vue de l'aval depuis le pont*





Figure 81 embâcle sur la pile de droite



Figure 82 : embâcle sous le pont et contre la pile de droite





*Figure 83 : passerelle submersible à l'aval de la station*



*Figure 84 : herbier saisonnier au niveau de la station*

## 9.2.2 Analyse hydraulique de la station

Trois contrôles hydrauliques ont été identifiés pour cette station :

1. Contrôle 1 : ce contrôle, composé du radier situé au niveau de la station et de la passerelle située en aval, s'applique aux bas et moyens débits.
2. Contrôle 2 : pour les débits moyens, l'écoulement au niveau de la station est également en partie contrôlé par le chenal du lit mineur
3. Contrôle 3 : l'écoulement qui se produit au niveau des berges lors des débordement est contrôlé, en plus du chenal du lit mineur, par le chenal du lit majeur dont la rugosité est forte compte tenu de leur caractère boisé.

Le fonctionnement hydraulique peut se décomposer en trois gammes de hauteurs :

- Gamme 1 : représentative des bas débits, pour des hauteurs d'eau de 0 à 1,20 m
- Gamme 2 : représentative des débits moyens, correspondant à des hauteurs d'eau allant de 1,20 m à 5,60 m environ.
- Gamme 3 : elle est représentative d'une situation de débordement en lit majeur. Au contrôle par le lit mineur (contrôle 2) vient s'ajouter le contrôle hydraulique du lit majeur (contrôle 3). Cette gamme représente les hauteurs d'eau allant de 5,60 m à la limite supérieure de l'étude correspondant à la mise en charge du pont ou au contournement de la section au limnimètre, soit environ 8 m,

La synthèse hydraulique peut se traduire par le tableau suivant :

n° Gamme	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
	Radier/Passerelle aval	Chenal lit mineur	Chenal lit majeur
1			
2			
3			

*Tableau 25 : Synthèse de l'analyse hydraulique du site de Wittring sur la Sarre*

### 9.3 Données de jaugeage

La station hydrométrique de Wittring a été installée en 1987 et a été modernisée en 1994. Les jaugeages correspondant à la période 1987-1994 n'ont pu être raccordés à la nouvelle station. Depuis 1995, 102 jaugeages ont été réalisés. La station a été jaugée jusqu'à 5.5 m ( $Q = 390 \text{ m}^3/\text{s}$ ), soit quelques centimètres avant le changement de contrôle selon notre analyse du fonctionnement hydraulique. Il y a une certaine dispersion des jaugeages pour des hauteurs inférieures à 2.5 m (Figure 85). Les jaugeages de l'année 1999 ont été écartés de l'étude en raison de valeurs aberrantes de 20 % à 30 % inférieures aux autres jaugeages. Le service de jaugeage nous a confirmé que cet écart est dû à un problème technique de jaugeage et que les jaugeages de cette période pouvaient être considérés comme faux.

Une fois les données nettoyées de ces valeurs erronées, le graphique montre que les jaugeages sont assez peu dispersés et que les données sélectionnées décrivent proprement une relation  $Q(h)$ . La dispersion observée pour les bas débits peut s'expliquer par les effets des herbiers, très présents en période d'étiage.

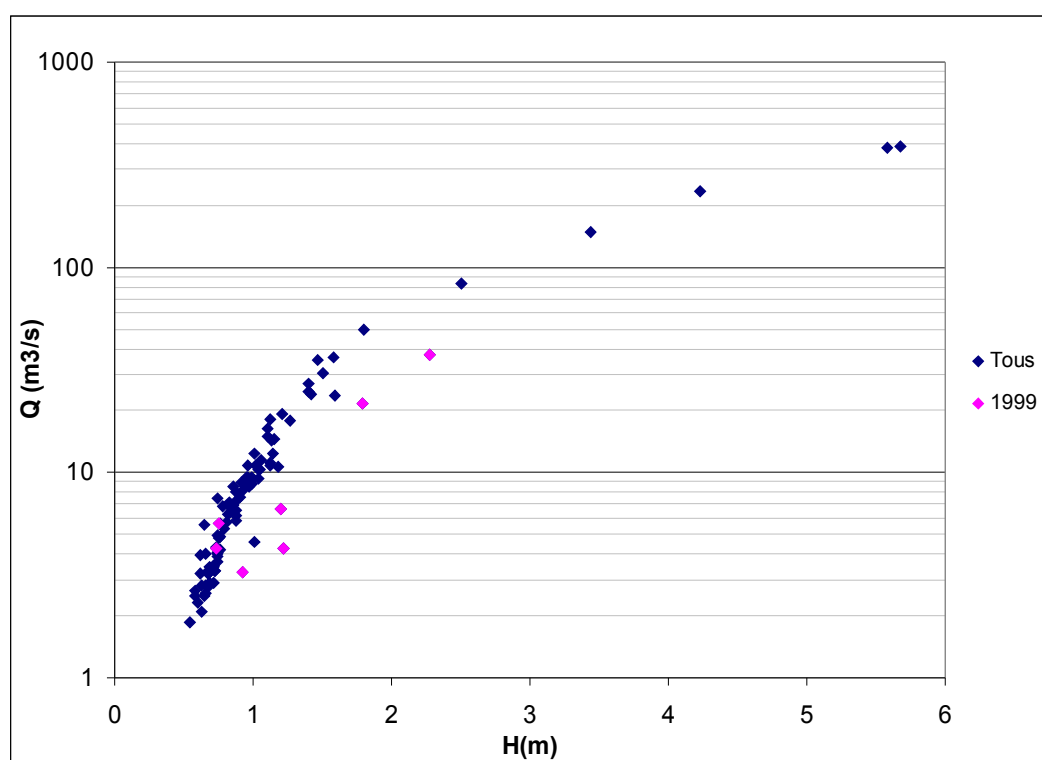


Figure 85: Données de jaugeage sur la Sarre à Wittring

## 9.4 Modélisation hydraulique

### 9.4.1 Utilisation de la modélisation

Les jaugeages sur la Sarre à Wittring sont assez nombreux et peu dispersés jusqu'à une hauteur d'eau de 5,50 m ; ces jaugeages pourront donc nous permettre de juger de la pertinence de notre modèle au besoin.

La modélisation hydraulique nous a ici permis de mettre en évidence le rôle joué par la passerelle submersible située à l'aval d'une part, et d'affiner les *a priori* pour les hauteurs d'eau correspondant à un débordement en lit majeur pour lesquelles nous ne possédons pas de donnée de jaugeage.

### 9.4.2 Données topographiques

Comme pour les autres sites, les données topographiques dont nous disposons sont principalement issues de l'étude ISL de 1997. Nous utilisons ici 7 sections nous permettant de couvrir allant de 1,5km à l'amont à 1,8km à l'aval du limnimètre (Figure 86).

A ces données s'ajoutent 3 relevés effectués en 2011, dont un se situe au droit du limnimètre.

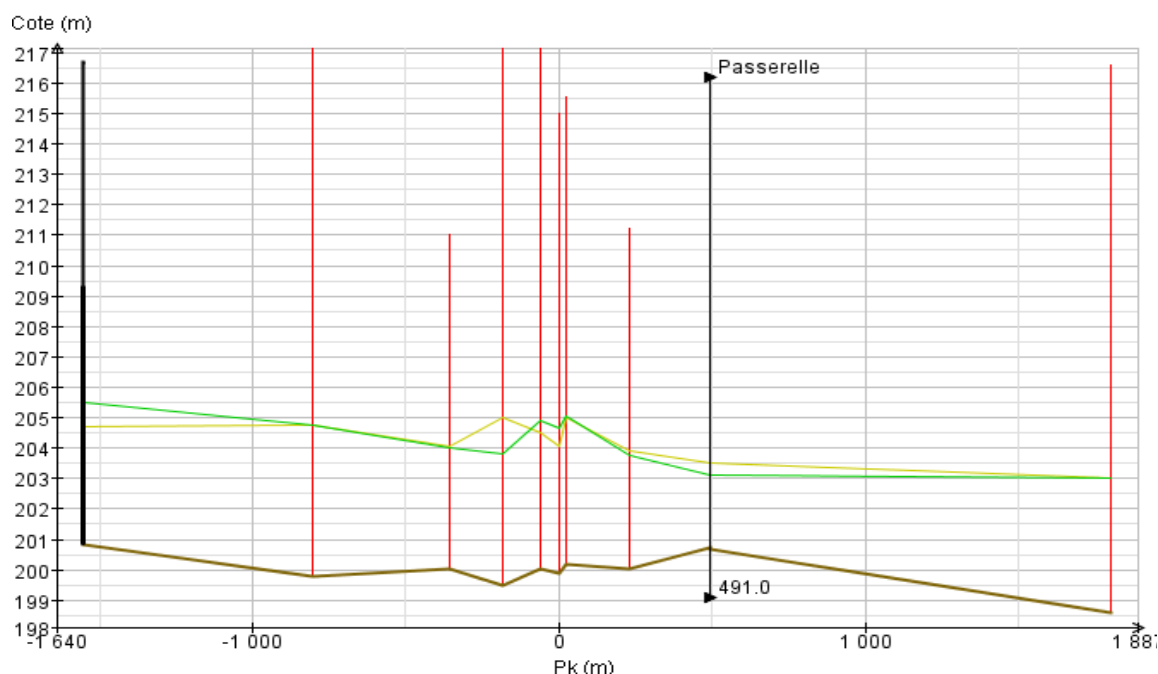


Figure 86: Profil en long utilisé pour la modélisation de la station de Wittring

Des sections de calcul sont interpolées par le logiciel de modélisation tous les 50 m.

### 9.4.3 Le modèle hydraulique

Les simulations réalisées sous MAGE confirment le contrôle hydraulique opéré par la passerelle aval à faible et moyen débit.

Le Tableau 27 expose les coefficients de Strickler utilisés pour les différentes hypothèses :

Hypothèses	Coefficients de Strickler	
	Lit mineur	Lit moyen
lisse	30	15
standard	<b>25</b>	<b>10</b>
rugueuse	20	5

*Tableau 26: Coefficients de Strickler retenus pour les différentes hypothèse de modélisation de la Sarre à Witttring*

En lit mineur nous avons fixé un coefficient de Strickler de 25. Cette valeur paraît pertinente compte tenu de la nature du substrat du lit mineur, dont la rugosité est localement renforcée par la présence d'herbiers, de radiers, ou d'embâcles accumulés sur les piliers du pont ou de la passerelle.

En lit moyen nous avons choisi un coefficient de Strickler de 10, représentatif du caractère boisé des berges.

Le calage final dans son hypothèse standard accompagné des hypothèses lisse et rugueuse sont tout à fait pertinents avec les jaugeages à débit moyen (Figure 87).

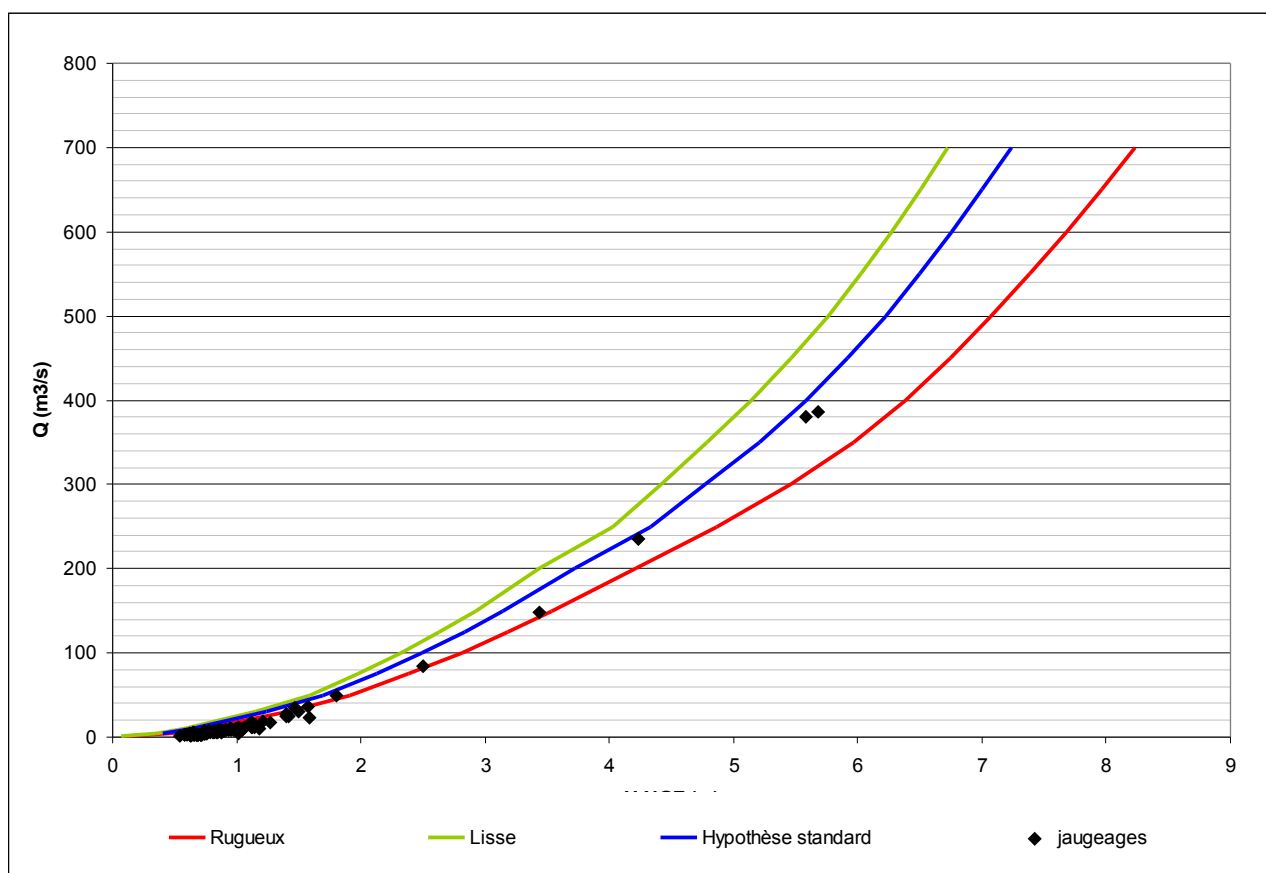


Figure 87: Courbes de tarage obtenues par la modélisation hydraulique de la Sarre à Wittring

## 9.5 Détermination des *a priori*

### 9.5.1 Évaluation des *a priori* pour chaque gamme de contrôle

- **Contrôle 1** : contrôle par un radier naturel (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

- *a priori* sur  $a$  :  $a = C B \sqrt{2g}$

Paramètres	Valeur	Incertitude (+/-)
C	0,4	0,1
B (m)	18	5

d'où :  $a = 30$  et  $\sigma_a = 4,2$

Une valeur d'incertitude de 0,1 autour d'une valeur de C égale à 0,4 permet de conserver une valeur proche de la valeur par défaut et donc de rester cohérent avec la physique.

La largeur précise correspondant à la section de contrôle est difficile à estimer, nous avons donc préféré retenir une large incertitude autour de cette valeur centrale.

- a priori sur b :  $b = H_{min} = 0.45$  et  $\sigma_b = 0.05$

- a priori sur c :  $c = 1.50$  et  $\sigma_c = 0.05$

- **Contrôle 2 et 3** : l'écoulement est contrôlé par le chenal du lit mineur, auquel s'ajoute ensuite le chenal du lit moyen.

La détermination des *a priori* sur les gammes correspondant à ces contrôles s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique, comme décrit au paragraphe 3.3.2.

Les paramètres de deux lois puissances ont été ajustés de façon à tenir compte de l'analyse du fonctionnement hydraulique que venait conforter la modélisation hydraulique. Nous obtenons ainsi une reproduction fidèle des courbes issues de la modélisation (cf Figure 88).

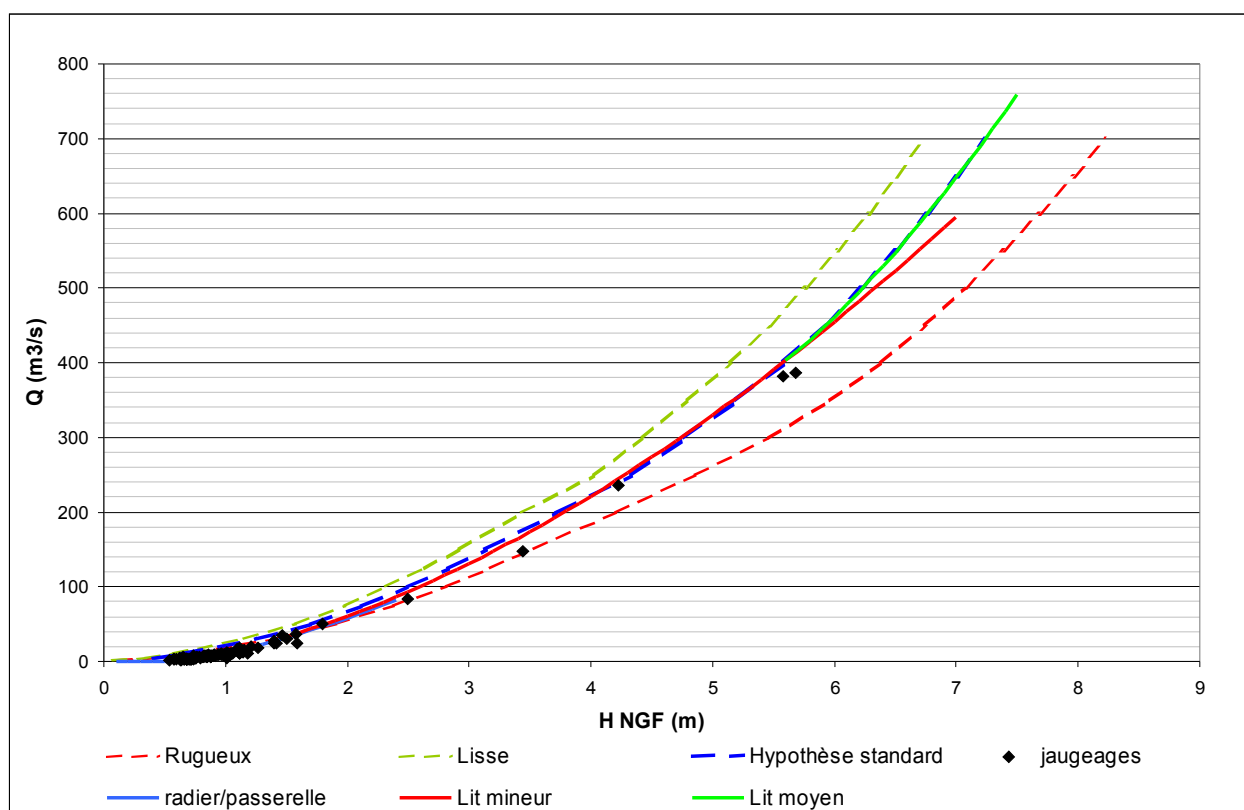


Figure 88: Ajustement des lois puissance sur les courbes de tarage issues du modèle hydraulique de la Sarre à Wittring

### 9.5.2 Synthèse des *a priori* fournis à BaRatin

En fonction de l'analyse hydraulique du site, des formules analytiques ainsi que des simulations, les *a priori* fournis à BaRatin ont été définis et sont présentés dans le Tableau 28 et Tableau 27.

Gamme		Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
n°	Hmin	Hmax	Radier	Chenal lit mineur
1	0,5	1,2		
2	1,2	5,6		
3	5,6	8		

Tableau 27 : Configuration du fonctionnement hydraulique et bornes des gammes de hauteur pour le site de Wittring

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	Écart-type
1	a1	30	10
	b1	0,45	0,1
	c1	1,5	0,05
2	a2	25	5
	c2	1,67	0,05
3	a3	30	30
	c3	1,67	0,05

Tableau 28: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station de Wittring

## 9.6 Résultats et commentaires

### 9.6.1 Les résultats en graphiques

L'analyse réalisée par BaRatin donne de très bons résultats. Sur les bas et moyens débits, gammes pour lesquelles nous possédons plusieurs jaugeages peu dispersés la courbe de tarage « colle » aux jaugeages, avec une enveloppe d'incertitude très resserrée (Figure 89).



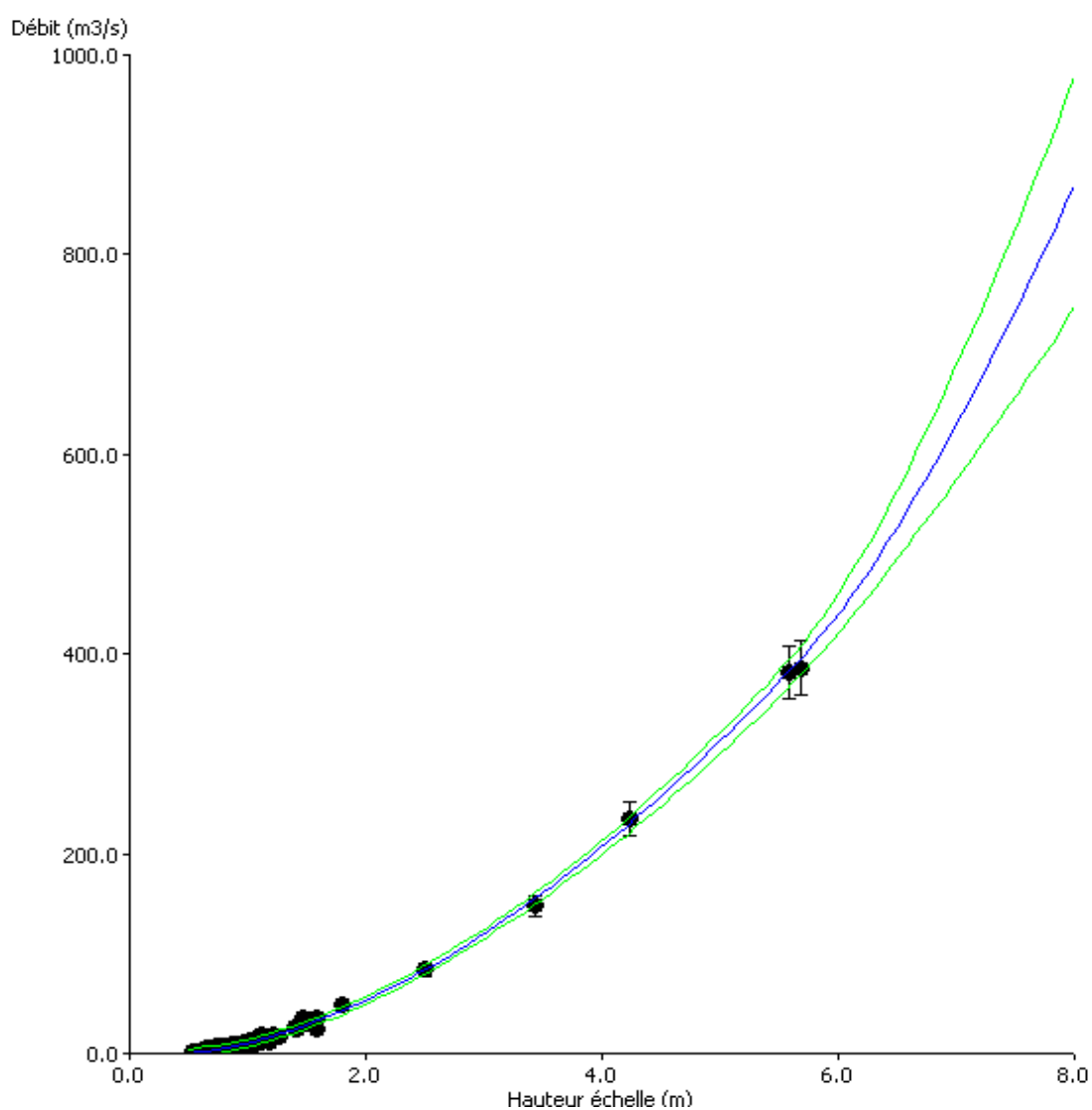


Figure 89: résultat graphique des courbes de tarage générées par BaRatin pour la station de Wittring

Comme l'on pouvait s'y attendre l'enveloppe d'incertitude s'élargit considérablement pour les hauteurs d'eau supérieures à 6 m, correspondant au débordement en lit moyen ; gamme pour laquelle nous ne possédons pas de jaugeage à ce jour.

Dans les faibles hauteurs d'eau, certains jaugeages sortent de l'enveloppe d'incertitude (Figure 55)

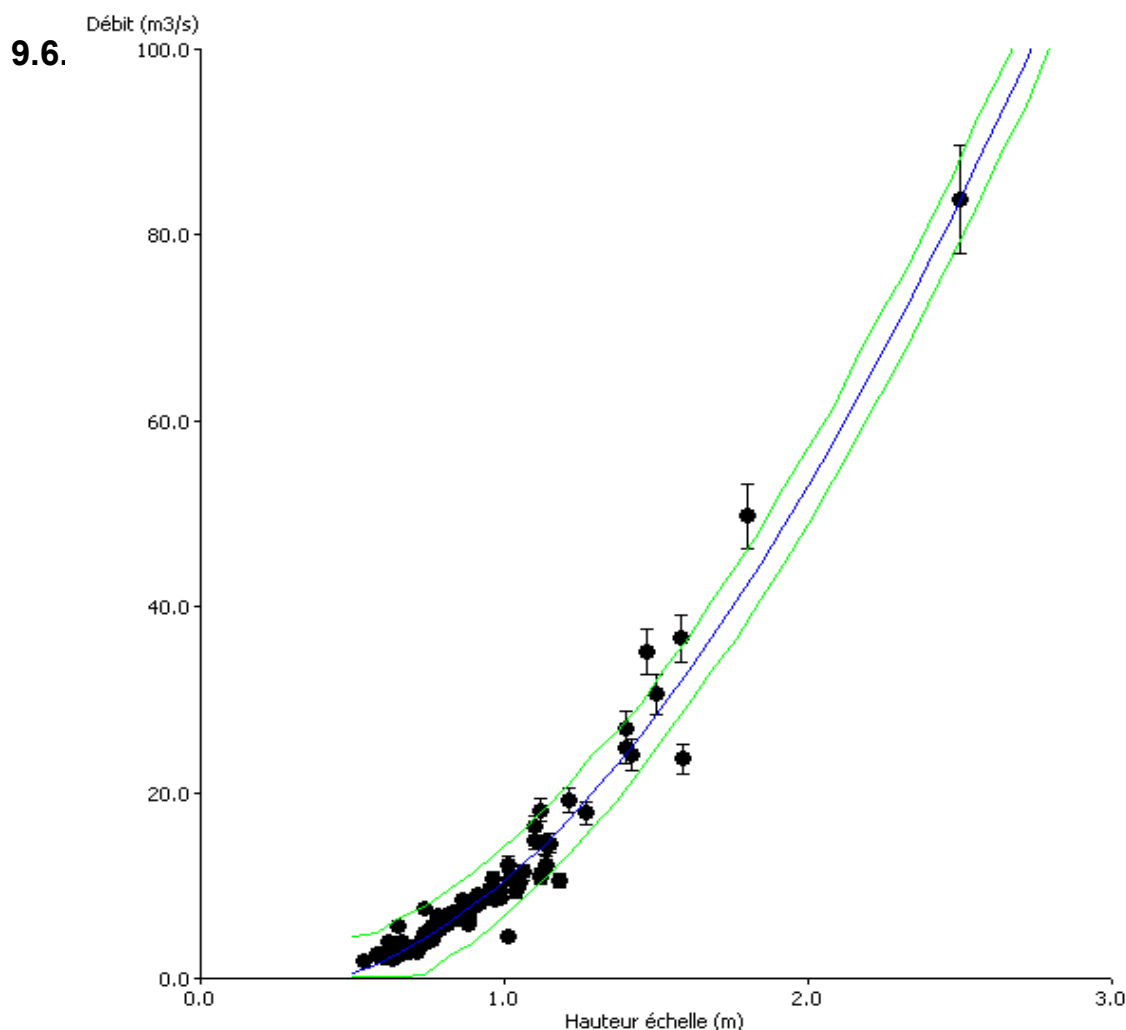


Figure 90: Zoom sur les résultats en basses eaux de l'analyse

*BaRatin de la station de Wittring*

Les paramètres calculés par BaRatin sont très proches des *a priori* fournis en entrée comme le montrent les Tableau 29 et Tableau 30.

Segment	H min	H max
1	0,5	1,13
2	1,13	5,71
3	5,71	8

Tableau 29: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin pour la station de Wittring sur la Sarre

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	<i>a priori</i>
1	a1	23,97	30 ± 10
	b1	0,42	0,45 ± 0,1
	c1	1,50	1,50 ± 0,05
2	a2	23,82	25 ± 5
	b2	0,39	0,3 ± 0,3
	c2	1,69	1,67 ± 0,05
3	a3	35,47	30 ± 30
	b3	5,71	5,6 ± 0,5
	c3	1,67	1,67 ± 0,05

Tableau 30: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin pour la station de Wittring sur la Sarre

### 9.6.3 Conclusions sur la courbe générée

Les courbes générées par BaRatin ont été comparées à la courbe de tarage présente dans la dernière version de la base Bareme à notre disposition. Cette version est datée de juillet 2011 (Figure 91 et Figure 92).

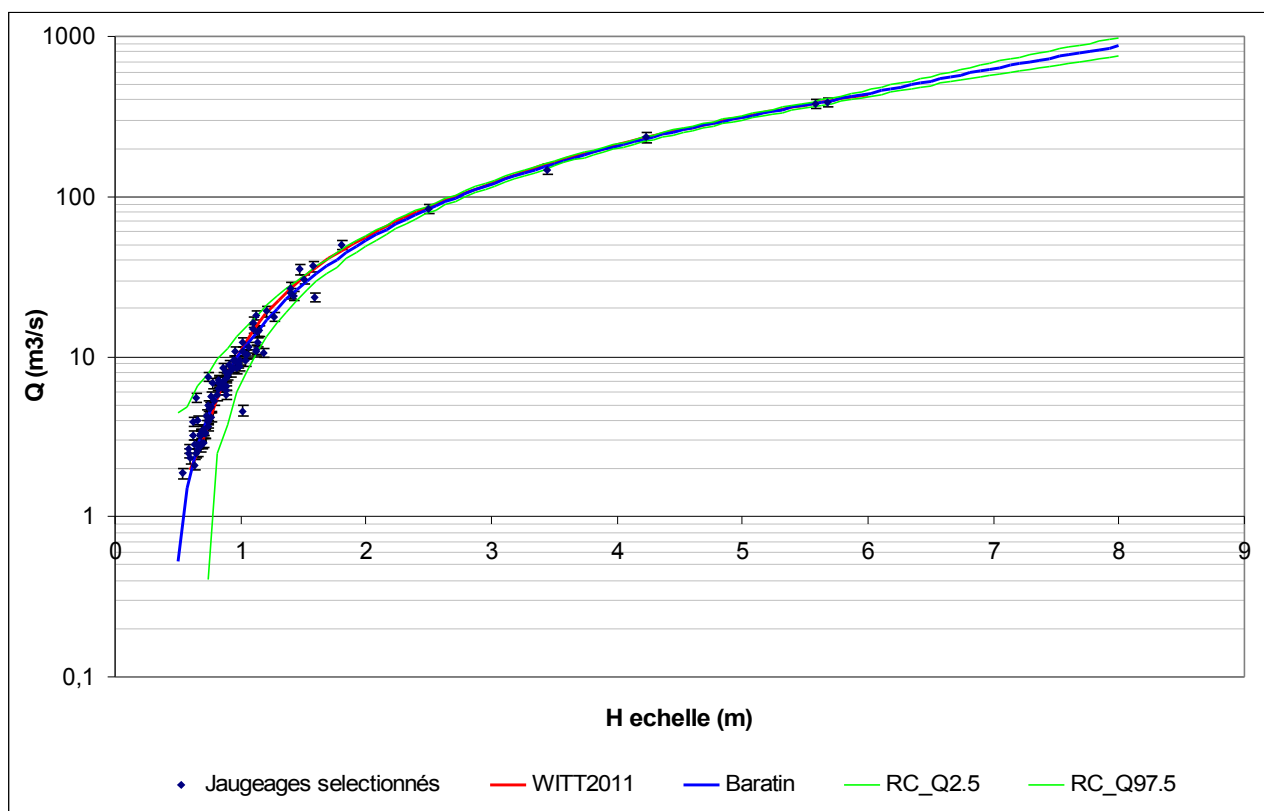


Figure 91: Comparaison entre la courbe BaRatin et la courbe Bareme pour la station de Wittring

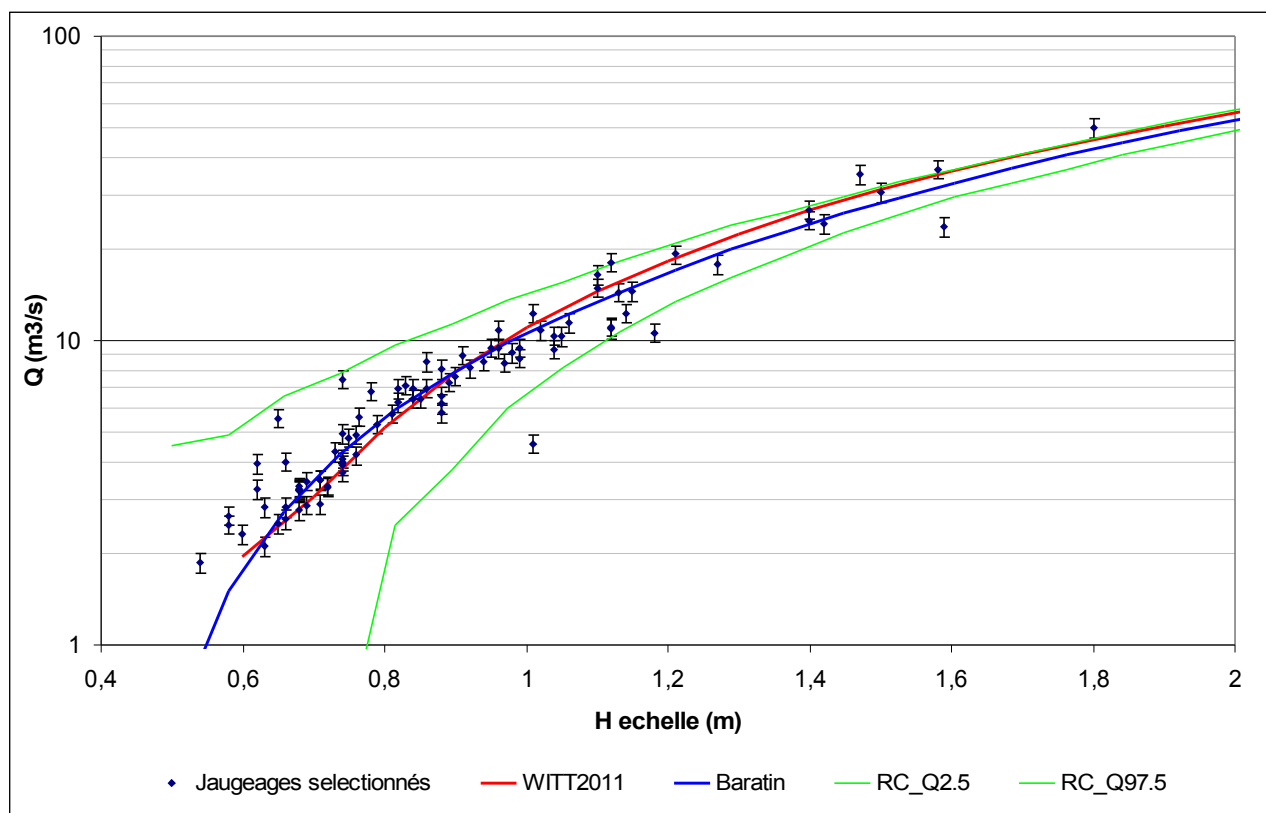


Figure 92: Comparaison des courbes générées par BaRatin à la courbe SPC et aux jaugeages, zoom sur les bas débits

Les deux courbes sont confondues tant elles sont proches. En revanche la courbe BaRatin fournit une extrapolation allant jusqu'à 8 m, tandis que la courbe trouvée dans Bareme ne fournit des valeurs que jusqu'à 6 m.

## 10 Station de la Blies à Bliesbruck

### 10.1 Informations sur la station

- Code de la station : A9372050 (a remplacé en 2007 la station A9425050)
- Rivière : Blies
- Année d'installation de A9425050 : 1977
- Z0 échelle de la station A9425050 : 202.00 m IGN 69 du 01/08/1977 12:00
- Z0 échelle actuel : 202.567 m IGN 69, topo 2011
- Bassin versant : 1815 km<sup>2</sup>
- Pente locale du lit : 0.0088
- Hauteur minimale enregistrée à l'échelle : -0,14 m
- Hauteur échelle minimale jaugée depuis 1995 : 0,01 m
- Chronique de hauteurs disponible depuis 2008

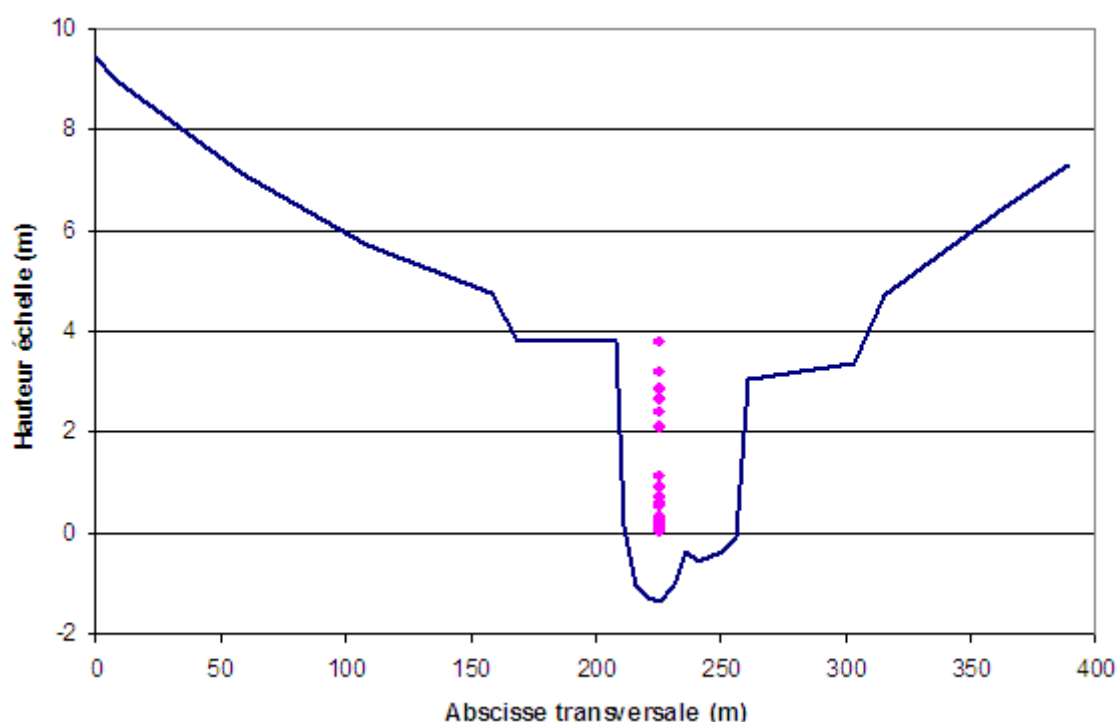


Figure 93: Section en travers au droit du limnimètre (en rose, les hauteurs correspondant aux jaugeages disponibles) de la station sur la Blies à Bliesbruck

## 10.2 Description et analyse hydraulique du site

### 10.2.1 Description du site

La station de Bliesbruck est située à l'aval immédiat du pont du village de Bliesbruck (Figure 96).

Cette station, initialement mise en service en 1977, a été modernisée en 2007. L'instrumentation de la station a ainsi été entièrement changée, y compris l'échelle de mesure dont le Z zéro est passé de 202,00 m NGF à 202,567 m NGF, soit un rehaussement de 56,7cm.

Le tronçon est rectiligne depuis l'amont du pont jusqu'à environ 300 m à l'aval du pont (Figure 94). Il y a un rétrécissement à environ 20 m à l'aval du pont qui provoque un phénomène de turbulences, source d'une érosion localisée en rive droite (Figure 96).

L'écoulement n'est pas symétrique par rapport au pont. L'eau s'écoule principalement à gauche. En rive droite, un talus naturel empiète sur le lit et réduit la section (Figure 95).

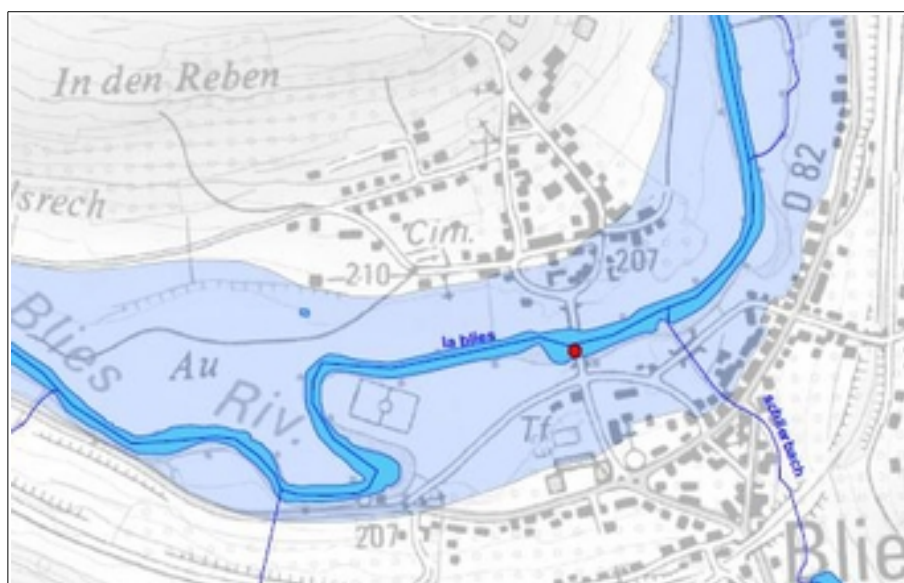


Figure 94: Plan topographique (scan 25) du site de Bliesbruck, emplacement de la station (point rouge)



Figure 95: Vue aérienne de la station hydrométrique de Bliesbruck





Figure 96: Vue de la section au niveau de l'échelle



Figure 97: Vue de la section depuis l'aval



*Figure 98: Vue du rétrécissement du lit depuis le pont*



*Figure 99: Vue du rétrécissement du lit depuis le pont*





*Figure 100 : Vue du radier naturel situé à l'aval de la station depuis la rive droite*



*Figure 101 : vue du pont et du remblai enherbé depuis la rive droite*



*Figure 102: Vue du rétrécissement depuis le pont pendant une crue*

Le chenal qui commence au niveau du rétrécissement contrôle un écoulement de type Manning-Strickler. La réduction de section explique la forte cassure observée dans les jaugeages entre les bas débits et les débits moyen, soit entre le contrôle par le radier naturel et le contrôle par le chenal plus étroit. Le chenal est plus radier: pour une augmentation de niveau d'eau donné, la section mouillée augmente davantage lorsque le radier contrôle l'écoulement que lorsque c'est le chenal. De plus, il est probable qu'un remous dû au rétrécissement induise une diminution de la pente de l'écoulement et donc participe également à une valeur faible de la pente de  $Q(h)$ .

### **10.2.2 Fonctionnement hydraulique du site**

L'analyse des éléments que nous venons de décrire nous permet de proposer les types de contrôle suivants pour chacune des gammes de débit :

- en basses eaux, l'écoulement est contrôlé par un radier naturel sablo-graveleux (Figure 100), potentiellement instable et susceptible de présenter une végétation fournie de manière saisonnière (Figure 96).
- Les débits moyens sont contrôlés par le chenal du lit mineur, et en particulier par le rétrécissement du lit en rive gauche à l'aval de la station.

- Enfin les forts débits sont contrôlés par les chenaux des lits mineur et moyens, ce dernier étant fortement boisé par endroits.

La limite supérieure d'exploitation est atteinte pour un contournement du pont par débordement en rive gauche du lit majeur, soit pour une cote de 6 m environ.

n° Gamme	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
1			
2			
3			

Tableau 31 : Synthèse de l'analyse hydraulique du site de Bliesbruck sur la Blies

### 10.3 Données de jaugeage

Comme il a été précédemment dit, la station de Bliesbruck a connu des travaux de modernisation en 2007, lors desquels l'instrumentation de la station a été entièrement changée ; y compris l'échelle de mesure dont le Z zéro, jusqu'alors grossièrement placé à 202,00 m NGF selon une estimation grossière, est désormais placé à 202,567 m NGF (source : mesures topo 2011).

Il n'y a pas de raison de penser que ces travaux aient modifié les contrôles hydrauliques de la rivière et donc d'exclure les données de jaugeages antérieures à ces travaux. Nous avons veillé à ce que les hauteurs soient toutes exprimées dans le même référentiel correspondant à la station en place actuellement.

Les données de jaugeages s'échelonnent entre 1995 et 2011, et montrent une dispersion à bas comme à haut niveau (Figure 103 et Figure 104).

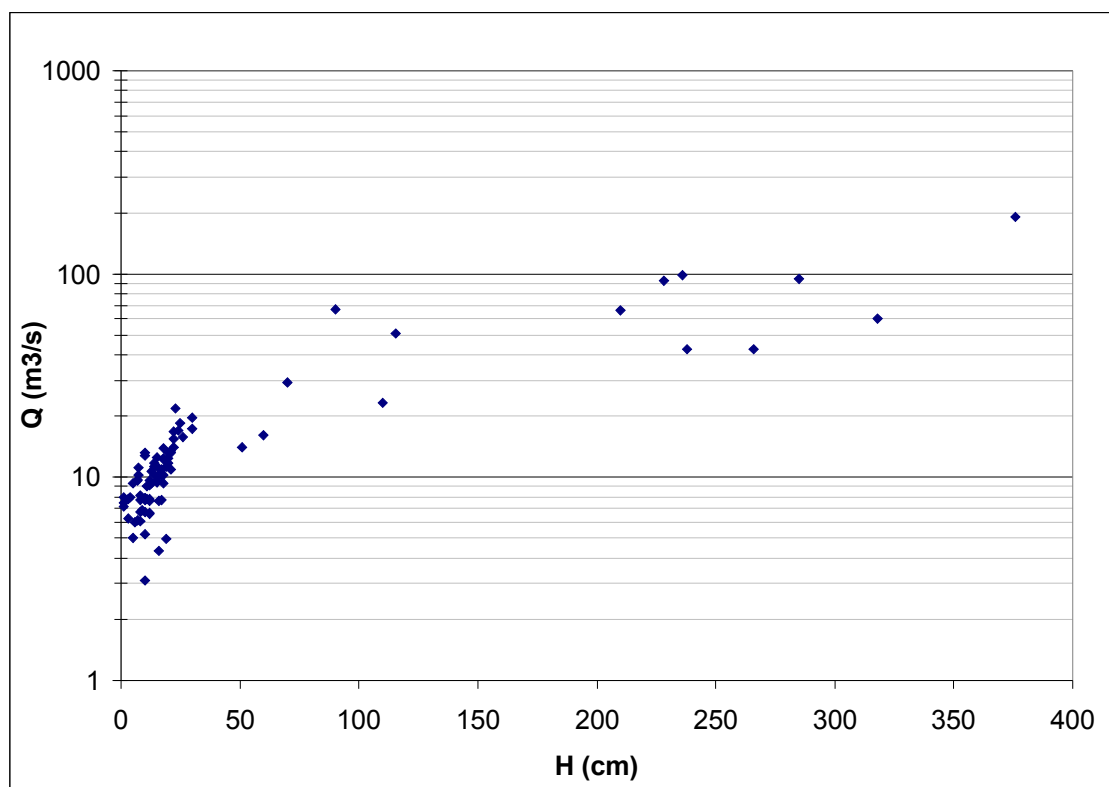


Figure 103: Jaugeages disponibles pour la station de Bliesbruck sur la Blies

La Figure 104 permet de faire apparaître un décalage entre les jaugeages réalisés avant 2006, et ceux réalisés en 2006 et plus récemment. Ce décalage pourrait témoigner d'une modification du lit par une crue ou une opération de curage.

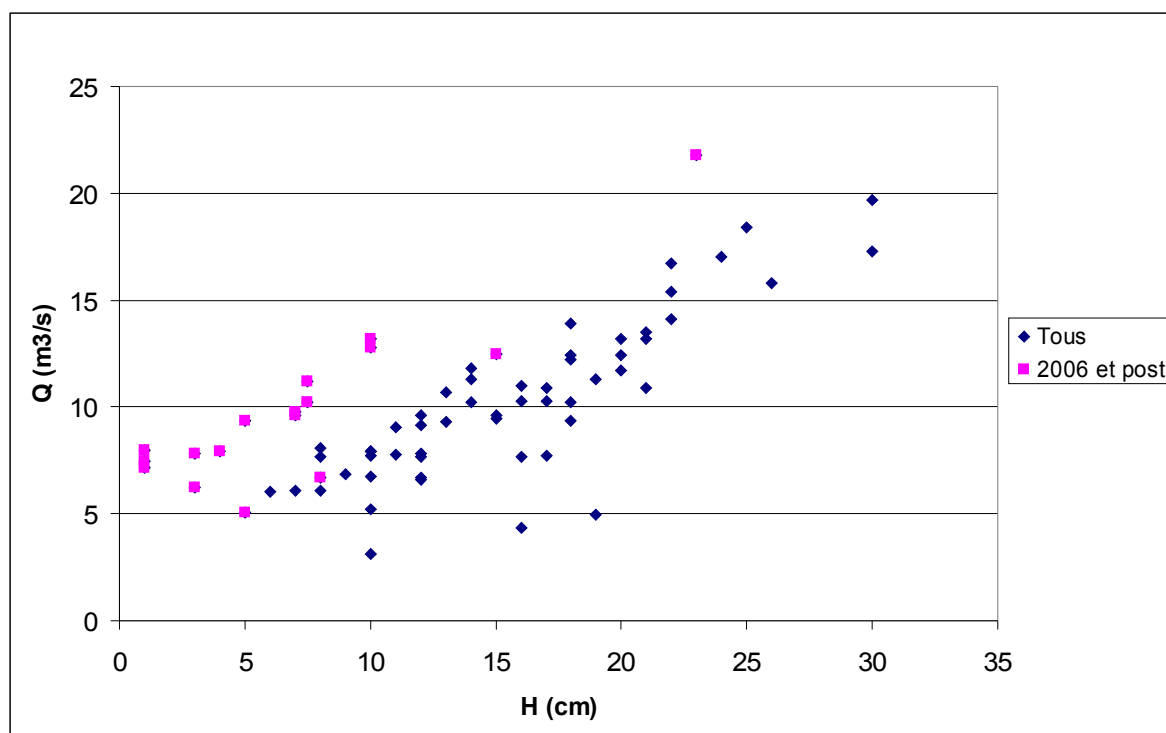


Figure 104: Données de jaugeage à bas débit à la station sur la Blies à Bliesbruck

Par la suite, à bas débit, nous ne retiendrons que les jaugeages postérieurs à 2006.

Les gammes supérieures de débit ne sont pas soumises au même contrôle hydraulique et restent donc valables pour l'étude, en théorie.

Cependant pour les débits moyens et hauts, c'est à dire pour une hauteur d'eau supérieure à 50 cm, nous observons également une forte dispersion des données.

Nous ne disposons malheureusement que de très peu de métadonnées pour ces jaugeages, nous basons donc notre analyse sur l'année de jaugeage (cf Figure 105)

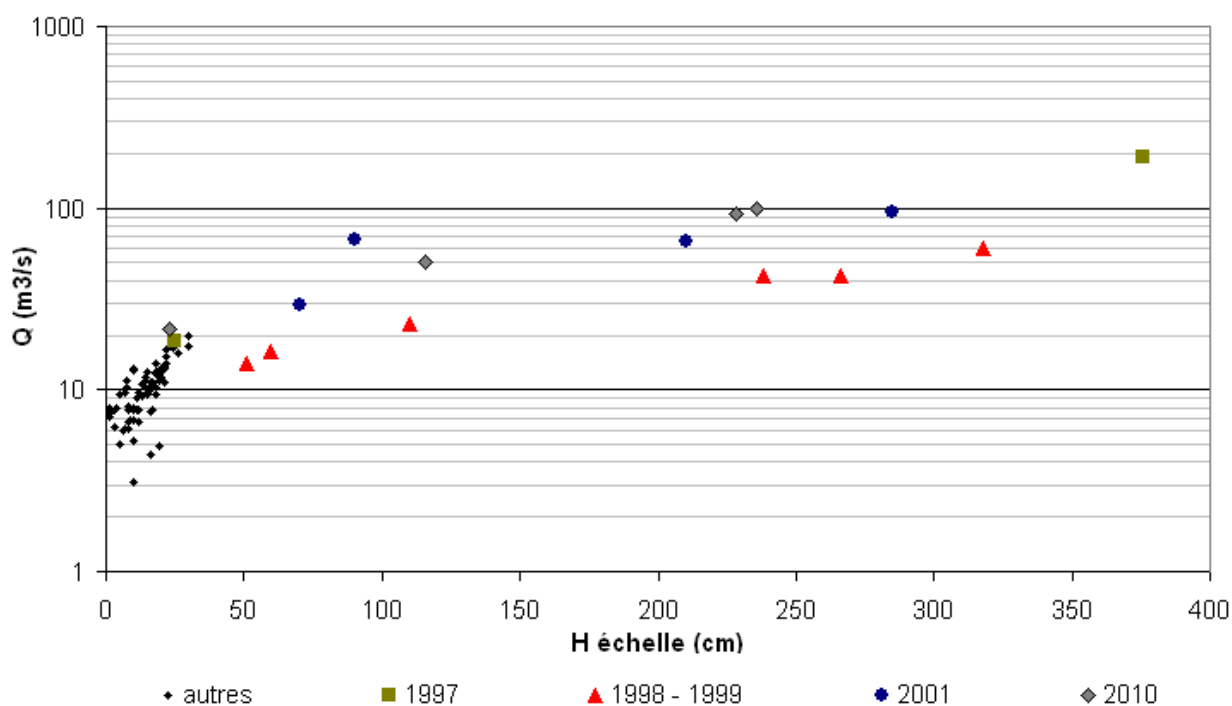


Figure 105: Données de jaugeage en moyen et haut débit de la Blies à Bliesbruck, en échelle logarithmique

Il semble ainsi que les jaugeages réalisés lors de l'hiver 1998-1999 sont systématiquement au dessous des autres jaugeages de cette gamme, qui semblent cohérents entre eux.

Nous décidons donc d'exclure ces jaugeages de l'étude comme pour l'ensemble des stations.

A l'issue de cette analyse nous retenons donc 26 jaugeages, couvrant des débits allant de 7  $\text{m}^3/\text{s}$  à 190  $\text{m}^3/\text{s}$  (cf Figure 106).



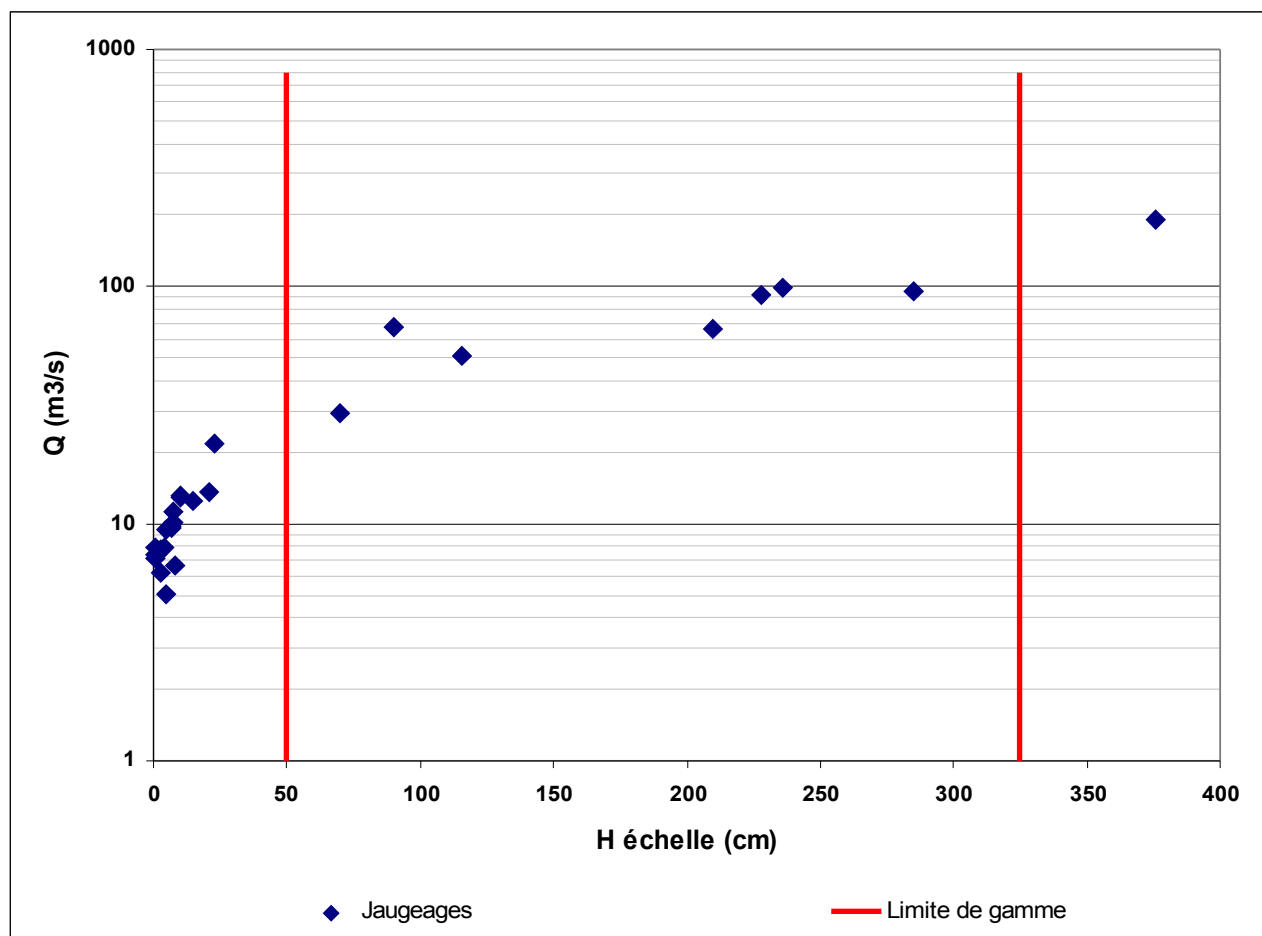


Figure 106: Jaugeages retenus pour l'analyse bayésienne de la station sur la Blies à Bliesbruck

## 10.4 Modélisation hydraulique

### 10.4.1 Utilisation de la modélisation

La modélisation permettra d'affiner les *a priori* pour les gammes de débits moyens et forts.

Le limnimètre de la station est situé sur un radier, à l'aval immédiat d'un ouvrage (pont routier), et à l'amont d'un rétrécissement du lit mineur. Ces trois éléments sont susceptibles d'influencer plus ou moins fortement l'écoulement et ont donc été intégrées du mieux possible dans le modèle.

## 10.4.2 Données topographiques

Les données topographiques utilisées pour la modélisation de la Blies à Bliesbruck sont issues de deux sources :

- 8 sections sont issues des relevés réalisés en 1998 à l'occasion de la rédaction du Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Blies.
- 5 sections ont été levées pour les besoins de la présente étude par un géomètre. Ces levés ont permis d'affiner la topographie sur le tronçon encadrant le limnimètre, et plus particulièrement le radier et le remblai situés à l'aval immédiat de la station.

Au total le modèle se compose donc de 13 sections, allant de 1,6 km à l'amont de la station jusqu'à 2 km à l'aval de la station (Figure 107).

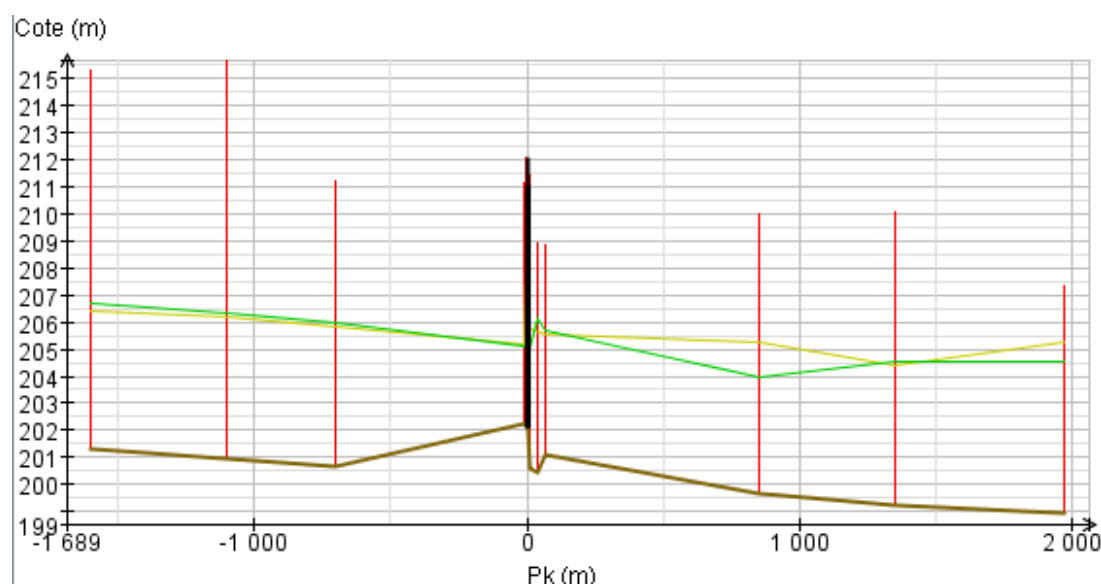


Figure 107: Profil en long du tronçon modélisé pour la station sur la Blies à Bliesbruck

Des sections de calcul sont interpolées par le logiciel de modélisation tous les 20 m.

## 10.4.3 Le modèle hydraulique

Des deux côtés du cours d'eau les berges sont fortement boisées. Le lit mineur de la rivière étant de plus assez irrégulier, nous avons choisi de retenir des valeurs faibles pour le coefficient de Strickler (Tableau 35).

Hypothèses	Coefficients de Strickler	
	Lit mineur	Lit moyen
lisse	30	20
standard	<b>20</b>	<b>10</b>
rugueuse	13	3

Tableau 32: Coefficients de Strickler retenus pour les différentes hypothèse de modélisation de la Blies à Bliesbruck

Le modèle ainsi obtenu fournit des résultats qui semblent pertinents après comparaison avec les jaugeages sélectionnés pour l'étude (Figure 108). En particulier nous retrouvons la cassure qui semblait se dessiner entre 3m et 4m, liée au débordement en lit moyen.

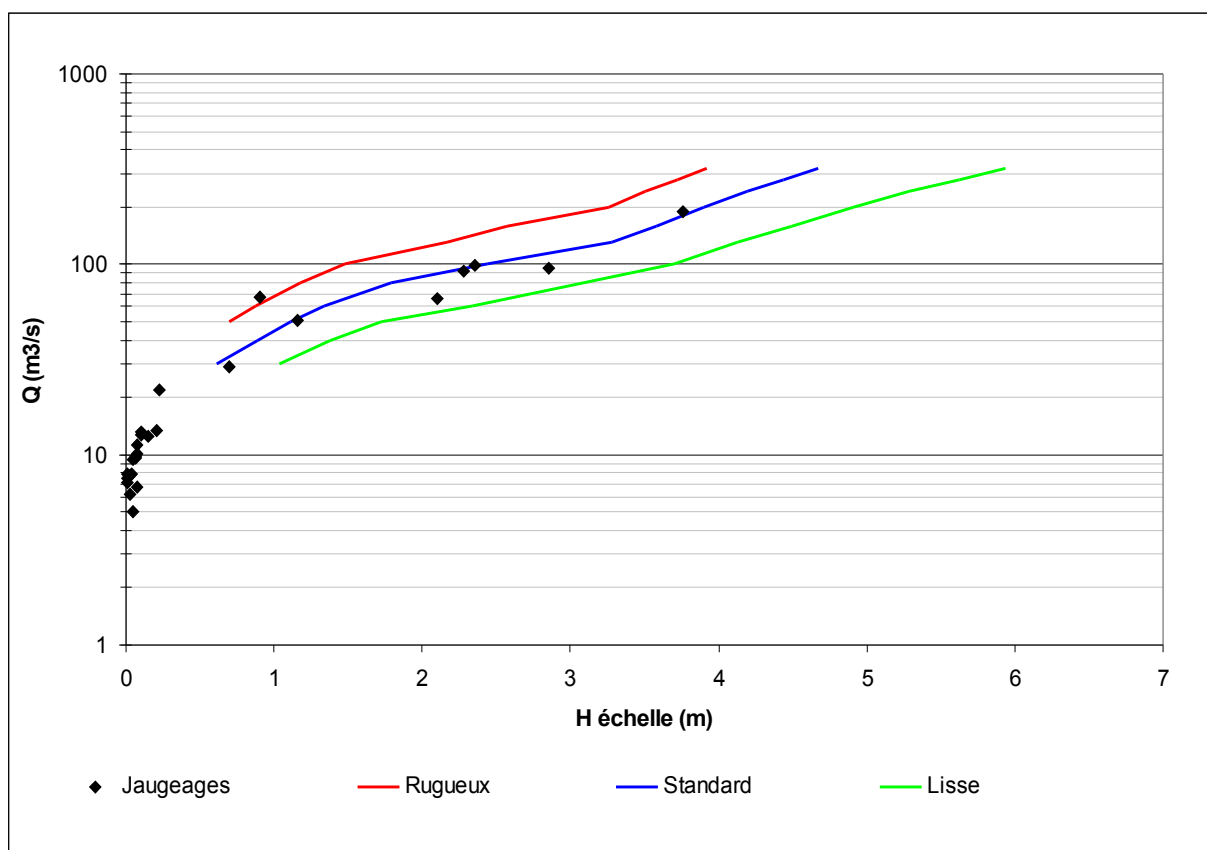


Figure 108: Résultat du calage du modèle et comparaison avec les jaugeages pour la station sur la Blies à Bliesbruck

## 10.5 Détermination des *a priori*

### 10.5.1 Évaluation des *a priori* pour chaque gamme de contrôle

- **Contrôle 1** : contrôle par un radier naturel (cf. « renvoi à la section méthodologique »)

- *a priori* sur *a* :  $a = C B \sqrt{2g}$

Paramètres	Valeur	Incertitude (+/-)
C	0.4	0.1
B (m)	40	3

d'où :  $a = 67,2$  et  $\sigma_a = 2,52$

Une valeur d'incertitude de 0,1 autour d'une valeur de C égale à 0,4 permet de conserver une valeur proche de la valeur par défaut et donc de rester cohérent avec la physique.

- *a priori* sur *b* :  $b = H_{min} = -0,5$  et  $\sigma_b = 0.3$

- *a priori* sur *c* :  $c = 1.50$  et  $\sigma_c = 0.05$

- **Contrôle 2 et 3** : l'écoulement est contrôlé par le chenal du lit mineur, auquel s'ajoute ensuite le chenal du lit moyen.

La détermination des *a priori* sur les gammes correspondant à ces contrôles s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique, comme décrit au paragraphe 3.3.2.

Les paramètres de deux lois puissances ont été ajustés de façon à tenir compte de l'analyse du fonctionnement hydraulique que venait conforter la modélisation hydraulique. Nous obtenons ainsi une reproduction fidèle des courbes issues de la modélisation (Figure 109).

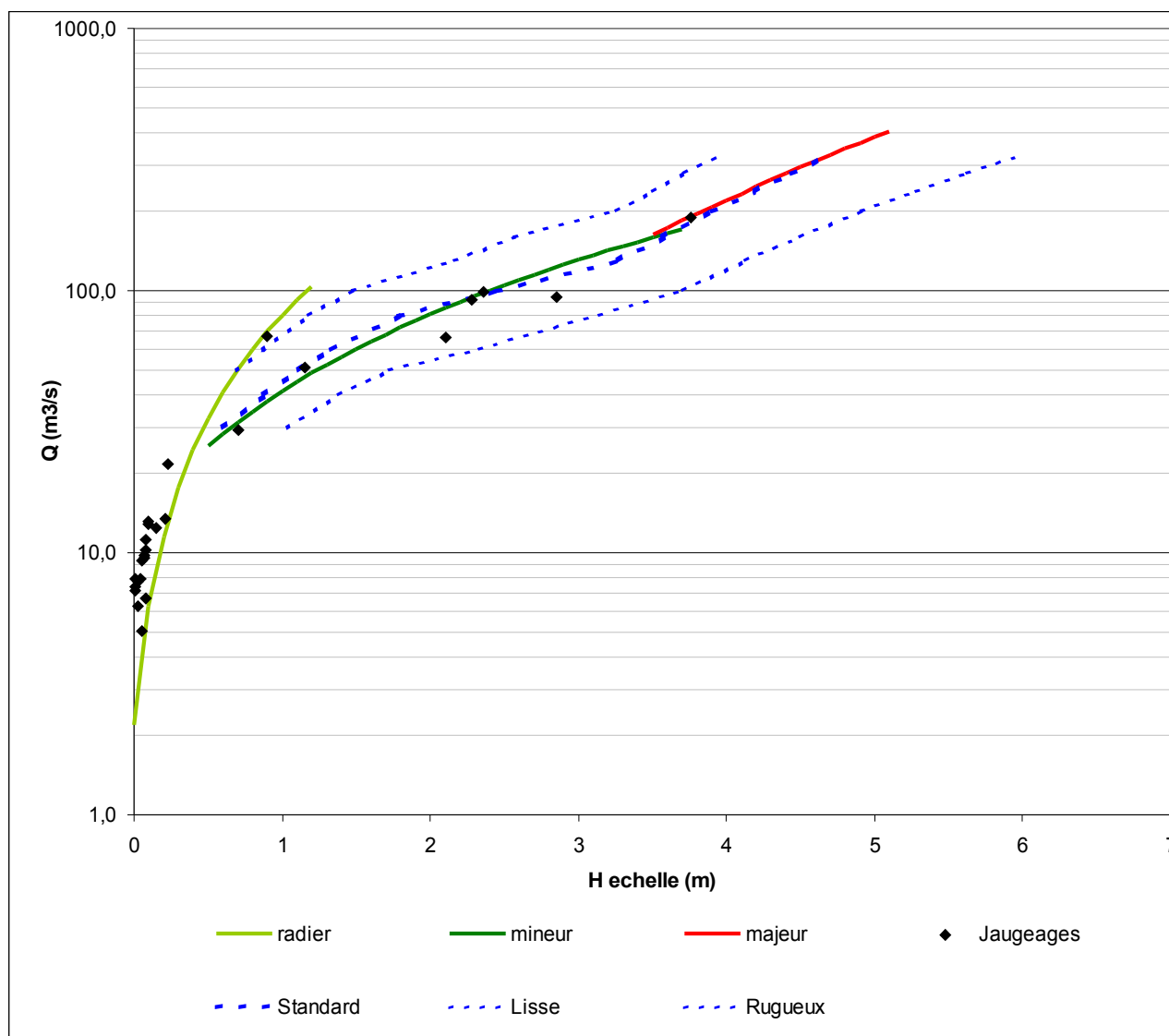


Figure 109: Calage des lois puissance sur les résultats du modèle et comparaison aux jaugeages pour la station sur la Blies à Bliesbruck

### 10.5.2 Synthèse des *a priori* fournis à BaRatin

En fonction de l'analyse hydraulique du site, des formules analytiques ainsi que des simulations, les *a priori* fournis à BaRatin ont été définis et sont présentés dans les Tableau 33 et Tableau 34.

Gamme			Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
n°	Hmin	Hmax	Radier	Chenal lit mineur	Chenal lit moyen
1	- 0,5	0,5			
2	0,5	3,25			
3	3,25	6			

Tableau 33 : Configuration du fonctionnement hydraulique et bornes des gammes de hauteur pour le site sur la Blies à Bliesbruck

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur centrale	Écart-type
1	a1	70	20
	b1	-0,1	0,3
	c1	1,5	0,05
2	a2	13	5
	c2	1,67	0,05
3	a3	70	30
	c3	1,67	0,05

Tableau 34: Paramètres des contrôles fournis à BaRatin pour la station sur la Blies à Bliesbruck

## 10.6 Résultats et commentaires

### 10.6.1 Les résultats en graphiques

A l'exception d'un jaugeage à 67,9 m<sup>3</sup>/s, tous les jaugeages figurent dans l'enveloppe d'incertitude générée par BaRatin (Figure 110).

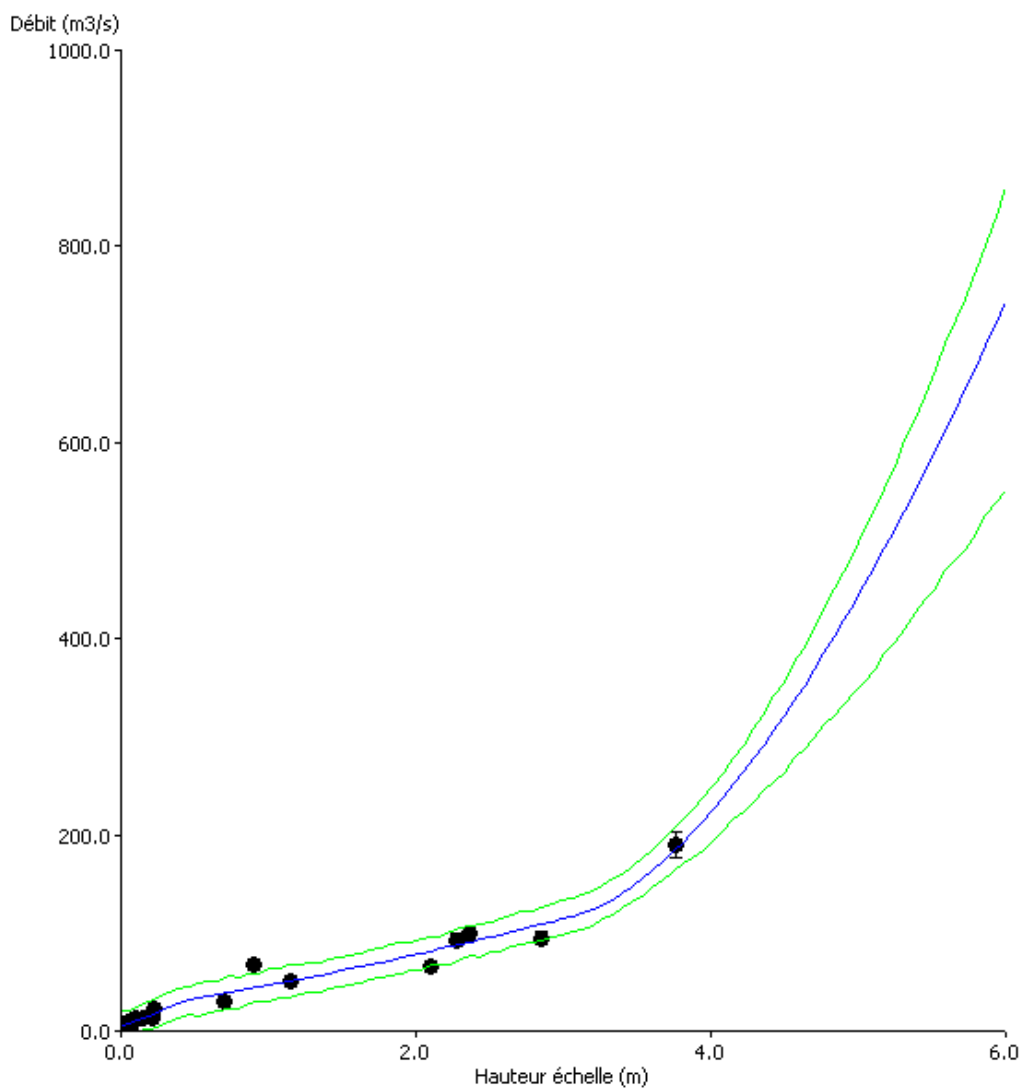


Figure 110: Courbe de tarage et son enveloppe d'incertitude générées par BaRatin pour la station de la Blies à Bliesbruck

Le profil de la courbe semble cohérent avec nos analyses et observations précédentes, ce que devrait confirmer l'analyse des paramètres calculés par BaRatin confrontés aux *a priori*.



### 10.6.2 Paramètres calculés par BaRatin

Les paramètres calculés par BaRatin sont très proches des *a priori* fournis en entrée comme le montrent les Tableau 35 et Tableau 36.

Segment	H min	H max
1	-0,5	0,44
2	0,44	3,14
3	3,14	6

Tableau 35: Hauteurs de gammes fournies par BaRatin pour la station sur la Blies à Bliesbruck

Contrôle hydraulique	Paramètres	Valeur BaRatin	<i>a priori</i>
1	a1	66,43	70 ± 20
	b1	-0,18	-0,1 ± 0,3
	c1	1,51	1,5 ± 0,05
2	a2	8,75	13 ± 5
	b2	-1,78	-1 ± 0,5
	c2	1,64	1,67 ± 0,05
3	a3	84,87	70 ± 30
	b3	3,13	3,25 ± 0,5
	c3	1,66	1,67 ± 0,05

Tableau 36: Paramètres des lois puissance fournis par BaRatin pour la station de a Blies à Bliesbruck

Seul le paramètre b2 sort légèrement de gamme de variation fixée en *a priori*, mais ne suffit pas à remettre en cause l'analyse hydraulique réalisée précédemment.

### 10.6.3 Conclusions sur la courbe générée

La courbe générée s'accorde très bien avec les jaugeages ainsi qu'avec la courbe actuelle du SPC (Figure 111).

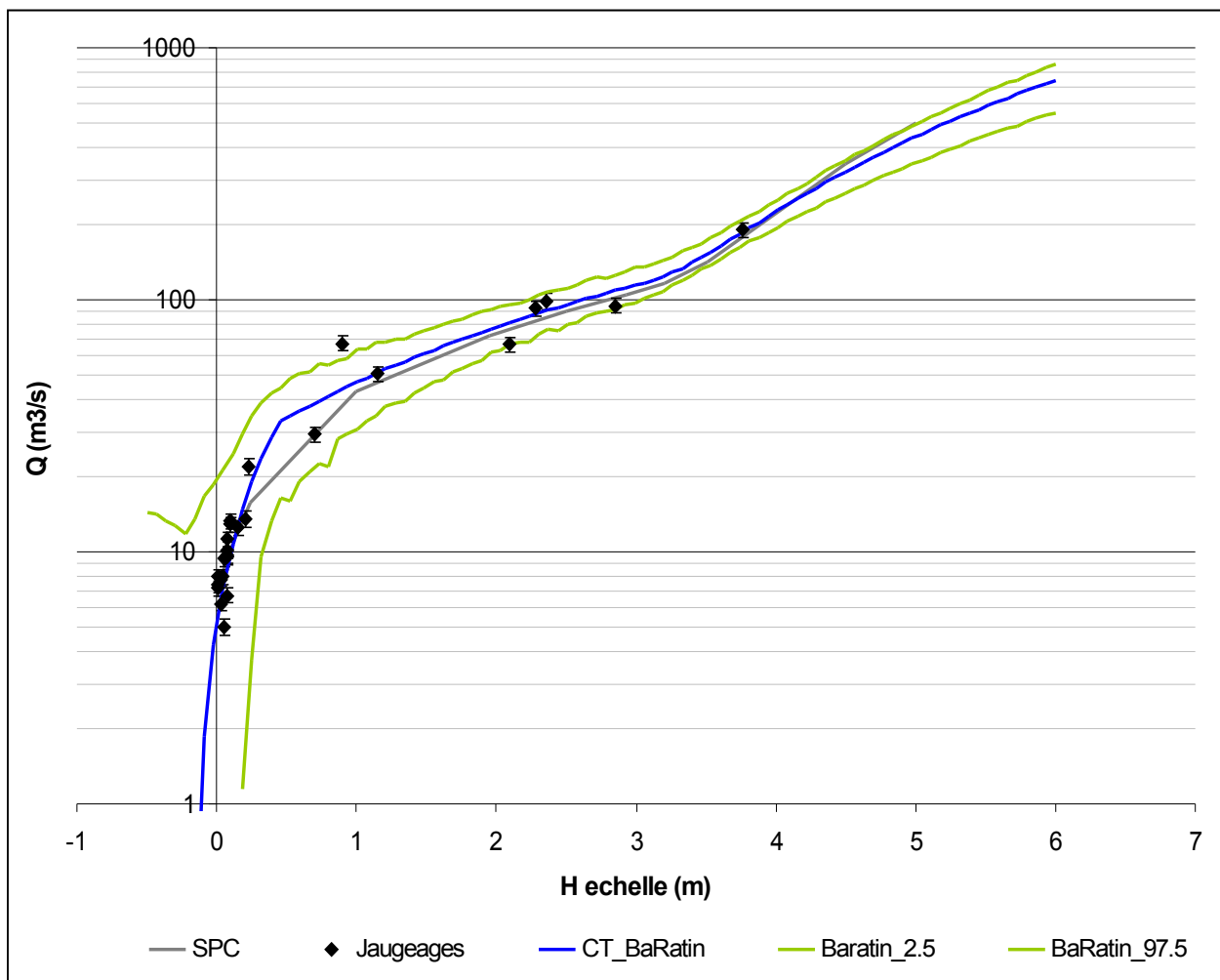


Figure 111: Courbe de tarage SPC Rhin-Sarre (en rouge), courbe de tarage proposée (en bleu) et son incertitude à 95% (en gris), jaugeages (points noirs) avec leurs barres d'incertitude à 95%

La nouvelle courbe de tarage est valable dans la configuration actuelle de la station. Pour connaître le début de la période de validité de cette nouvelle courbe de tarage, il conviendra de reconstituer l'historique des travaux ayant modifiés les éléments de contrôle de la station, dont les principaux sont le radier et le remblai en rive gauche aval.

## **10.7 Comparaison avec la station de la Blies à Reinheim (Allemagne)**

Afin d'étudier la possibilité de croiser les données de débits à Bliesbruck avec celles de Reinheim, les chroniques de débits de chacune de ces stations ont été comparées pour les épisodes de crue suivants :

- décembre 1993
- février 1997
- mars 2007
- décembre 2010
- janvier 2011

Les débits utilisés ici ont été calculés à partir des paramètres de la nouvelle courbe de tarage BaRatin. Toutefois ne connaissant pas la période de validité de cette courbe, les hydrogrammes des crues les plus anciennes présentés ici doivent être regardés avec précaution.

### **10.7.1 Présentation de la station de la Blies à Reinheim (Allemagne)**

La station sur la Blies à Reinheim est située à environ 4 km à l'amont de la station de Bliesbruck (Figure 112).

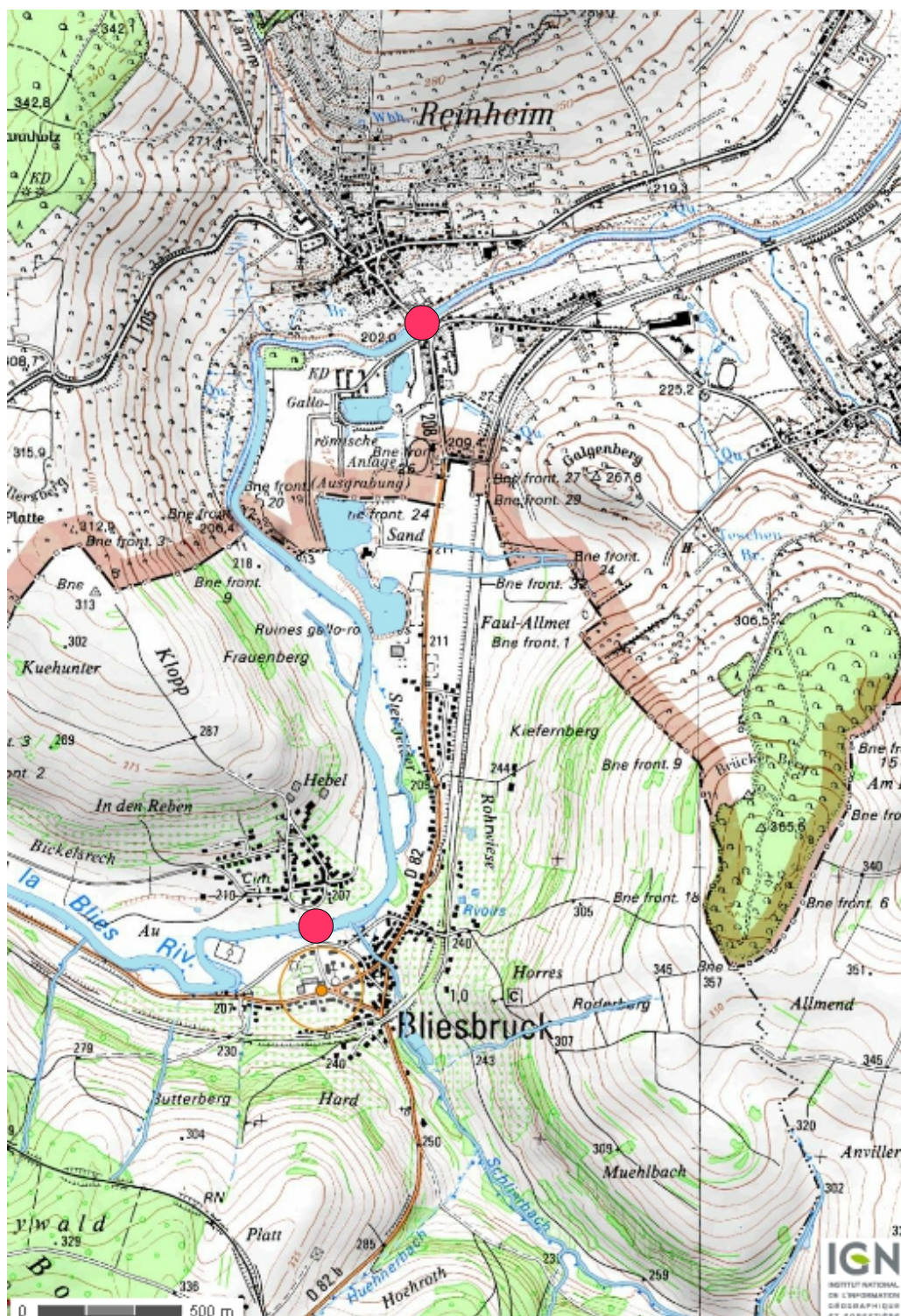


Figure 112: Les stations de Bliesbruck et Reinheim (symbolisées par les points rouges) ; situées de part et d'autre de la frontière Franco-Allemande

Aucun ouvrage particulier n'est présent sur le linéaire entre les deux stations, et la largeur de cours d'eau ne varie pas significativement. La Schlierbach, ainsi que quelques cours d'eau intermittents, affluent dans la Blies entre les deux stations.

### 10.7.2 Analyse des chroniques de débit

Compte tenu du pas de temps relativement grossier des données il sera impossible de mesurer précisément le décalage temporel entre les pics de crue. Les deux stations étant distantes d'environ 4km, nous pouvons estimer très grossièrement que les pics de crue devraient arriver à Bliesbruck entre 30min et 1h30 après être passés à Reinheim. Or les données de débit sont au pas de temps horaire pour la station de Reinheim ; tandis qu'à Bliesbruck le pas de temps varie entre 2h et 6h.

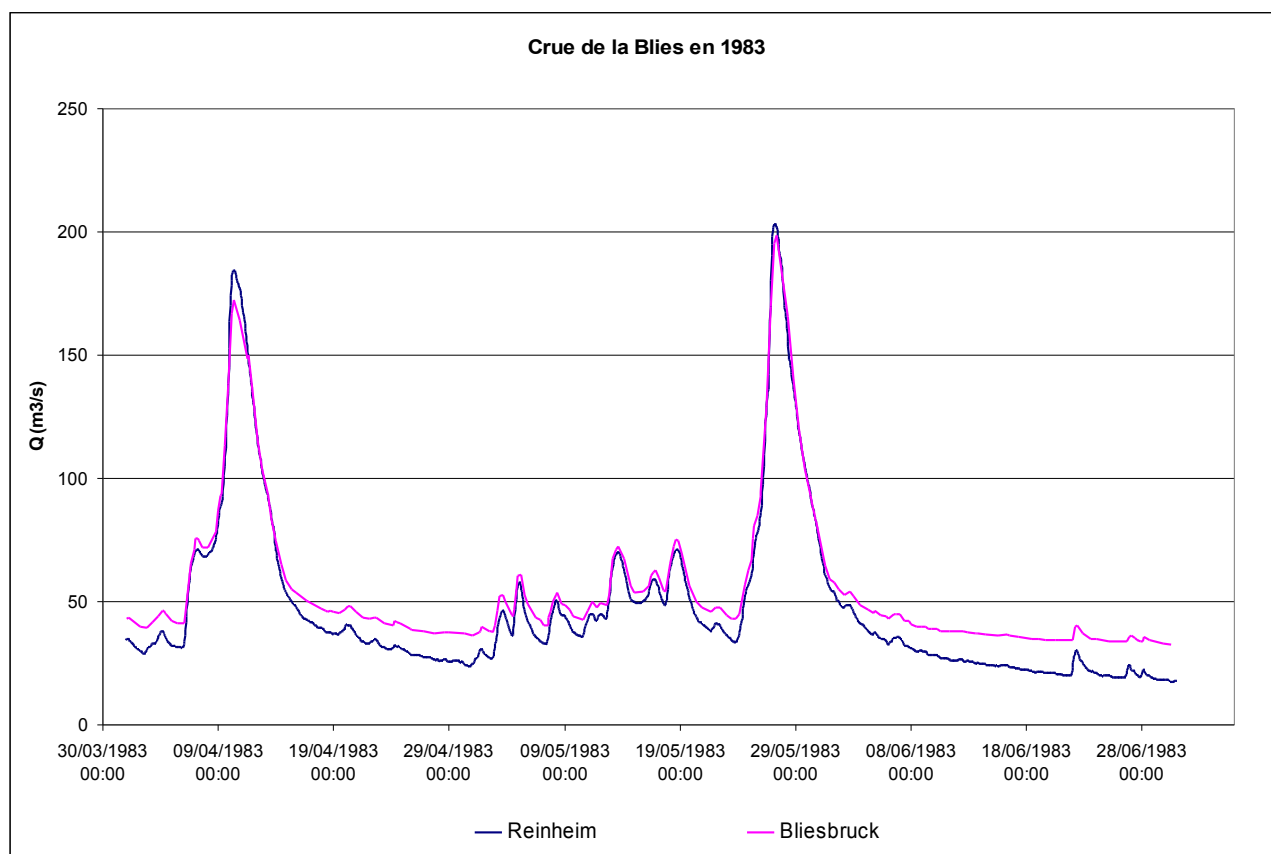


Figure 113: Crue de la Blies en 1983

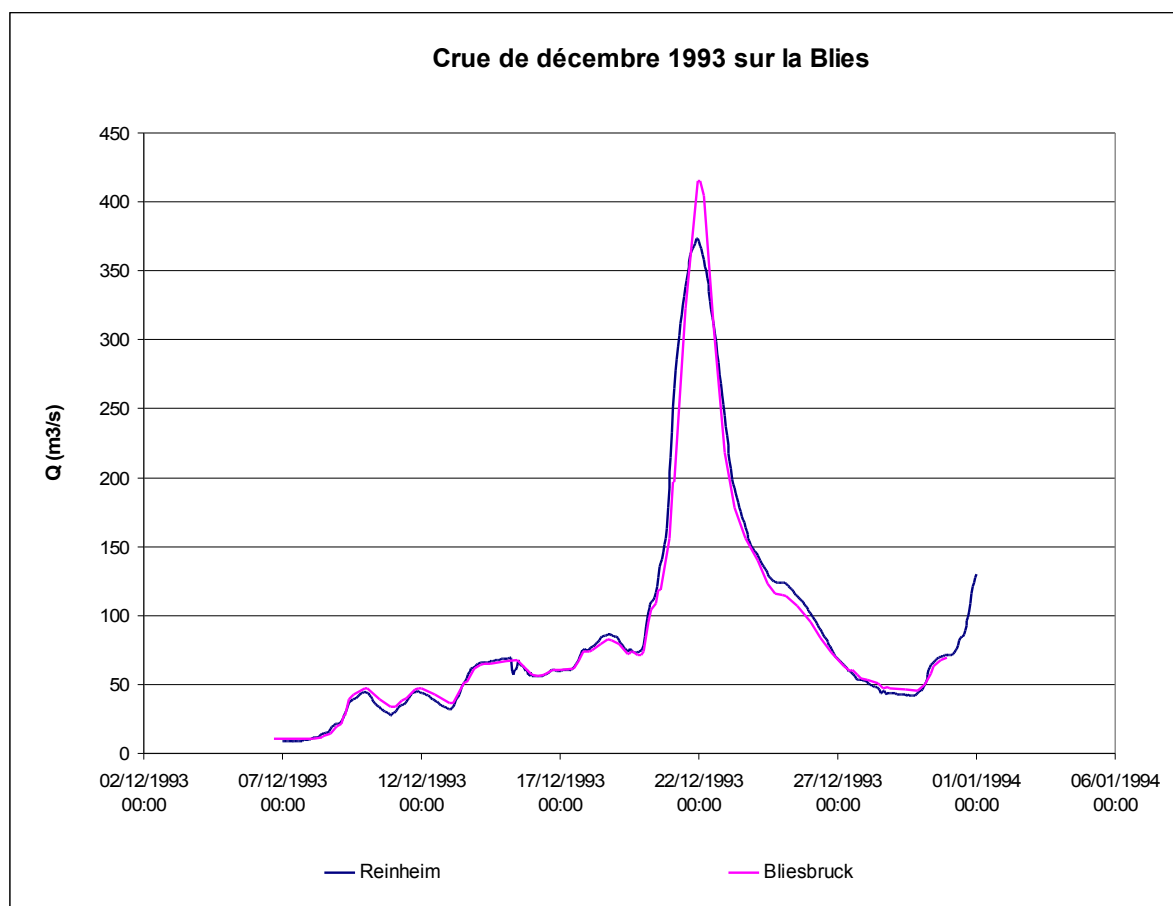


Figure 114: Crue de la Blies en 1993

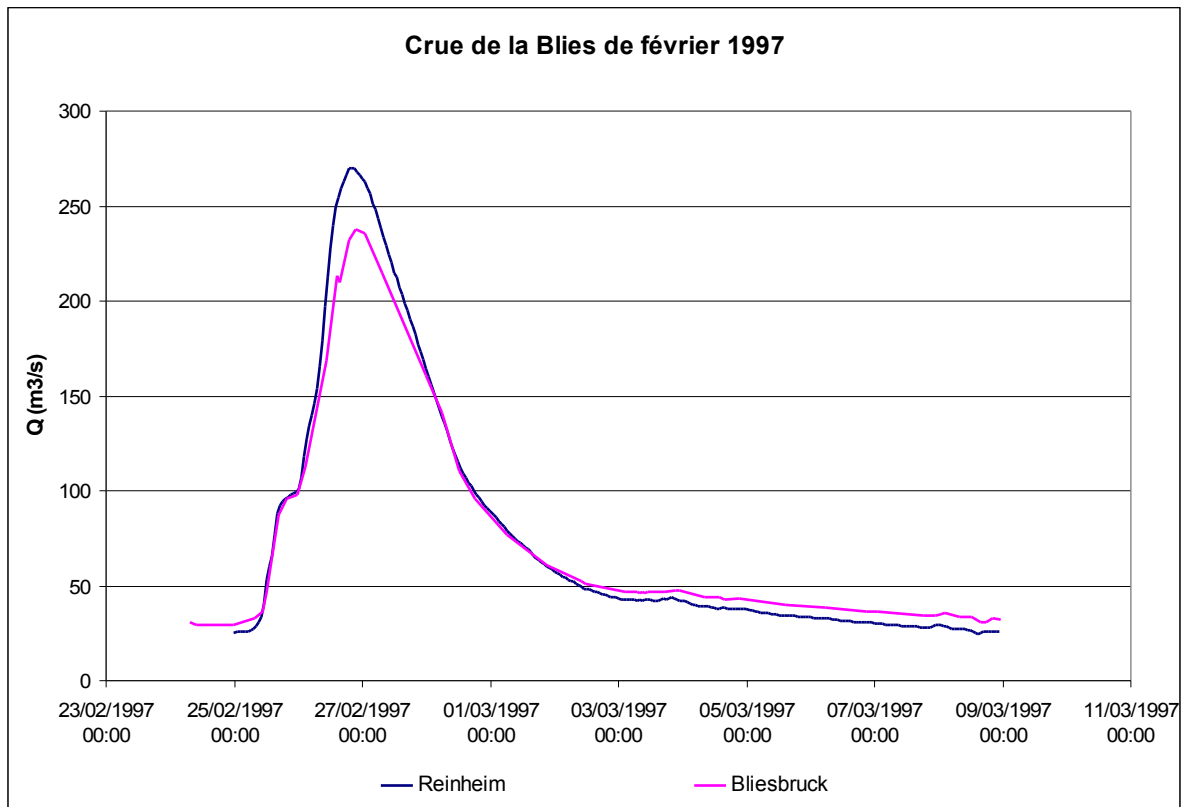


Figure 115: Crue de la Blies en 1997

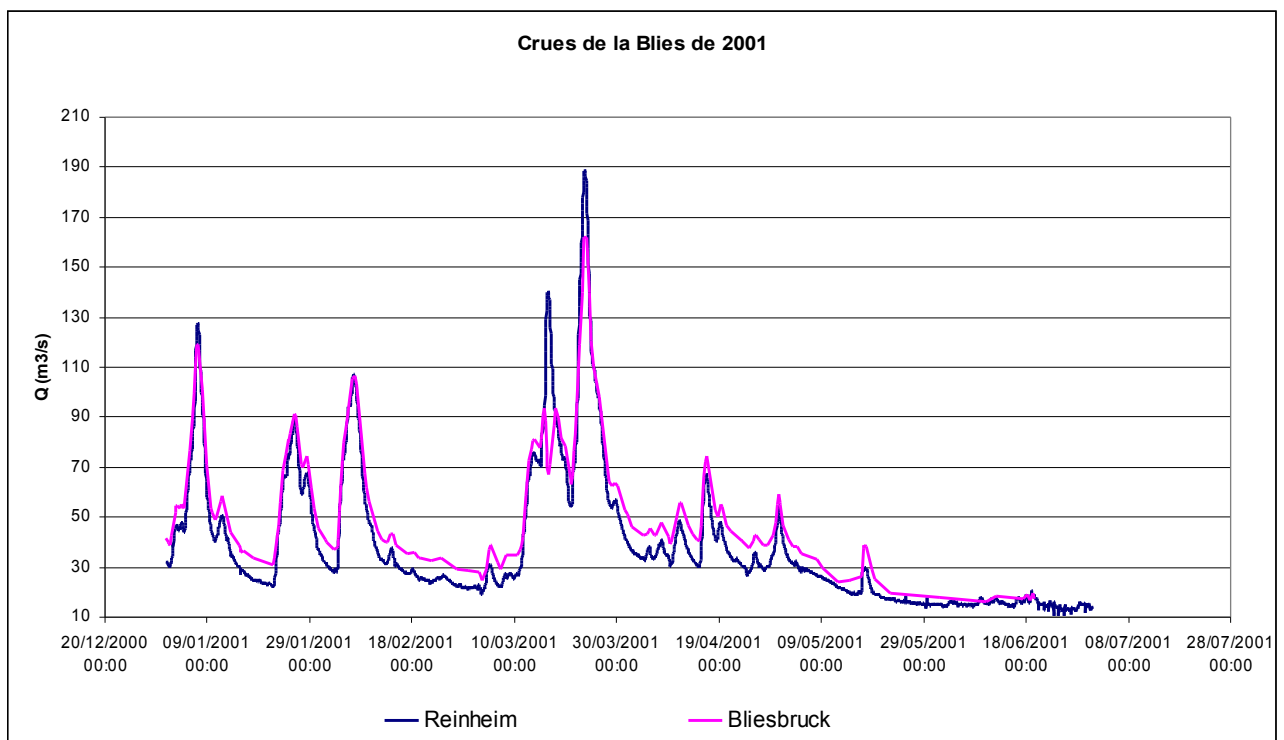


Figure 116: Crues de la Blies en 2001

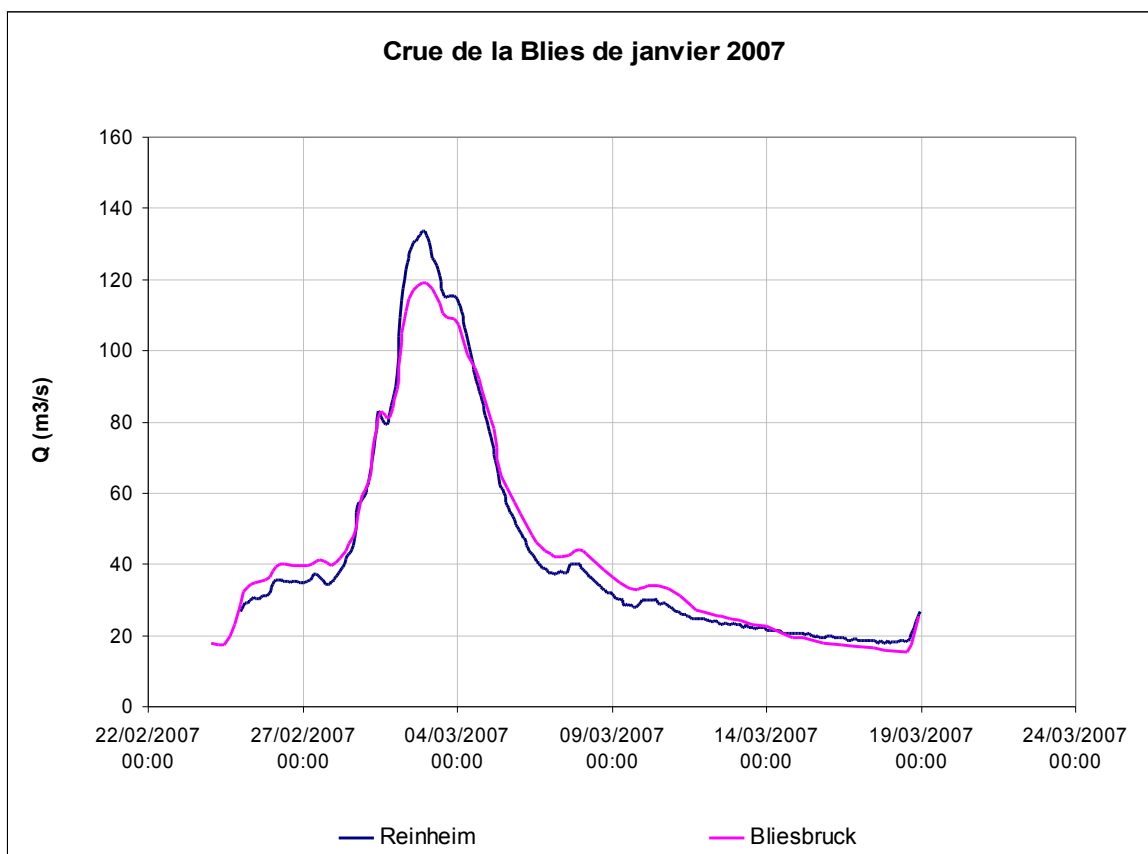


Figure 117: Crue de la Blies en 2007



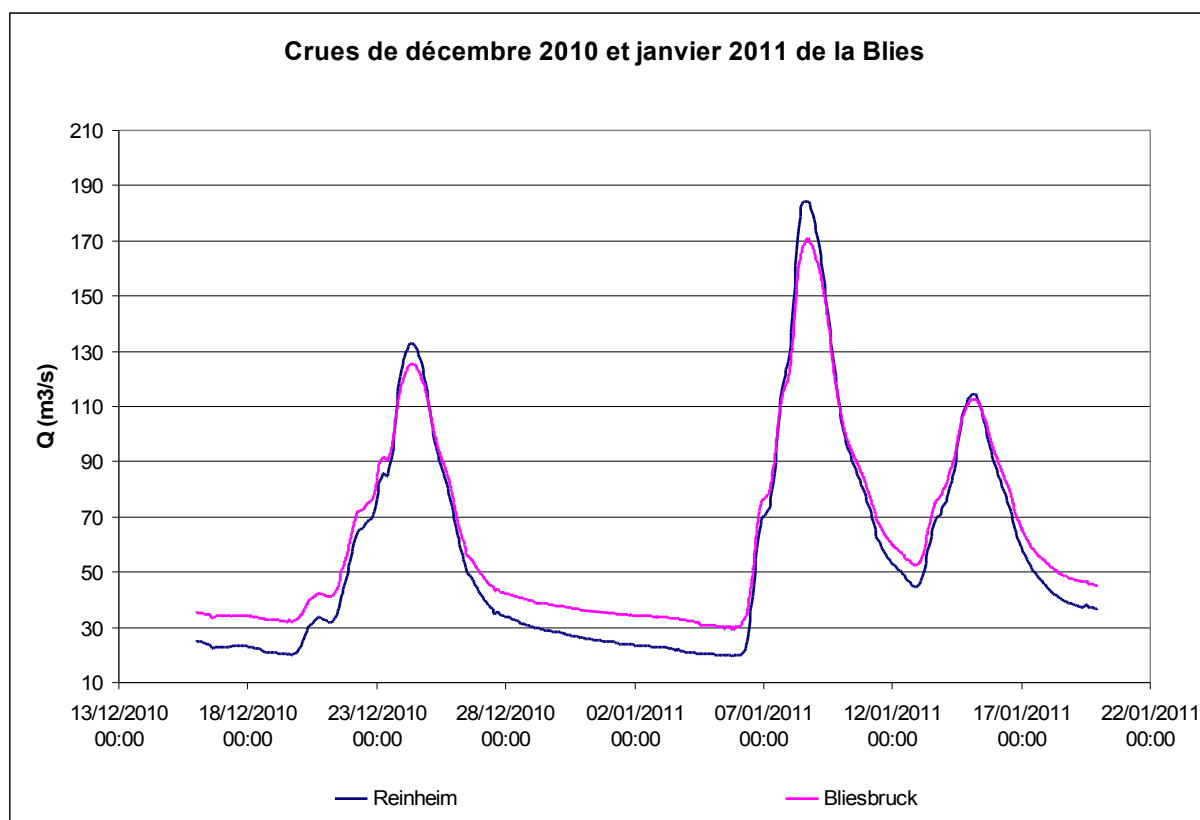


Figure 118: Crues de la Blies de l'hiver 2010 - 2011

Les deux chroniques de débit sont tout à fait cohérentes dans les hauts débits. Les pics de crue enregistrés à la station de Bliesbruck sont décalés dans le temps de 30min à 2h. Les différences de débits de pointe sont, dans la quasi-totalité des cas, inférieures à 10 % et ne sont donc pas significatives au regard des incertitudes en hautes eaux. Notons cependant que les pics de crue sont systématiquement inférieurs à Bliesbruck, sauf pour la crue de 1993 où les écarts tiennent sans doute aux choix de courbe de tarage et à leurs incertitude. Ces observations sont caractéristiques de la propagation d'une crue.

En revanche, dans les bas débits, les écarts entre les deux courbes peuvent aller jusqu'à 50 % (Figure 116 et Figure 118). Ces écarts sont trop importants pour pouvoir être expliqués par un éventuel dispositif de soutien d'étiage ou par un effet de propagation, mais pourraient s'expliquer par un détarage de la courbe de Reinheim ou par l'incertitude sur les bas des courbes de tarage aux 2 stations. Une mise au point avec les gestionnaires de la station de Reinheim sera nécessaire pour trouver une explication à ces écarts.

## 11 Références bibliographiques

NF ENV 13005 (1999), Guide pour l'expression des incertitudes de mesure, ISO, 120 p.

Jones, B.E. (1916) A method of correcting river discharge for a changing stage. Water Supply Paper 375 375, 117-130., U.S. Geological Survey.

Lang, M., K. Pobanz, B. Renard, E. Renouf, and E. Sauquet (2010) Extrapolation of rating curves by hydraulic modelling, with application to flood frequency analysis. Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques, 55(6):883–898, 2010. doi:10.1080/02626667.2010.504186.

Le Coz, J. (2011) A literature review of methods for estimating the uncertainty associated with stage-discharge relations, Technical Report.

Le Coz, J., B. Camenen, G. Dramais, M. Ferry, J.-L. Rosique, J. Ribot-Bruno (2011 sous presse) Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires, Onema/Irstea, 174 p.

Olivier, O., G. Pierrefeu, M. Scotti, and Blanquart B. (2008) Incertitudes sur les débits issus des courbes de tarage, conférence SHF « Mesures hydrologiques et incertitudes ».

Rantz, S.E. (1982) Measurement and computation of streamflow, Volume 2, Computation of discharge, volume Water-Supply Paper 2175. U. S. Geological Survey, Washington.

Renard, B., M.-H. Ramos, M. Thyer, J. Le Coz, F. Branger, D. Kavetski, G. Kuczera (2011) Tracking the role of streamflow uncertainty in hydrological ensemble predictions, EGU 2011, Session:HS4.3/AS4.13/NH1.12.

Schmidt, A.R. (2002) Analysis of stage-discharge relations for open-channel flows and their associated uncertainties. PhD thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign.

## **12 Annexes**

### **Annexe 1**

Jaugeages utilisés, et barèmes des courbes de tarage issues de BaRatin

## 12.1 Synthèse des données

### 12.1.1 Station de Sarrebourg (Sarre)

- Jaugeages retenus pour l'analyse :

Date-heure de début	Numéro du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
22-sept-95	5 SARB 95	1,28	1,19
26-juin-95	4 SARB 95	1,32	2,35
7-avr-95	2 SARB 95	1,52	4,59
1-févr-95	1 SARB 95	2,16	11,5
28-juin-96	2 SARB 96	1,05	0,278
11-sept-96	3 SARB 96	1,15	0,774
22-mars-96	1 SARB 96	1,15	0,996
19-déc-96	4 SARB 96	1,52	4,14
29-mai-97	2 SARB 97	1,16	0,901
11-déc-97	8 SARB 97	1,19	0,766
25-sept-97	5 SARB 97	1,19	0,456
25-juil-97	4 SARB 97	1,19	0,486
20-nov-97	7 SARB 97	1,22	0,947
13-juin-97	3 SARB 97	1,22	1,41
23-oct-97	6 SARB 97	1,27	1,28
13-mars-97	1 SARB 97	1,28	2,3
28-févr-97	1SARBB97	2,5	18,2
28-sept-98	6 SARB 98	1,03	0,125
6-avr-98	2 SARB 98	1,19	1,86
4-févr-98	1 SARB 98	1,2	1,24
25-juin-98	4 SARB 98	1,24	0,624
12-mai-98	3 SARB 98	1,25	2,05
13-août-98	5 SARB 98	1,35	1,11
26-oct-98	7 SARB 98	1,64	5,01
23-juil-99	5SARB99	1,08	0,512
9-juin-99	4SARB99	1,17	0,683
9-déc-99	8SARB99	1,26	1,73
30-sept-99	6SARB99	1,27	1,27
25-oct-99	7SARB99	1,31	1,77
7-avr-99	2SARB99	1,51	3,92
20-avr-99	3SARB99	1,52	3,87
11-févr-99	1SARB99	1,64	5,12
25-sept-00	6SARB00	0,95	0,055

Date-heure de début	Numéro du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
29-juin-00	4SARB00	1,07	0,093
7-août-00	5SARB00	1,22	0,982
14-avr-00	3SARB00	1,4	1,83
8-nov-00	7SARB00	1,43	4,38
12-déc-00	8SARB00	1,45	3,73
27-mars-00	2SARB00	1,49	4,08
14-mars-00	1SARB00	1,56	4,69
22-mai-01	4SARB01	1,06	0,218
3-juil-01	5SARB01	1,07	0,294
1-oct-01	6SARB01	1,2	0,864
10-déc-01	8SARB01	1,24	1,02
13-nov-01	7SARB01	1,29	1,33
9-mars-01	2SARB01	1,55	4,77
12-févr-01	1SARB01	1,55	4,73
24-avr-01	3SARB01	1,65	5,94
20-sept-02	5SARB02	1,13	0,446
22-août-02	4SARB02	1,15	0,368
5-déc-02	7SARB02	1,26	1,33
23-oct-02	6SARB02	1,3	1,61
25-juin-02	3SARB02	1,3	0,849
10-avr-02	1SARB02	1,35	2,51
17-avr-02	2SARB02	1,37	2,72
3-sept-03	4SARB03	1,13	0,485
25-mars-03	1SARB03	1,15	0,615
26-mai-03	2SARB03	1,19	1
28-juil-03	3SARB03	1,23	0,712
2-déc-04	4SARB04	1,14	0,672
20-oct-04	3SARB04	1,18	0,863
14-juin-04	1SARB04	1,2	0,682
28-août-04	2SARB04	1,22	0,977
29-déc-04	5SARB04	1,49	4,2
21-nov-05	4SARB05	1,2	0,908
13-oct-05	3SARB05	1,2	0,658
8-juil-05	2SARB05	1,23	1,06
13-mai-05	1SARB05	1,38	2,87
15-juin-06	2SARB06	1,2	0,964
27-févr-06	1SARB06	1,23	1,21
19-juil-06	3SARB06	1,27	0,634
29-nov-06	5SARB06	1,47	1,2
27-sept-06	4SARB06	1,69	5,15
13-sept-07	4SARB07	1,23	1,47

Date-heure de début	Numéro du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
14-mai-07	1SARB07	1,25	0,604
17-oct-07	5SARB07	1,3	2,19
27-juin-07	2SARB07	1,31	1,06
21-déc-07	7SARB07	1,35	2,87
17-juil-07	3SARB07	1,4	2
20-nov-07	6SARB07	1,47	3,35
23-sept-08	7SARB08	1,16	0,749
4-sept-08	6SARB08	1,17	0,678
3-juil-08	5SARB08	1,19	0,9
22-oct-08	8SARB08	1,24	1,3
27-févr-08	2SARB08	1,25	1,3
15-janv-08	1SARB08	1,52	5,45
21-nov-08	9SARB08	1,525	5,24
20-mars-08	3SARB08	1,61	5,8
24-avr-08	4SARB08	1,73	7,8
30-sept-09	4SARB09	1,14	0,564
30-sept-09	090930_1	1,14	0,502
17-mars-09	3SARB09	1,755	8,2
11-févr-09	1SARB09	1,94	9,42
9-mars-09	2SARB09	2,63	19,9
24-août-10	2SARB10	1,2	0,742
24-août-10	3SARB10	1,55	4,3
26-févr-10	1SARB10	2,055	11,4
7-déc-10	4SARB10	2,78	20,3
8-déc-10	5SARB10	2,96	29,9
9-déc-10	6SARB10	3,065	43,1
20-mai-11	2SARB11	1,18	0,841
10-janv-11	1SARB11	2,705	19,7

Tableau 37: Jaugeages utilisés pour l'analyse bayésienne de la station de Sarrebourg sur la Sarre

## ● Bareme de tarage Baratin

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
110	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1
120	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
130	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
140	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
150	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9
160	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.7	5.8	5.9	6.1	6.2
170	6.3	6.4	6.6	6.7	6.8	7.0	7.1	7.2	7.4	7.5
180	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2	8.4	8.5	8.7	8.8	8.9
190	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	9.8	10.0	10.2	10.3	10.5
200	10.6	10.8	10.9	11.1	11.3	11.4	11.6	11.7	11.9	12.1
210	12.2	12.4	12.6	12.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6	13.7
220	13.9	14.1	14.3	14.4	14.6	14.8	14.9	15.0	15.1	15.1
230	15.2	15.3	15.4	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.8	15.9
240	16.0	16.1	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.5	16.6	16.7
250	16.8	16.9	16.9	17.0	17.1	17.2	17.3	17.3	17.4	17.5
260	17.6	17.7	17.8	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.4	18.6
270	18.8	19.1	19.3	19.6	19.9	20.3	20.6	21.0	21.4	21.8
280	22.3	22.7	23.2	23.7	24.2	24.7	25.2	25.8	26.3	26.9
290	27.5	28.1	28.7	29.3	30.0	30.6	31.3	32.0	32.7	33.4
300	34.1	34.9	35.6	36.4	37.1	37.9	38.7	39.5	40.3	41.2
310	42.0	42.9	43.7	44.6	45.5	46.4	47.3	48.2	49.2	50.1
320	51.1	52.1	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.1	59.1	60.2
330	61.2	62.3	63.4	64.5	65.6	66.7	67.8	69.0	70.1	71.2
340	72.4	73.6	74.8	76.0	77.2	78.4	79.6	80.8	82.1	83.3
350	84.6	85.8	87.1	88.4	89.7	91.0	92.3	93.6	95.0	96.3
360	97.6	99.0	100.4	101.7	103.1	104.5	105.9	107.3	108.8	110.2
370	111.6	113.1	114.5	116.0	117.5	119.0	120.4	121.9	123.5	125.0
380	126.5	128.0	129.6	131.1	132.7	134.2	135.8	137.4	139.0	140.6
390	142.2	143.8	145.4	147.1	148.7	150.4	152.0	153.7	155.4	157.0
400	158.7	160.4	162.1	163.8	165.6	167.3	169.0	170.8	172.5	174.3
410	176.1	177.8	179.6	181.4	183.2	185.0	186.8	188.7	190.5	192.3
420	194.2	196.0	197.9	199.8	201.6	203.5	205.4	207.3	209.2	211.1
430	213.1	215.0	216.9	218.9	220.8	222.8	224.7	226.7	228.7	230.7
440	232.7	234.7	236.7	238.7	240.7	242.8	244.8	246.9	248.9	251.0
450	253.0	255.1	257.2	259.3	261.4	263.5	265.6	267.7	269.9	272.0
460	274.1	276.3	278.4	280.6	282.8	284.9	287.1	289.3	291.5	293.7
470	295.9	298.1	300.4	302.6	304.8	307.1	309.3	311.6	313.9	316.1
480	318.4	320.7	323.0	325.3	327.6	329.9	332.2	334.6	336.9	339.2
490	341.6	344.0	346.3	348.7	351.1	353.4	355.8	358.2	360.6	363.0
500	365.4	367.9	370.3	372.7	375.2	377.6	380.1	382.5	385.0	387.5

Tableau 38: Bareme de tarage de la station de Sarrebourg sur la Sarre

## 12.1.2 Station de Diedendorf (Sarre)

### ● Jaugeages retenus pour l'analyse

Date	N° du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
04/04/1995 00:00	1 DIED 95	0,91	11,1
28/02/1997 00:00	1DIEB97	2,7	51,7
07/04/1998 15:49	2DIEB98	1,31	19,4
19/04/1999	3DIEB99	0,6	6,39
16/03/2000	1DIED00	0,68	7,8
29/03/2000	2DIED00	0,48	4,63
11/04/2000	3DIED00	0,51	4,97
29/06/2000	4DIED00	0,34	1,82
17/08/2000	5DIED00	0,36	2,34
02/10/2000	6DIED00	0,45	2,51
30/10/2000	7DIED00	0,44	3,64
13/12/2000	8DIED00	0,59	6,55
05/02/2001	1DIEB01	1,84	28,3
12/03/2001	2DIEB01	1,98	34,8
25/04/2001	1DIED01	0,85	10,6
22/05/2001	2DIED01	0,5	4,98
29/06/2001	3DIED01	0,3	1,46
03/10/2001	4DIED01	0,36	2,53
14/11/2001	5DIED01	0,54	5,59
12/12/2001	6DIED01	0,44	4,02
11/03/2002	1DIED02	0,66	8,04
15/04/2002	2DIED02	0,4	3,09
25/06/2002	3DIED02	0,33	1,95
28/07/2002	2DIED07	0,38	2,52
27/08/2002	4DIED02	0,32	2,8
19/09/2002	5DIED02	0,31	1,28
23/10/2002	6DIED02	0,45	4,1
05/12/2002	7DIED02	0,53	7,3
24/03/2003	1DIED03	0,46	5,29
26/05/2003	2DIED03	0,28	1,68
04/08/2003	3DIED03	0,28	1,06
04/09/2003	4DIED03	0,27	0,999
06/10/2003	5DIED03	0,28	1,23
18/06/2004	1DIED04	0,34	1,93



Date	N° du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
23/08/2004	2DIED04	0,33	1,73
06/10/2004	3DIED04	0,32	1,89
01/12/2004	4DIED04	0,41	3,5
12/05/2005	1DIED05	0,42	3,78
07/07/2005	2DIED05	0,39	2,68
30/09/2005	3DIED05	0,3	1,37
07/12/2005	4DIED05	0,38	2,63
27/02/2006	1DIED06	0,4	3,57
17/10/2006	2DIED06	0,49	5,32
22/05/2007	1DIED07	0,44	4,46
28/06/2007	2DIED07	0,38	2,52
24/10/2007	3DIED07	0,32	2,3
19/11/2007	4DIED07	0,36	3,5
20/12/2007	5DIED07	0,47	6,06
22/02/2008	1DIED08	0,45	5,57
31/03/2008	2DIED08	0,69	11,7
03/07/2008	3DIED08	0,3	1,96
23/09/2008	4DIED08	0,26	1,42
28/10/2008	5DIED08	0,52	6,75
16/03/2009	1DIED09	0,93	18,5
30/07/2010 13:25	1DIED10	0,34	2,21
21/09/2010 13:40	2DIED10	0,32	2,22
08/12/2010 13:29	3DIED10	3,83	107
07/04/2011 09:18	1DIED11	0,31	2,66
20/05/2011 11:15	2DIED11	0,3	1,82

Tableau 39: Jaugeages utilisés pour l'analyse BaRatin pour la station de Diedendorf sur la Sarre

## ● Bareme de tarage BaRatin

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,8	3,0
40	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9
50	5,1	5,3	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4	6,6	6,9	7,1
60	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,3	9,5
70	9,8	9,9	10,0	10,2	10,3	10,5	10,6	10,8	10,9	11,0
80	11,2	11,3	11,5	11,6	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6
90	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,5	13,7	13,8	14,0	14,2
100	14,3	14,5	14,6	14,8	15,0	15,1	15,3	15,5	15,6	15,8
110	16,0	16,2	16,3	16,5	16,7	16,8	17,0	17,2	17,4	17,6
120	17,7	17,9	18,1	18,3	18,4	18,6	18,8	19,0	19,2	19,4
130	19,5	19,7	19,9	20,1	20,3	20,5	20,7	20,9	21,0	21,2
140	21,4	21,6	21,8	22,0	22,2	22,4	22,6	22,8	23,0	23,2
150	23,4	23,6	23,8	24,0	24,2	24,4	24,6	24,8	25,0	25,2
160	25,4	25,6	25,8	26,0	26,2	26,4	26,6	26,9	27,1	27,3
170	27,5	27,7	27,9	28,1	28,3	28,6	28,8	29,0	29,2	29,4
180	29,6	29,9	30,1	30,3	30,5	30,7	31,0	31,2	31,4	31,6
190	31,8	32,1	32,3	32,5	32,8	33,0	33,2	33,4	33,7	33,9
200	34,1	34,4	34,6	34,8	35,1	35,3	35,5	35,8	36,0	36,2
210	36,5	36,7	36,9	37,2	37,4	37,7	37,9	38,1	38,4	38,6
220	38,9	39,1	39,3	39,6	39,8	40,1	40,3	40,6	40,8	41,1
230	41,3	41,6	41,8	42,1	42,3	42,6	42,8	43,1	43,3	43,6
240	43,8	44,1	44,3	44,6	44,9	45,1	45,4	45,6	45,9	46,2
250	46,4	46,7	46,9	47,2	47,5	47,7	48,0	48,3	48,5	48,8
260	49,0	49,3	49,6	49,9	50,1	50,4	50,7	50,9	51,2	51,5
270	51,7	52,0	52,3	52,6	52,8	53,1	53,4	53,7	53,9	54,2
280	54,5	54,8	55,0	55,3	55,6	55,9	56,2	56,4	56,7	57,0
290	57,3	57,6	57,9	58,1	58,4	58,7	59,0	59,3	59,6	59,9
300	60,2	60,4	60,7	61,0	61,3	61,6	61,9	62,2	62,5	62,8
310	63,1	63,4	63,7	64,0	64,3	64,5	64,8	65,1	65,4	65,7
320	66,0	66,3	66,6	66,9	67,2	67,5	67,8	68,1	68,5	68,8
330	69,1	69,4	69,7	70,0	70,3	70,6	70,9	71,2	71,5	71,8
340	72,1	72,5	72,9	73,3	73,8	74,3	74,8	75,3	75,8	76,4
350	77,0	77,5	78,2	78,8	79,4	80,1	80,7	81,4	82,1	82,8
360	83,6	84,3	85,1	85,8	86,6	87,4	88,2	89,0	89,9	90,7
370	91,6	92,5	93,3	94,2	95,1	96,0	97,0	97,9	98,9	99,8
380	100,8	101,8	102,8	103,8	104,8	105,8	106,8	107,9	109,0	110,0
390	111,1	112,2	113,3	114,4	115,5	116,6	117,8	118,9	120,1	121,2

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
400	122,4	123,6	124,8	126,0	127,2	128,4	129,7	130,9	132,2	133,4
410	134,7	136,0	137,2	138,5	139,8	141,2	142,5	143,8	145,1	146,5
420	147,9	149,2	150,6	152,0	153,4	154,8	156,2	157,6	159,0	160,5
430	161,9	163,3	164,8	166,3	167,7	169,2	170,7	172,2	173,7	175,2
440	176,8	178,3	179,8	181,4	182,9	184,5	186,1	187,7	189,3	190,8
450	192,5	194,1	195,7	197,3	198,9	200,6	202,2	203,9	205,6	207,2
460	208,9	210,6	212,3	214,0	215,7	217,4	219,1	220,9	222,6	224,4
470	226,1	227,9	229,7	231,4	233,2	235,0	236,8	238,6	240,4	242,2
480	244,1	245,9	247,8	249,6	251,5	253,3	255,2	257,1	259,0	260,8
490	262,7	264,7	266,6	268,5	270,4	272,3	274,3	276,2	278,2	280,2
500	282,1	284,1	286,1	288,1	290,1	292,1	294,1	296,1	298,1	300,1
510	302,2	304,2	306,3	308,3	310,4	312,5	314,5	316,6	318,7	320,8
520	322,9	325,0	327,1	329,3	331,4	333,5	335,7	337,8	340,0	342,1
530	344,3	346,5	348,7	350,9	353,1	355,3	357,5	359,7	361,9	364,1
540	366,4	368,6	370,9	373,1	375,4	377,6	379,9	382,2	384,5	386,8
550	389,1	391,4	393,7	396,0	398,3	400,6	403,0	405,3	407,7	410,0

### 12.1.3 Station de Sarralbe centre (Sarre)

- Jaugeages retenus pour l'analyse

Date	N° du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m3/s)
23 février 2011	1SARRAL11	1,2	8,17
21 décembre 2010	4SARRAL10	2,37	64,9
5 décembre 2010	3SARRAL10	1,14	5,36
4 février 2010	2SARRAL10	3,26	156
19 janvier 2010	1SARRAL10	1,8	36,4
10 mars 2009	1SARRAL09	2,33	57,5
19 novembre 2008	8SARRAL08	1,05	2,8
31 octobre 2008	7SARRAL08	1,29	14,8
17 septembre 2008	6SARRAL08	1,05	4,66
23 juin 2008	5SARRAL08	1,03	2,47
23 juin 2008	4SARRAL08	1,03	2,38
27 mars 2008	3SARRAL08	1,52	25
22 février 2008	2SARRAL08	1,16	8,82
23 janvier 2008	1SARRAL08	1,94	42,2
13 novembre 2007	6SARRAL07	1,12	6,5
18 octobre 2007	5SARRAL07	1,08	5,1
18 octobre 2007	4SARRAL07	1,08	5,48
13 septembre 2007	3SARRAL07	1,06	4,24
18 juillet 2007	2SARRAL07	1,05	1,58
21 juin 2007	1SARRAL07	1,1	3,09
17 octobre 2006	2SARRAL06	1,13	7,28
23 août 2006	1SARRAL06	1	1,79
6 juillet 2005	2SARRAL05	0,98	2,58
27 mai 2005	1SARRAL05	1	3,6
19 novembre 2004	4SARRAL04	1,08	5,35
5 octobre 2004	3SARRAL04	1,03	2,38
15 septembre 2004	2SARRAL04	1,02	2,85
27 août 2004	1SARRAL04	1,01	2,37

## ● Bareme de tarage BaRatin

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
100	2,0	2,3	2,6	2,8	3,1	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8
110	5,2	5,5	5,9	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7
120	9,2	9,6	10,0	10,5	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,4
130	13,9	14,4	14,9	15,4	15,9	16,4	17,0	17,5	18,1	18,6
140	19,2	19,7	20,3	20,9	21,5	22,0	22,6	23,0	23,4	23,8
150	24,1	24,5	24,9	25,3	25,6	26,0	26,4	26,8	27,2	27,5
160	27,9	28,3	28,7	29,1	29,5	29,9	30,3	30,7	31,1	31,6
170	32,0	32,4	32,8	33,2	33,6	34,1	34,5	34,9	35,3	35,8
180	36,2	36,6	37,1	37,5	38,0	38,4	38,9	39,3	39,8	40,2
190	40,7	41,1	41,6	42,0	42,5	43,0	43,4	43,9	44,4	44,8
200	45,3	45,8	46,3	46,8	47,2	47,7	48,2	48,7	49,2	49,7
210	50,2	50,7	51,2	51,7	52,2	52,7	53,2	53,7	54,2	54,7
220	55,2	55,8	56,3	56,8	57,4	57,9	58,5	59,1	59,7	60,3
230	60,9	61,5	62,2	62,8	63,4	64,1	64,7	65,4	66,1	66,7
240	67,4	68,1	68,8	69,5	70,2	71,0	71,7	72,4	73,1	73,9
250	74,6	75,4	76,2	76,9	77,7	78,5	79,3	80,0	80,8	81,6
260	82,5	83,3	84,1	84,9	85,7	86,6	87,4	88,3	89,1	90,0
270	90,8	91,7	92,6	93,4	94,3	95,2	96,1	97,0	97,9	98,8
280	99,7	100,6	101,6	102,5	103,4	104,4	105,3	106,3	107,2	108,2
290	109,1	110,1	111,1	112,1	113,0	114,0	115,0	116,0	117,0	118,0
300	119,0	120,1	121,1	122,1	123,1	124,2	125,2	126,3	127,3	128,4
310	129,4	130,5	131,5	132,6	133,7	134,8	135,9	136,9	138,0	139,1
320	140,2	141,4	142,5	143,6	144,7	145,8	147,0	148,1	149,2	150,4
330	151,5	152,7	153,8	155,0	156,2	157,3	158,5	159,7	160,9	162,0
340	163,2	164,4	165,6	166,8	168,0	169,3	170,5	171,7	172,9	174,1
350	175,4	176,6	177,9	179,1	180,3	181,6	182,9	184,1	185,4	186,7
360	187,9	189,2	190,5	191,8	193,1	194,4	195,7	197,0	198,3	199,6
370	200,9	202,2	203,5	204,9	206,2	207,5	208,9	210,2	211,6	212,9
380	214,3	215,6	217,0	218,4	219,7	221,1	222,5	223,9	225,2	226,6
390	228,0	229,4	230,8	232,2	233,6	235,1	236,5	237,9	239,3	240,7
400	242,2	243,6	245,1	246,5	247,9	249,4	250,9	252,3	253,8	255,2
410	256,7	258,2	259,7	261,1	262,6	264,1	265,6	267,1	268,6	270,1
420	271,6	273,1	274,7	276,2	277,7	279,2	280,8	282,3	283,8	285,4
430	286,9	288,5	290,0	291,6	293,1	294,7	296,3	297,8	299,4	301,0
440	302,6	304,1	305,7	307,3	308,9	310,5	312,1	313,7	315,3	317,0

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
450	318,6	320,2	321,8	323,5	325,1	326,7	328,4	330,0	331,7	333,3
460	335,0	336,6	338,3	339,9	341,6	343,3	345,0	346,6	348,3	350,0
470	351,7	353,4	355,1	356,8	358,5	360,2	361,9	363,6	365,3	367,0
480	368,8	370,5	372,2	374,0	375,7	377,4	379,2	380,9	382,7	384,4
490	386,2	388,0	389,7	391,5	393,3	395,0	396,8	398,6	400,4	402,2
500	404,0	405,8	407,6	409,4	411,2	413,0	414,8	416,6	418,4	420,2
510	422,1	423,9	425,7	427,6	429,4	431,3	433,1	435,0	436,8	438,7
520	440,5	442,4	444,2	446,1	448,0	449,9	451,7	453,6	455,5	457,4
530	459,3	461,2	463,1	465,0	466,9	468,8	470,7	472,6	474,6	476,5
540	478,4	480,3	482,3	484,2	486,1	488,1	490,0	492,0	493,9	495,9
550	497,8	499,8	501,8	503,7	505,7	507,7	509,7	511,6	513,6	515,6
560	517,6	519,6	521,6	523,6	525,6	527,6	529,6	531,6	533,7	535,7
570	537,7	539,7	541,8	543,8	545,8	547,9	549,9	551,9	554,0	556,0
580	558,1	560,2	562,2	564,3	566,4	568,4	570,5	572,6	574,7	576,7
590	578,8	580,9	583,0	585,1	587,2	589,3	591,4	593,5	595,6	597,7
600	599,9	602,0	604,1	606,2	608,4	610,5	612,6	614,8	616,9	619,1
610	621,2	623,4	625,5	627,7	629,8	632,0	634,2	636,3	638,5	640,7
620	642,9	645,0	647,2	649,4	651,6	653,8	656,0	658,2	660,4	662,6
630	664,8	667,0	669,3	671,5	673,7	675,9	678,2	680,4	682,6	684,9
640	687,1	689,3	691,6	693,8	696,1	698,3	700,6	702,9	705,1	707,4
650	709,7	711,9	714,2	716,5	718,8	721,1	723,4	725,6	727,9	730,2
660	732,5	734,8	737,2	739,5	741,8	744,1	746,4	748,7	751,1	753,4
670	755,7	758,0	760,4	762,7	765,1	767,4	769,8	772,1	774,5	776,8
680	779,2	781,5	783,9	786,3	788,7	791,0	793,4	795,8	798,2	800,6
690	802,9	805,3	807,7	810,1	812,5	814,9	817,3	819,8	822,2	824,6
700	827,0	829,4	831,9	834,3	836,7	839,1	841,6	844,0	846,5	848,9

Tableau 40: Bareme de tarage de la station de Sarralbe centre sur la Sarre

## 12.1.4 Station de Wittring (Sarre)

- Jaugeages utilisés pour l'analyse

Date	N° du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m3/s)
27/08/2003	4WITT03	54	1,86
27/07/2006	2WITT06	58	2,66
11/08/1998 11:40	5 WITT 98	58	2,49
05/09/2003	5WITT03	60	2,31
27/08/2004	3WITT04	62	3,93
16/06/2004	2WITT04	62	3,24
24/11/2005	5WITT05	63	2,83
27/09/2005	4WITT05	63	2,11
05/07/2005	3WITT05	65	5,56
04/09/1996 00:00	3 WITT 96	65	2,5
25/05/2011 11:00	2WITT11	66	2,58
05/10/2004	4WITT04	66	4
23/09/1997 00:00	4 WITT 97	66	2,83
07/07/2011 08:29	7WITT11	68	2,76
02/02/2006	1WITT06	68	3,31
29/07/2003	3WITT03	68	3,21
18/09/2002	5WITT02	68	3,2
28/08/2002	4WITT02	68	3,24
23/06/1998 11:30	4 WITT 98	68	3,25
07/07/2011 12:15	8WITT11	69	2,88
30/09/2003	6WITT03	69	3,45
01/10/2009	091001_1	71	2,9
26/06/2002	3WITT02	71	3,47
23/09/1998	6 WITT 98	71	3,5
16/06/2011 09:03	6WITT11	72	3,3
02/06/2003	2WITT03	72	3,33
28/06/2000	3WITT00	73	4,3
10/06/2011 14:30	5WITT11	74	3,7
10/06/2011 11:30	4WITT11	74	3,89
10/06/2011 08:29	3WITT11	74	4,09
15/05/1998 00:00	3 WITT 98	74	7,46
27/05/1997 00:00	1 WITT 97	74	4,93

Date	N° du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m3/s)
25/06/1996 00:00	2 WITT 96	74	3,99
17/09/2008 14:30	4WITT08	75	4,79
27/06/2001	2WITT01	76	4,2
11/06/1997 00:00	2 WITT 97	76	4,9
20/11/2008	7WITT08	76,5	5,62
23/07/1997 00:00	3 WITT 97	78	6,81
21/10/1997 00:00	5 WITT 97	79	5,31
12/09/2007	4WITT07	81	5,75
16/08/2000	4WITT00	82	6,25
18/11/1997 00:00	6 WITT 97	82	6,92
09/12/1997 00:00	7 WITT 97	83	7,11
28/09/2001	4WITT01	84	6,44
19/09/1995 00:00	2 WITT 95	84	6,93
19/07/2007	3WITT07	85	6,44
18/05/2005	2WITT05	86	8,5
19/03/1996 00:00	1 WITT 96	86	6,97
24/10/2008	6WITT08	88	5,79
24/10/2008 11:00	5WITT08	88	6,18
26/06/2007	2WITT07	88	6,57
02/04/1998 11:10	2 WITT 98	88	8,04
16/10/2007	5WITT07	89	7,32
21/03/2003	1WITT03	90	7,62
22/10/2002	6WITT02	91	8,93
30/11/1995 00:00	3 WITT 95	92	8,11
02/02/1998 11:40	1 WITT 98	94	8,58
16/04/2002	2WITT02	95	9,49
20/02/2008 14:00	2WITT08	96	10,8
26/09/2000	5WITT00	96	9,41
16/05/2007	1WITT07	97	8,48
09/09/2010 15:05	2WITT10	98	9,12
24/08/2010 15:20	1WITT10	99	9,47
09/04/2002	1WITT02	99	8,74
15/11/2007	6WITT07	101	4,59
19/11/2004	5WITT04	101	12,3
28/03/2000	2WITT00	102	10,8
15/05/2001	1WITT01	104	9,38
25/10/2000	6WITT00	104	10,4
28/09/2006	3WITT06	105	10,3



Date	N° du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m3/s)
11/12/2001	6WITT01	106	11,4
01/02/2011 09:30	1WITT11	110	14,9
28/10/1998	1 WITTB98	110	16,4
12/04/2000	1WITTB00	112	18,1
20/03/2000	1WITT00	112	10,9
19/03/1997 00:00	2WITTB97	112	11,1
18/12/2007	7WITT07	113	14,4
15/11/2001	5WITT01	114	12,3
09/12/2002	7WITT02	115	14,5
16/12/1996 00:00	4 WITT 96	118	10,6
18/01/2008	1WITT08	121	19,2
30/12/2004	6WITT04	127	17,8
24/01/2005	1WITT05	140	24,9
20/11/1998	2 WITTB98	140	26,9
04/04/1995 00:00	1 WITT 95	142	24,1
16/03/2009	1WITT09	147	35,1
26/04/2001	3WITTB01	150	30,6
27/03/2008 13:10	3WITT08	158	36,6
18/12/2000	2WITTB00	159	23,6
08/02/2001	1WITTB01	180	49,8
16/11/2010 13:45	3WITT10	250	83,8
13/03/2001	2WITTB01	344	148
22/12/2010 13:20	5WITT10	423	235
09/12/2010 14:19	4WITT10	558	381
27/02/1997 00:00	1WITTB97	568	386

Tableau 41: Jaugeages retenus pour l'analyse bayésienne de la station de Wittring sur la Sarre

## ● Bareme de tarage BaRatin

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	7,9	8,2	8,4	8,7	8,9	9,2	9,5	9,7	10,0	10,3
100	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1
110	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3
120	16,7	17,0	17,4	17,7	18,1	18,4	18,8	19,2	19,5	19,9
130	20,3	20,6	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,0	23,4	23,8
140	24,2	24,6	25,0	25,4	25,8	26,2	26,6	27,1	27,5	27,9
150	28,3	28,8	29,2	29,7	30,1	30,5	31,0	31,4	31,9	32,3
160	32,8	33,2	33,7	34,2	34,6	35,1	35,6	36,1	36,5	37,0
170	37,5	38,0	38,5	38,9	39,4	39,9	40,4	40,9	41,4	41,9
180	42,4	43,0	43,5	44,0	44,5	45,0	45,5	46,1	46,6	47,1
190	47,6	48,2	48,7	49,3	49,8	50,3	50,9	51,4	52,0	52,5
200	53,1	53,6	54,2	54,8	55,3	55,9	56,5	57,0	57,6	58,2
210	58,8	59,4	59,9	60,5	61,1	61,7	62,3	62,9	63,5	64,1
220	64,7	65,3	65,9	66,5	67,1	67,7	68,3	69,0	69,6	70,2
230	70,8	71,5	72,1	72,7	73,3	74,0	74,6	75,3	75,9	76,5
240	77,2	77,8	78,5	79,1	79,8	80,5	81,1	81,8	82,4	83,1
250	83,8	84,5	85,1	85,8	86,5	87,2	87,8	88,5	89,2	89,9
260	90,6	91,3	92,0	92,7	93,4	94,1	94,8	95,5	96,2	96,9
270	97,6	98,3	99,0	99,8	100,5	101,2	101,9	102,7	103,4	104,1
280	104,8	105,6	106,3	107,1	107,8	108,5	109,3	110,0	110,8	111,5
290	112,3	113,0	113,8	114,6	115,3	116,1	116,8	117,6	118,4	119,2
300	119,9	120,7	121,5	122,3	123,0	123,8	124,6	125,4	126,2	127,0
310	127,8	128,6	129,4	130,2	131,0	131,8	132,6	133,4	134,2	135,0
320	135,8	136,7	137,5	138,3	139,1	139,9	140,8	141,6	142,4	143,3
330	144,1	144,9	145,8	146,6	147,4	148,3	149,1	150,0	150,8	151,7
340	152,5	153,4	154,3	155,1	156,0	156,8	157,7	158,6	159,4	160,3
350	161,2	162,1	162,9	163,8	164,7	165,6	166,5	167,3	168,2	169,1
360	170,0	170,9	171,8	172,7	173,6	174,5	175,4	176,3	177,2	178,1
370	179,0	180,0	180,9	181,8	182,7	183,6	184,6	185,5	186,4	187,3
380	188,3	189,2	190,1	191,1	192,0	192,9	193,9	194,8	195,8	196,7
390	197,7	198,6	199,6	200,5	201,5	202,4	203,4	204,4	205,3	206,3
400	207,3	208,2	209,2	210,2	211,1	212,1	213,1	214,1	215,1	216,0
410	217,0	218,0	219,0	220,0	221,0	222,0	223,0	224,0	225,0	226,0
420	227,0	228,0	229,0	230,0	231,0	232,0	233,0	234,1	235,1	236,1
430	237,1	238,1	239,2	240,2	241,2	242,3	243,3	244,3	245,4	246,4
440	247,4	248,5	249,5	250,6	251,6	252,7	253,7	254,8	255,8	256,9
450	257,9	259,0	260,1	261,1	262,2	263,2	264,3	265,4	266,5	267,5

H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
460	268,6	269,7	270,8	271,8	272,9	274,0	275,1	276,2	277,3	278,4
470	279,5	280,5	281,6	282,7	283,8	284,9	286,0	287,1	288,3	289,4
480	290,5	291,6	292,7	293,8	294,9	296,0	297,2	298,3	299,4	300,5
490	301,7	302,8	303,9	305,1	306,2	307,3	308,5	309,6	310,7	311,9
500	313,0	314,2	315,3	316,5	317,6	318,8	319,9	321,1	322,2	323,4
510	324,6	325,7	326,9	328,1	329,2	330,4	331,6	332,7	333,9	335,1
520	336,3	337,4	338,6	339,8	341,0	342,2	343,4	344,6	345,8	346,9
530	348,1	349,3	350,5	351,7	352,9	354,1	355,3	356,6	357,8	359,0
540	360,2	361,4	362,6	363,8	365,0	366,3	367,5	368,7	369,9	371,2
550	372,4	373,6	374,8	376,1	377,3	378,5	379,8	381,0	382,3	383,5
560	384,8	386,0	387,2	388,5	389,7	391,0	392,3	393,5	394,8	396,0
570	397,3	398,6	399,8	401,1	402,4	403,8	405,1	406,5	407,8	409,2
580	410,6	412,0	413,4	414,8	416,2	417,7	419,1	420,6	422,0	423,5
590	425,0	426,5	428,0	429,5	431,0	432,5	434,1	435,6	437,2	438,7
600	440,3	441,8	443,4	445,0	446,6	448,2	449,8	451,4	453,0	454,7
610	456,3	458,0	459,6	461,3	462,9	464,6	466,3	468,0	469,6	471,3
620	473,1	474,8	476,5	478,2	479,9	481,7	483,4	485,2	486,9	488,7
630	490,5	492,2	494,0	495,8	497,6	499,4	501,2	503,0	504,8	506,7
640	508,5	510,3	512,2	514,0	515,9	517,8	519,6	521,5	523,4	525,3
650	527,2	529,1	531,0	532,9	534,8	536,7	538,6	540,6	542,5	544,4
660	546,4	548,4	550,3	552,3	554,3	556,2	558,2	560,2	562,2	564,2
670	566,2	568,2	570,2	572,3	574,3	576,3	578,4	580,4	582,5	584,5
680	586,6	588,6	590,7	592,8	594,9	597,0	599,1	601,2	603,3	605,4
690	607,5	609,6	611,7	613,9	616,0	618,2	620,3	622,5	624,6	626,8
700	628,9	631,1	633,3	635,5	637,7	639,9	642,1	644,3	646,5	648,7
710	650,9	653,1	655,4	657,6	659,8	662,1	664,3	666,6	668,9	671,1
720	673,4	675,7	677,9	680,2	682,5	684,8	687,1	689,4	691,7	694,1
730	696,4	698,7	701,0	703,4	705,7	708,1	710,4	712,8	715,1	717,5
740	719,9	722,2	724,6	727,0	729,4	731,8	734,2	736,6	739,0	741,4
750	743,8	746,2	748,7	751,1	753,5	756,0	758,4	760,9	763,3	765,8
760	768,3	770,7	773,2	775,7	778,2	780,7	783,2	785,7	788,2	790,7
770	793,2	795,7	798,2	800,8	803,3	805,8	808,4	810,9	813,5	816,0
780	818,6	821,1	823,7	826,3	828,9	831,4	834,0	836,6	839,2	841,8
790	844,4	847,0	849,6	852,3	854,9	857,5	860,2	862,8	865,4	868,1
800	870,7	873,4	876,0	878,7	881,4	884,1	886,7	889,4	892,1	894,8

Tableau 42: Bareme de tarage de la station de Wittring sur la Sarre

### 12.1.5 Station de Bliesbruck (Blies)

- Jaugeages retenus pour l'analyse

Date	Numéro du jaugeage	Cote retenue (m)	Débit (m <sup>3</sup> /s)
16/07/2007	3BLIE07	0,01	7,45
12/09/2007	4BLIE07	0,01	7,96
16/10/2007	5BLIE07	0,01	7,18
9/16/2008	4BLIE08	0,03	6,24
9/16/2008	3BLIE08	0,03	7,8
29/09/2006	3BLIE06	0,04	7,94
26/07/2006	2BLIE06	0,05	5,04
21/05/2007	1BLIE07	0,05	9,36
25/06/2007	2BLIE07	0,15	12,5
02/02/2006	1BLIE06	0,08	6,72
6/20/2008	2BLIE08	0,07	9,6
5/11/2011	2BLIES11	0,07	9,74
12/11/2007	6BLIE07	0,075	10,2
10/27/2008	5BLIE08	0,075	11,2
18/12/2007	7BLIE07	0,1	12,8
2/18/2008	1BLIE08	0,1	13,2
10/12/2002	6BLIE02	0,21	13,5
2/17/2011	1BLIES11	0,23	21,8
27/04/2001	3BLIEB01	0,7	29,2
18/12/2000	1BLIEB00	0,9	67,2
11/16/2010	1BLIE10	1,155	50,7
13/03/2001	2BLIEB01	2,1	66,3
12/10/2010	2BLIES10	2,28	92,7
12/23/2010	3BLIES10	2,36	98,7
06/02/2001	1BLIEB01	2,85	94,9
27/02/1997	1BLIEB97	3,76	190

Tableau 43: Jaugeages utilisés pour l'analyse bayésienne de la station de Bliesbruck sur la Blies

- Bareme de tarage BaRatin

H (cm)	- 0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 5	- 6	- 7	- 8	- 9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
- 10	1,5	1,3	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	
- 0	5,1	4,7	4,3	3,9	3,5	3,2	2,8	2,5	2,1	1,8
0	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,4
10	9,9	10,4	11,0	11,5	12,1	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0
20	15,6	16,2	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5
30	22,1	22,8	23,5	24,3	25,0	25,7	26,4	27,2	27,9	28,7
40	29,4	30,2	30,9	31,7	32,5	32,7	32,9	33,2	33,4	33,7
50	33,9	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,4	35,6	35,9	36,1
60	36,4	36,6	36,9	37,1	37,4	37,7	37,9	38,2	38,4	38,7
70	38,9	39,2	39,5	39,7	40,0	40,2	40,5	40,8	41,0	41,3
80	41,6	41,8	42,1	42,4	42,6	42,9	43,2	43,4	43,7	44,0
90	44,2	44,5	44,8	45,1	45,3	45,6	45,9	46,2	46,4	46,7
100	47,0	47,3	47,6	47,8	48,1	48,4	48,7	49,0	49,2	49,5
110	49,8	50,1	50,4	50,7	51,0	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4
120	52,7	53,0	53,3	53,6	53,9	54,1	54,4	54,7	55,0	55,3
130	55,6	55,9	56,2	56,5	56,8	57,1	57,4	57,7	58,0	58,3
140	58,6	58,9	59,2	59,5	59,9	60,2	60,5	60,8	61,1	61,4
150	61,7	62,0	62,3	62,6	62,9	63,3	63,6	63,9	64,2	64,5
160	64,8	65,1	65,5	65,8	66,1	66,4	66,7	67,0	67,4	67,7
170	68,0	68,3	68,7	69,0	69,3	69,6	70,0	70,3	70,6	70,9
180	71,3	71,6	71,9	72,2	72,6	72,9	73,2	73,6	73,9	74,2
190	74,6	74,9	75,2	75,6	75,9	76,2	76,6	76,9	77,2	77,6
200	77,9	78,3	78,6	78,9	79,3	79,6	80,0	80,3	80,7	81,0
210	81,3	81,7	82,0	82,4	82,7	83,1	83,4	83,8	84,1	84,5
220	84,8	85,2	85,5	85,9	86,2	86,6	86,9	87,3	87,6	88,0
230	88,4	88,7	89,1	89,4	89,8	90,2	90,5	90,9	91,2	91,6
240	92,0	92,3	92,7	93,0	93,4	93,8	94,1	94,5	94,9	95,2
250	95,6	96,0	96,3	96,7	97,1	97,4	97,8	98,2	98,6	98,9
260	99,3	99,7	100,1	100,4	100,8	101,2	101,6	101,9	102,3	102,7
270	103,1	103,4	103,8	104,2	104,6	105,0	105,3	105,7	106,1	106,5
280	106,9	107,3	107,6	108,0	108,4	108,8	109,2	109,6	110,0	110,4
290	110,7	111,1	111,5	111,9	112,3	112,7	113,1	113,5	113,9	114,3
300	114,7	115,1	115,5	115,9	116,2	116,6	117,0	117,4	117,8	118,2
310	118,6	119,0	119,4	119,8	120,3	120,7	121,2	121,8	122,4	122,9
320	123,6	124,2	124,9	125,6	126,3	127,0	127,8	128,6	129,4	130,2
330	131,0	131,8	132,7	133,6	134,5	135,4	136,3	137,3	138,2	139,2
340	140,2	141,2	142,2	143,3	144,3	145,4	146,5	147,6	148,7	149,8

H (cm)	- 0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 5	- 6	- 7	- 8	- 9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
350	150,9	152,1	153,3	154,4	155,6	156,8	158,1	159,3	160,5	161,8
360	163,1	164,3	165,6	166,9	168,3	169,6	170,9	172,3	173,7	175,0
370	176,4	177,8	179,3	180,7	182,1	183,6	185,0	186,5	188,0	189,5
380	191,0	192,5	194,1	195,6	197,1	198,7	200,3	201,9	203,5	205,1
390	206,7	208,3	210,0	211,6	213,3	215,0	216,6	218,3	220,0	221,7
400	223,5	225,2	226,9	228,7	230,5	232,2	234,0	235,8	237,6	239,5
410	241,3	243,1	245,0	246,8	248,7	250,6	252,4	254,3	256,2	258,2
420	260,1	262,0	264,0	265,9	267,9	269,9	271,8	273,8	275,8	277,8
430	279,9	281,9	283,9	286,0	288,0	290,1	292,2	294,3	296,4	298,5
440	300,6	302,7	304,8	307,0	309,1	311,3	313,5	315,6	317,8	320,0
450	322,2	324,4	326,7	328,9	331,1	333,4	335,6	337,9	340,2	342,5
460	344,8	347,1	349,4	351,7	354,0	356,3	358,7	361,0	363,4	365,8
470	368,2	370,5	372,9	375,3	377,8	380,2	382,6	385,1	387,5	390,0
480	392,4	394,9	397,4	399,9	402,4	404,9	407,4	409,9	412,4	415,0
490	417,5	420,1	422,6	425,2	427,8	430,4	433,0	435,6	438,2	440,8
500	443,4	446,1	448,7	451,4	454,0	456,7	459,4	462,1	464,8	467,5
510	470,2	472,9	475,6	478,4	481,1	483,9	486,6	489,4	492,1	494,9
520	497,7	500,5	503,3	506,1	508,9	511,8	514,6	517,5	520,3	523,2
530	526,0	528,9	531,8	534,7	537,6	540,5	543,4	546,3	549,2	552,2
540	555,1	558,1	561,0	564,0	567,0	569,9	572,9	575,9	578,9	581,9
550	585,0	588,0	591,0	594,1	597,1	600,2	603,2	606,3	609,4	612,5
560	615,6	618,7	621,8	624,9	628,0	631,1	634,3	637,4	640,6	643,7
570	646,9	650,1	653,2	656,4	659,6	662,8	666,0	669,3	672,5	675,7
580	679,0	682,2	685,5	688,7	692,0	695,3	698,5	701,8	705,1	708,4
590	711,7	715,1	718,4	721,7	725,1	728,4	731,8	735,1	738,5	741,9
600	745,2	748,6	752,0	755,4	758,8	762,3	765,7	769,1	772,5	776,0

Tableau 44: Bareme de tarage de la station de Bliesbruck sur la Blies