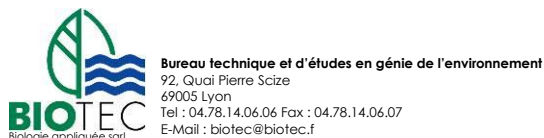


RETABLISSEMENT DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE ET RESTAURATION PHYSIQUE SUR LE VALERE (COMMUNE DE SAINT BONNET DE VALCLERIEUX)

MISSION DE CONCEPTION, NIVEAU AVANT-PROJET - ETUDE HYDRAULIQUE

NOTE TECHNIQUE– doc. n°15.135-EH-01

Note relative à l'étude hydraulique



► Rappel du contexte et des objectifs

Dans le cadre du projet de restauration de la continuité écologique et de renaturation de la rivière Valéré à Saint-Bonnet-de-Valclerieux au droit d'un tronçon profondément incisé, il est envisagé l'aménagement du lit vif et ce dans l'impératif de se rapprocher de sa pente d'équilibre naturelle. L'opération va nécessiter de travailler au **rehaussement du lit** (mise en place d'une couche de matériaux argilo-terreux et d'une couche de l'ordre de 50 cm de matériaux alluvionnaires) complété par la mise en place d'une série de rides de blocs. Enfin, le **reprofilage des berges selon un profil doux en rive convexe** (de manière à respecter les modèles naturels) participera à créer les conditions nécessaires à la déperdition d'énergie et ce dans le but de maintenir le matelas alluvial en place.

Afin de mettre évidence les éventuels gains hydrauliques et morphologiques permis par l'opération puis de s'assurer de la nécessité de mettre en œuvre des structures de type rides de blocs puis de confirmer leur bon dimensionnement (choix de la blocométrie en particulier), une étude hydraulique a été conduite. La démarche engagée et les résultats obtenus sont l'objet de la présente note.

► Hydrologie du Valéré

En mars 2014, une étude hydraulique a été réalisée par les bureaux Corridor et HTV dans le cadre d'une première maîtrise d'œuvre sur la restauration physique du Valéré à Saint-Bonnet-de-Valclerieux. A l'époque, au droit du site d'intervention le bassin versant avait été estimé à 15.56 km² ; cette valeur est confirmée et sera utilisée au cours de la démonstration à suivre. L'Herbasse, située à proximité, dispose quant à elle d'une station de jaugeage sur la commune de Clérieux (W3534020 ; bassin versant de 187 km²). Les données disponibles sont les suivantes :

- Etiage quinquennal : $QMNA5 = 0.390 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Etiage moyen : $QE = 0.561 \text{ m}^3/\text{s}$
- Module : $QM = 1.46 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue biennale : $Q_2 = 48 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue quinquennale : $Q_5 = 83 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue décennale : $Q_{10} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue vicennale : $Q_{30} = 130 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue cinquantenale : $Q_{50} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conformément à la méthode pratiquée en 2014, une extrapolation des débits caractéristiques du Valéré au droit de Saint-Bonnet-de-Valclérieux a été réalisée à partir de la formule de Myer (voir ci-dessous) et des mesures faites sur l'Herbasse.

$$\frac{Q_{Herbasse}}{Q_{Valéré}} = \left(\frac{S_{Herbasse}}{S_{Valéré}} \right)^{0.75}$$

Une vérification de cette extrapolation a été réalisée en s'appuyant sur les mesures faites sur la Barberolle à Barbières (station DREAL V4015030) qui, si elle n'est pas dans le voisinage immédiat du site étudié, présente en revanche un bassin versant avec des caractéristiques géométriques (surface, pente) et d'occupation du sol proches de celles du Valéré à Saint-Bonnet-de-Valclérieux. Les résultats obtenus sont eux aussi proposés dans le tableau de la figure n°1 ci-dessous.

Débits caractéristiques	Valeurs calculées à partir de l'extrapolation des mesures faites sur la Barberolle	Valeurs calculées à partir de l'extrapolation des mesures faites sur l'Herbasse
Etiage quinquennal (QMNA5)	0.02 m³/s	0.06 m³/s
Etiage moyen (QE)	0.04 m³/s	0.09 m³/s
Module (QM)	0.22 m³/s	0.23 m³/s
Crue biennale (Q ₂)	7.2 m³/s	7.4 m³/s
Crue quinquennale (Q ₅)	12.1 m³/s	12.9 m³/s
Crue décennale (Q ₁₀)	15.8 m³/s	17.1 m³/s
Crue vingtennale (Q ₂₀)	18.7 m³/s	20.1 m³/s
Crue cinquantennale (Q ₅₀)	23.0 m³/s	24.8 m³/s

Figure 1. Extrapolation, au droit du Valéré à Saint-Bonnet-de-Valclérieux, des débits caractéristiques calculés par la DREAL sur les stations de l'Herbasse (W3534020) et de la Barberolle (V4015030).

Afin de caler le modèle hydraulique, les débits du Valéré le jour des investigations topographiques (18 Février 2016) ont été estimés selon la même méthodologie et sont proposés dans la figure n°2 ci-dessous.

Débits caractéristiques	Valeurs calculées à partir de l'extrapolation des mesures faites sur la Barberolle	Valeurs calculées à partir de l'extrapolation des mesures faites sur l'Herbasse
Débit le 18 Février 2016	0.18 m³/s	0.19 m³/s

Figure 2. Extrapolation, au droit du Valéré à Saint-Bonnet-de-Valclérieux, des mesures faites par la DREAL sur les stations de l'Herbasse (W3534020) et de la Barberolle (V4015030), le 18 février 2016.

Remarque : afin de caler encore un peu mieux cette approche hydrologique, il conviendrait de réaliser une ou plusieurs mesures hydrologiques sur le Valéré.

► Présentation du modèle

- Topographie utilisée

La modélisation a été réalisée à partir de la topographie réalisée le 18 Février 2016. Elle comporte, pour l'état actuel, 30 profils en travers situés entre les ponts de Solage et de la RD67A, soit sur environ 1500 m (voir implantation sur la figure n°3). La modélisation de l'état projeté s'appuie sur 30 profils en travers supplémentaires permettant d'intégrer les rides de blocs.

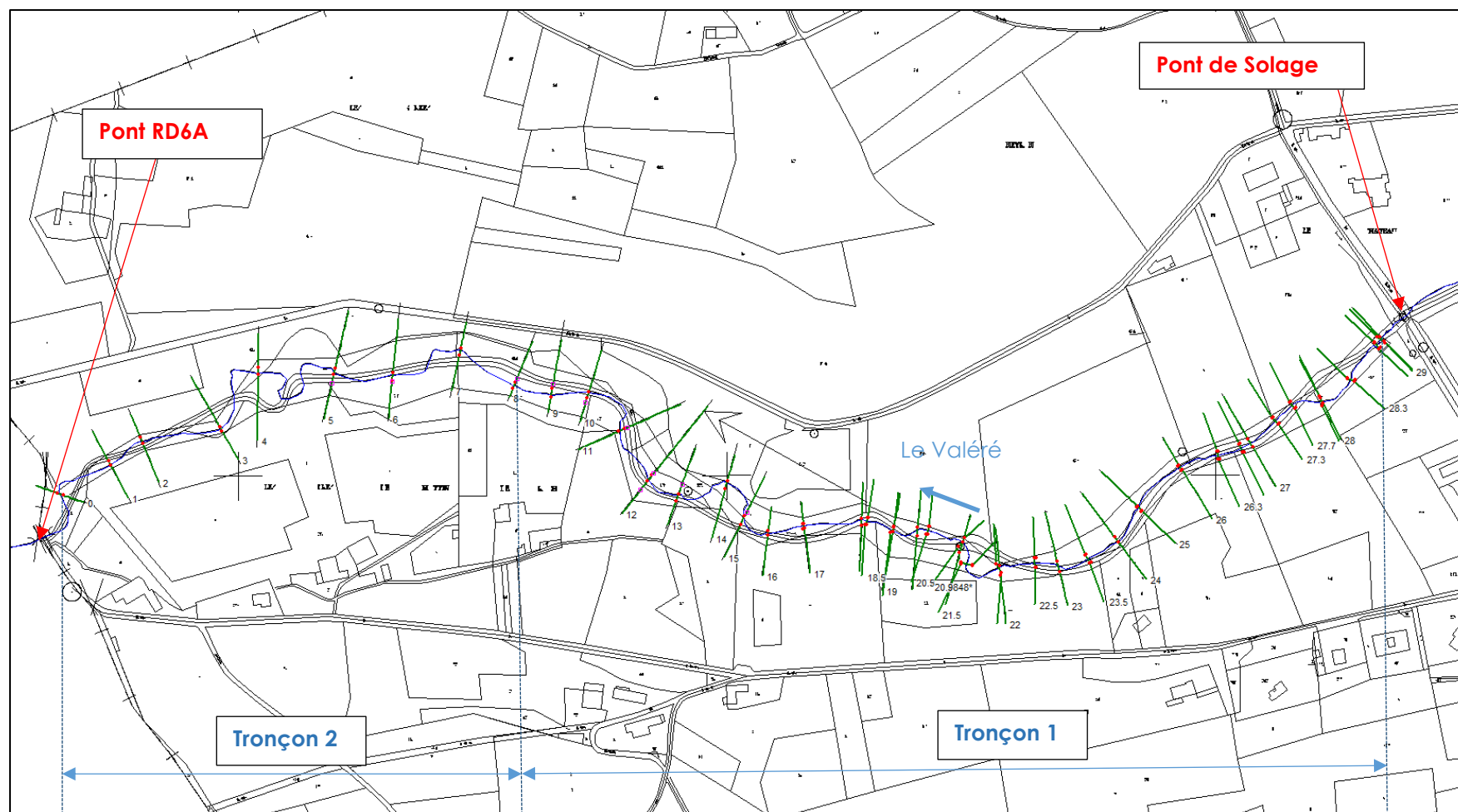


Figure 3. Implantation des profils en travers (en vert) et des ouvrages modélisés.

- Principe de la modélisation et définition des coefficients de Strickler

Le modèle de l'état actuel a été calé à partir de la ligne d'eau mesurée le 18 Février 2016, en considérant que le débit est alors dans la gamme [200 ; 300 l/s]. En retenant un coefficient de rugosité assez proche de ce qu'on observe habituellement sur ce type de cours d'eau (Strickler de 20), les écarts entre les lignes d'eau calculées et mesurées sont tout à fait acceptables :

- Ecart moyen : 4 à 5 cm ;
- Ecart max : 16 à 20 cm

► Principaux résultats

- A propos du découpage du lit mineur

Considérant les objectifs de la modélisation (évaluation des débits de plein bord, calcul des vitesses et forces tractrices puis du diamètre des matériaux mobilisables), **le Valéré sera considéré selon son seul lit mineur**. Si, pour la problématique des débits faibles, cette approche est évidente, il convient de rappeler que c'est pour des débits de plein bord que les forces tractrices sont généralement les plus fortes (voir figure n°4 suivante).

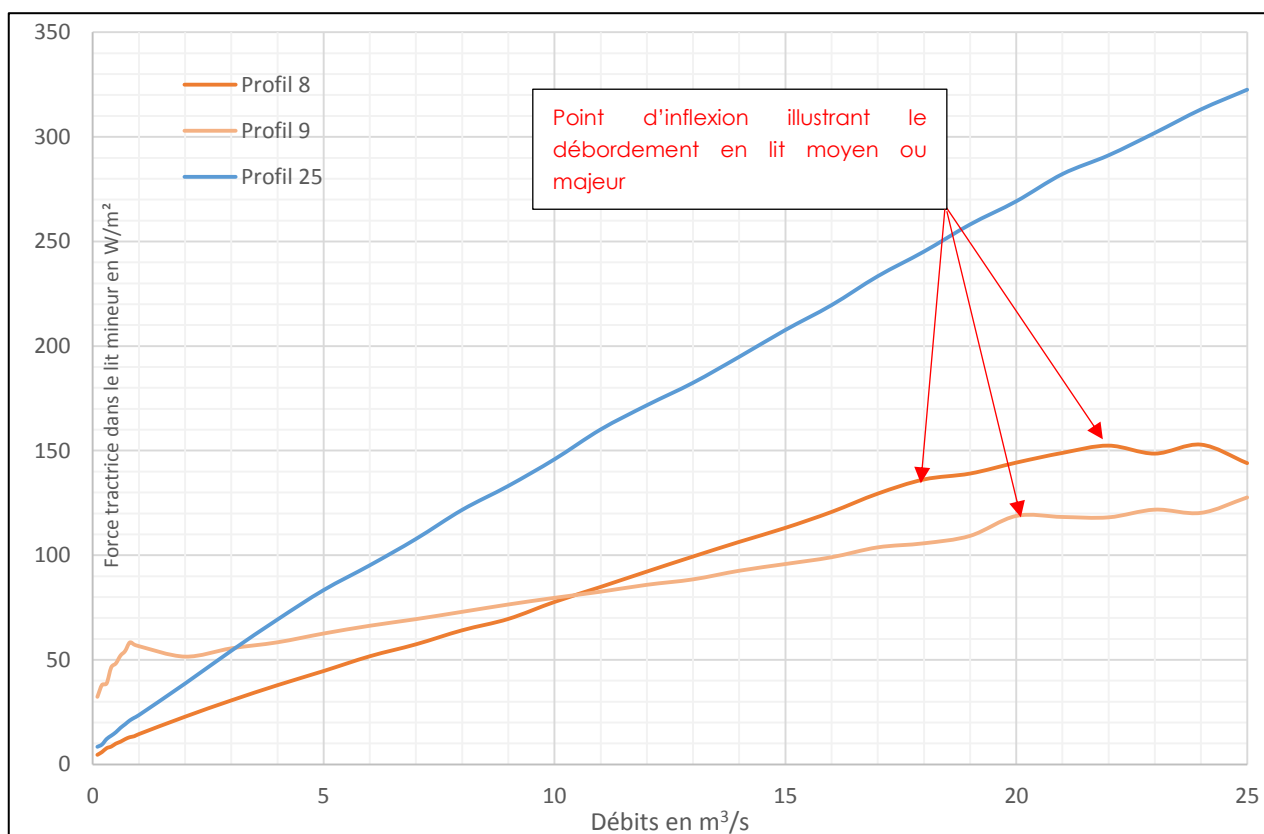


Figure 4. Evolution de la Force tractrice dans le lit mineur en fonction du débit pour 3 profils modélisés sur le Valéré

La figure n°4 ci-dessus illustre les points d'inflexion opérés par la courbe représentant la contrainte tangentielle en fonction du débit, notamment pour les profils en travers 8 et 9 (voir implantation en annexe 1). Il a été vérifié qu'ils correspondaient effectivement aux débits où le cours d'eau devient débordant (vers son lit moyen dans ce cas, le lit majeur étant le plus souvent « perché »).

A contrario, un profil en travers ne présentant plus de débordement du fait de son incision, par exemple le profil 25 (en bleu sur la figure ci-dessus), verra sa contrainte tangentielle évoluer sans inflexion. Les valeurs atteintes (donc les contraintes sur le lit et les berges) seront par ailleurs nettement plus importantes que dans les cas où des débordements surviennent.

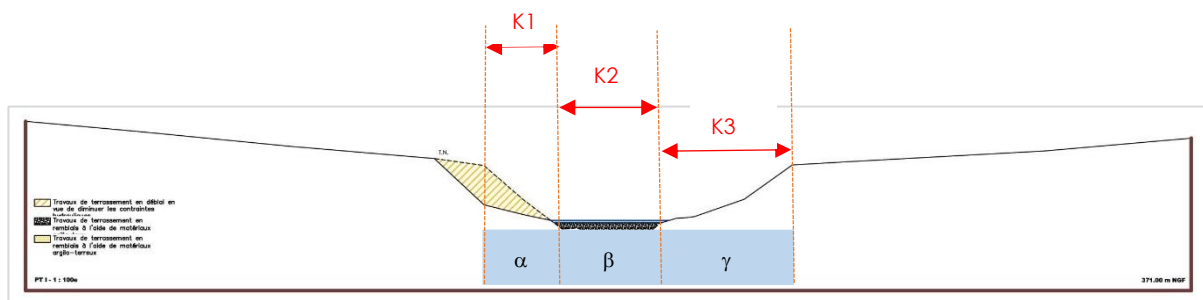


Figure 5. Principes de découpage du lit mineur du Valéré, dans sa géométrie actuelle, mis en œuvre pour répondre à une problématique de calcul de forces tractrices et de résistance d'aménagements aux contraintes liées aux écoulements.

Cette méthode (modélisation à plein bord et redéfinition des Stricklers-K1,K2 et K3- selon la figure n°4 ci-dessus) permettra d'obtenir une vitesse, une force tractrice et les paramètres qui en découlent pour chacune des trois zones α , β , et γ . Entre les états actuels et projetés, le coefficient de Strickler n'a pas été modifié.

- A propos du débit de plein bord et de ses évolutions après aménagement

Le débit de plein bord est une grandeur variable sur le linéaire de Valéré étudié, il a été fait le choix de modéliser une gamme de débits allant de 0.1 m³/s (soit un débit compris entre l'étiage moyen et le module) à 25 m³/s (période de retour centennale) avec un pas de temps de 0.1 puis de 1 m³/s. Une première étape a consisté à identifier des tronçons dits « homogènes ». La figure n°6 ci-dessous a été établie dans cette optique.

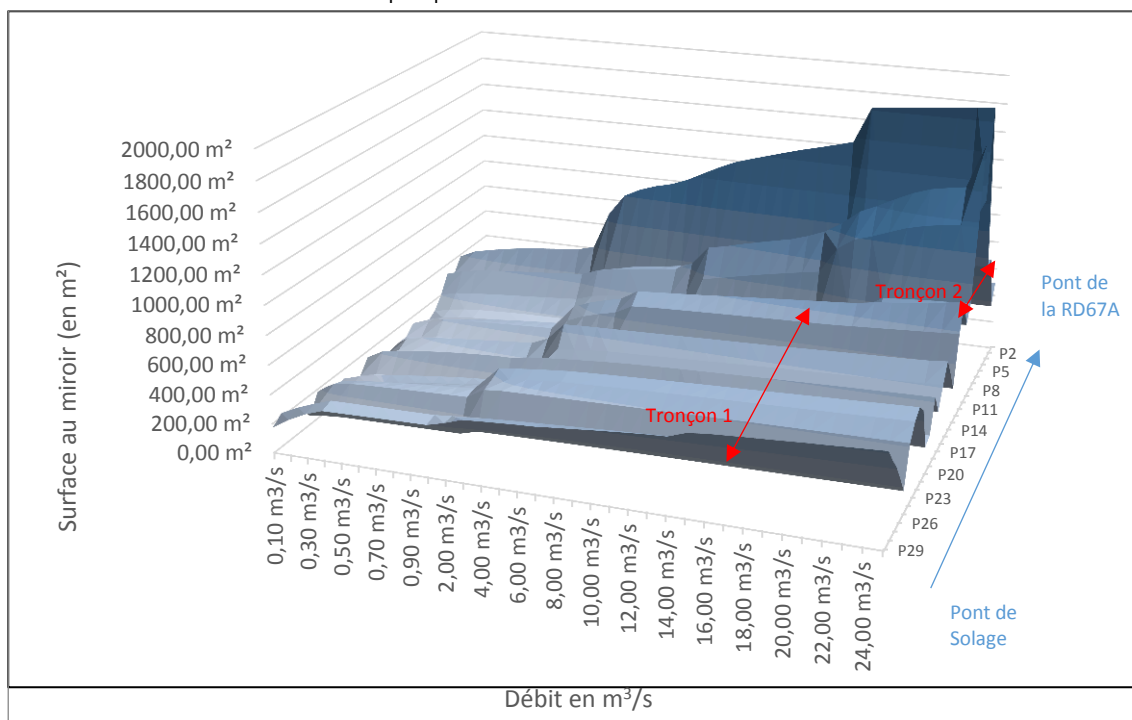


Figure 6. Evolution de la surface au miroir (surface mouillée) en fonction du débit pour chaque profil en travers modélisé

Sur cette partie de Valéré, deux tronçons peuvent être désignés, avec des comportements bien distincts :

- Le tronçon 1 (entre les profils P29 et P8 et correspondant au secteur amont de l'étude) voit sa surface mouillée évoluer de façon constante et faiblement (en comparaison avec le tronçon 2) ce qui illustre, là encore, l'absence de débordement vers un lit moyen ou majeur ;
- Le tronçon 2 (de P8 à P5 et correspondant au secteur aval) est caractérisé par au moins deux ruptures brutales et par une augmentation plus significative de la surface mouillée, permise par les débordements en lits moyen et majeur.

Si on représente désormais la surface mouillée en fonction du débit mais pour ces deux tronçons homogènes uniquement (voir figure n°7 ci-après), on constatera que le tronçon 1 profondément incisé, ne bénéficie d'aucun débordement possible ce qui est évidemment hautement défavorable d'un point de vue hydraulique (pas de ralentissement dynamique et donc contraintes maximales), morphologique (pas de dissipation de l'énergie et donc accentuation de l'incision jusqu'au substratum et évidemment absence de zones de dépôt de sédiments – courbe à mettre en relation avec celle de la figure n°3) et écologique (déconnexion et sous-alimentation des milieux humides des lits moyens et majeurs). Le tronçon 2, quant à lui, fait l'objet de trois zones d'augmentation brutales (pointillés rouges) correspondant à un fonctionnement « classique » de cours d'eau, selon des lits imbriqués.

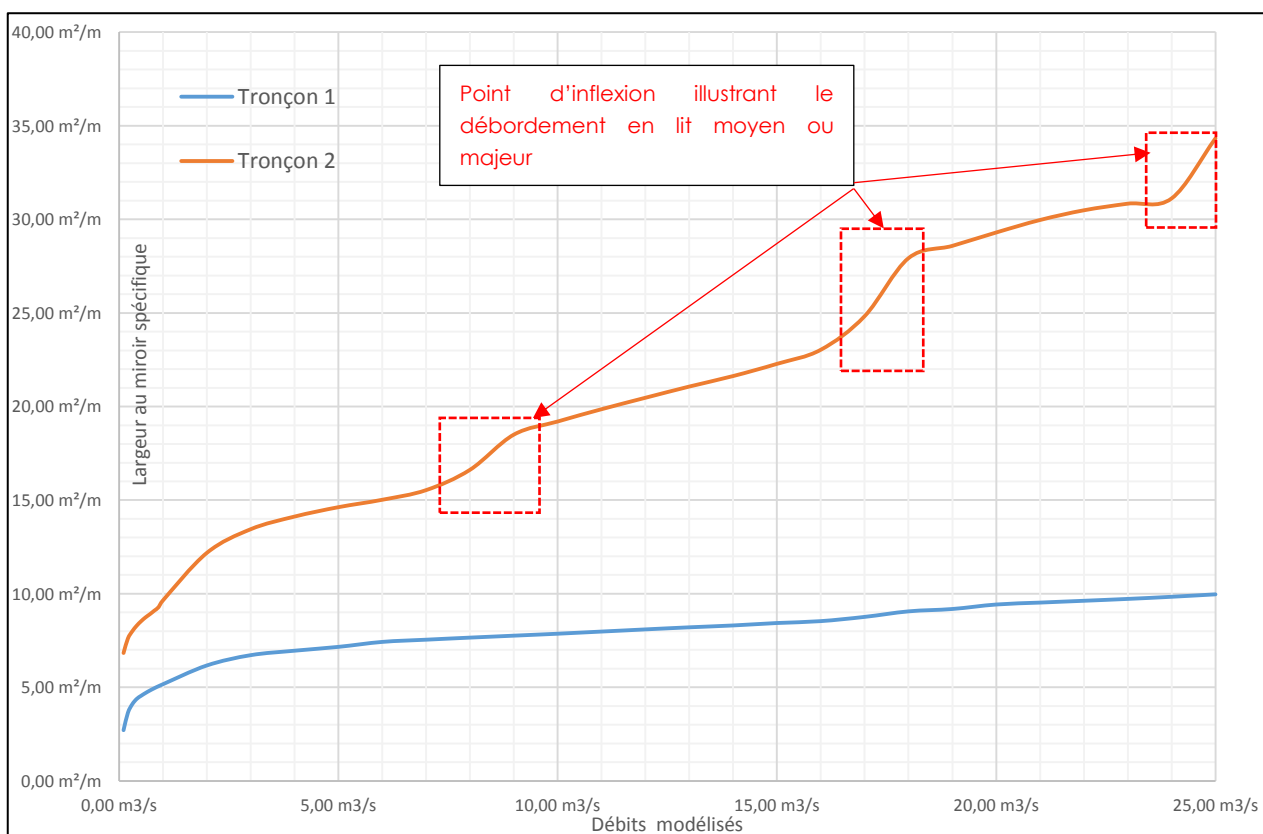


Figure 7. Evolution de la surface au miroir (surface mouillée), dans l'état actuel, en fonction du débit pour chacun des deux tronçons homogènes

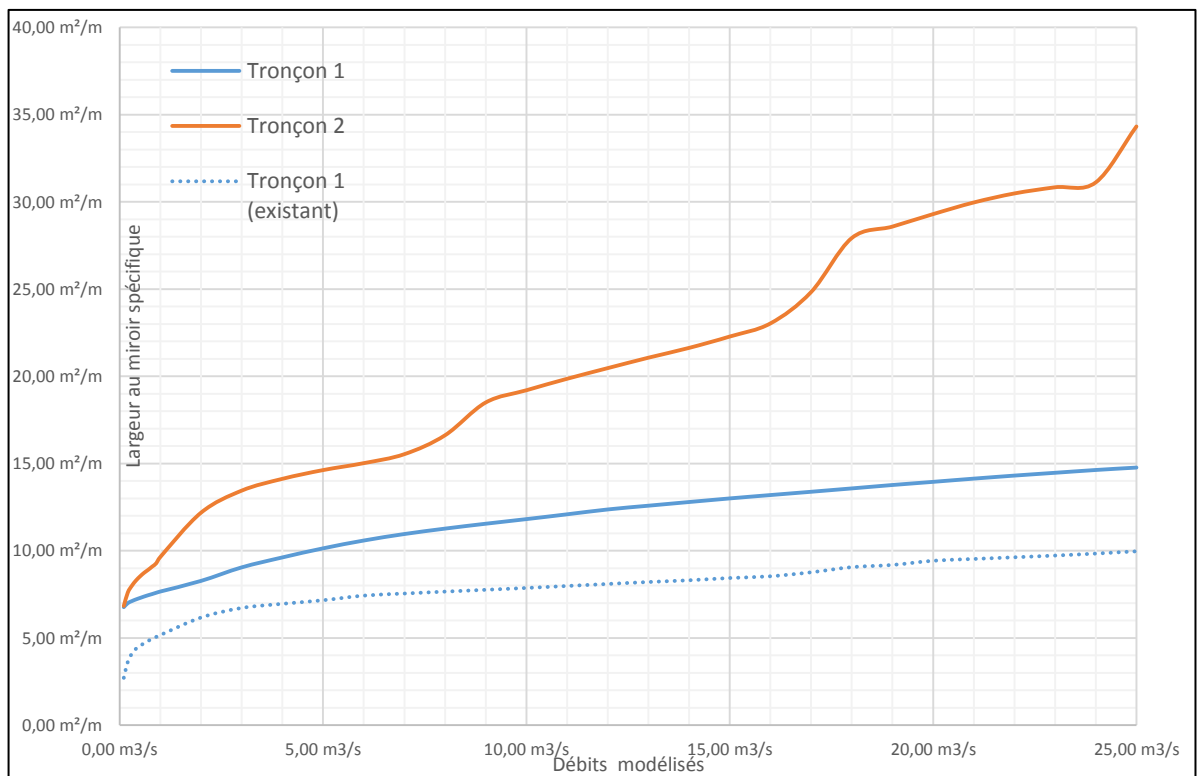


Figure 8. Evolution de la surface au miroir (surface mouillée), **dans l'état projeté**, en fonction du débit pour chacun des deux tronçons homogènes

La figure n°7 ci-avant illustre les évolutions en termes de surface mouillée permises par le projet. On constatera que le tronçon 1, dont une bonne partie bénéficiera de réhausse du lit et de reprofilage selon des modèles plus naturels, voit effectivement sa surface mouillée en crue évoluer positivement (augmentation de l'étalement) sans atteindre, cependant, l'état de référence constitué par le tronçon 2 (en orange sur les figures 7 et 8).

On pourra aussi se reporter à la figure n°9 pour constater les évolutions précédemment évoquées sur un des profils du tronçon 1 (profil 24) et l'état de référence constitué par le profil 5.

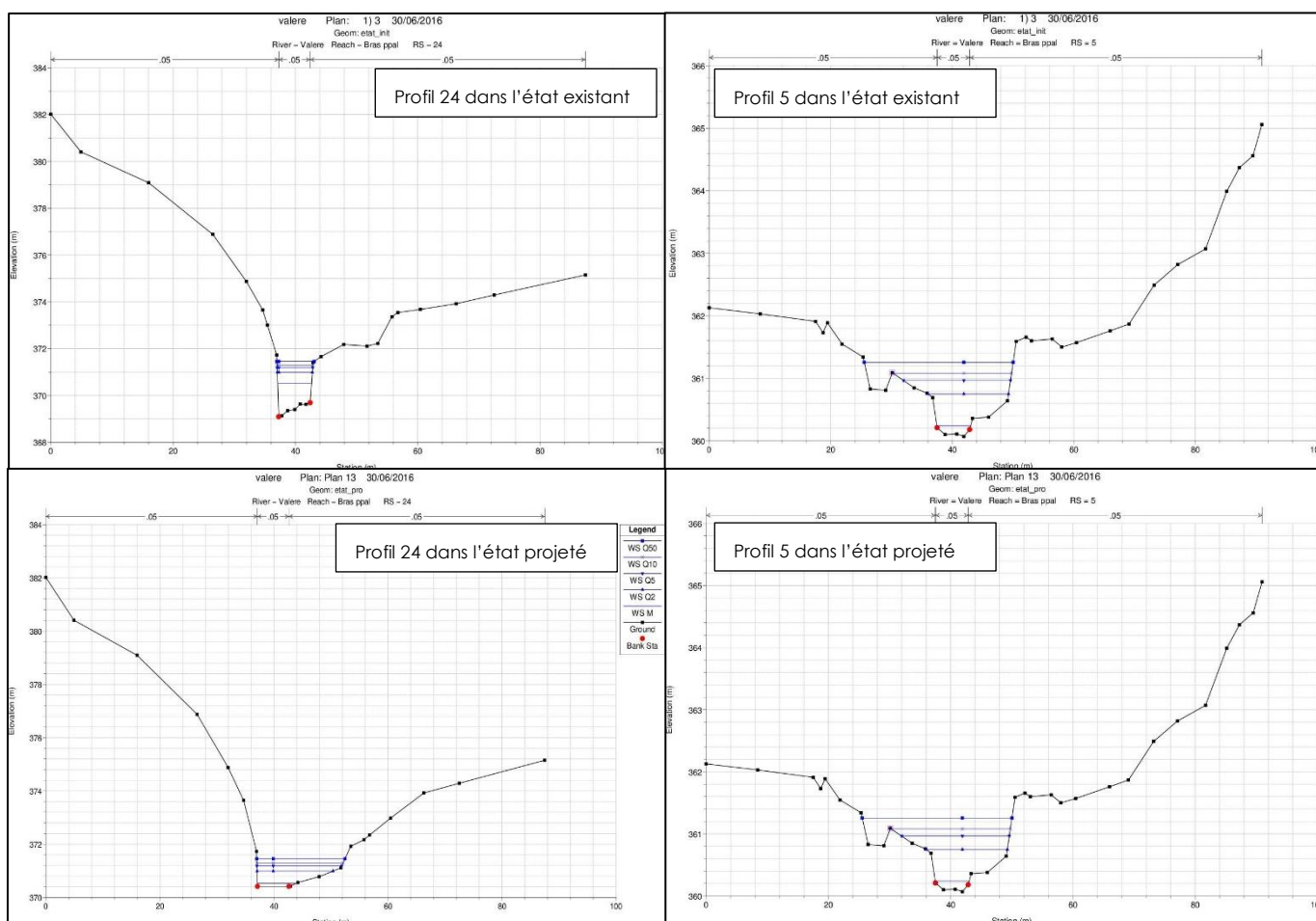


Figure 9. Evolutions de l'étalement en crue sur deux des profils en travers modélisés

Le profil caractéristique du tronçon 1 (Profil 24), à la faveur des travaux ambitieux, bénéficie d'un meilleur étalement en crue, corollaire d'une dissipation d'énergie qui réduira les processus d'incision.

- *A propos des vitesses, contraintes tangentielles, substrats mobilisables et de leurs évolutions après aménagement*

Ces paramètres ont été étudiés pour trois situations hydrologiques :

- Le module qui correspond aux débits moyens annuel ;
- le débit de pointe biennal qui de par sa fréquence et les énergies dépensées est généralement considéré comme morphogène ;
- le débit de pointe exceptionnel (centennal) qui, dans cette configuration encaissée, sera inévitablement à l'origine des vitesses et contraintes les plus élevées (voir figure 3).

Les ouvrages envisagés étant principalement transversaux et dans le lit vif, sous forme de rides de blocs, le tableau de synthèse ci-après (figure n°8) ne propose que les résultats de ce compartiment (compartiment β sur la figure n°4). Pour mémoire, la force tractrice traduit l'énergie imposée par l'écoulement liquide aux berges et lit, elle s'exprime selon la formule suivante : $\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot J$, où τ est la force tractrice en N/m^2 , ρ la masse volumique de l'eau, g l'accélération de la pesanteur, R_h le rayon hydraulique en m, J la pente de la ligne d'énergie en m/m.

Le D_{50} correspond au diamètre minimum du substrat ou des blocs (rides) avant arrachement et répond à la formule suivante (formule de Shields) :

$$\tau_c = \frac{J \cdot R_h}{(s - 1) \cdot D_{50}}$$

où τ est la force tractrice critique avant arrachement, égale à 0.03 selon le diagramme de Shields¹, s la densité des matériaux considérés, R_h le rayon hydraulique en m, J la pente de la ligne d'énergie en m/m, D_{50} le diamètre médian des blocs ou éléments du substrat.

La figure n°11 proposée sur la page suivante permet de mettre en évidence les points suivants :

- **les aménagements envisagés apportent une véritable amélioration de la situation** puisqu'ils assurent un abaissement de la contrainte tangentielle (voir figure ci-dessous) ;
- **les contraintes tangentielles observées nécessitent néanmoins la mise en œuvre de dispositifs de stabilisation** de type ride de blocs de manière à « tenir » le profil en long (la valeur seuil de 350 N/m² étant habituellement retenue) ;
- **Le dimensionnement des rides de blocs proposé au stade Avant-Projet (blocs de 60 à 70 cm de diamètre) est conforme aux contraintes observées** puisque pour un événement exceptionnel (centennal) la moyenne des diamètres des matériaux mobilisables est de 35 cm pour un maximum porté à 68 cm) ;

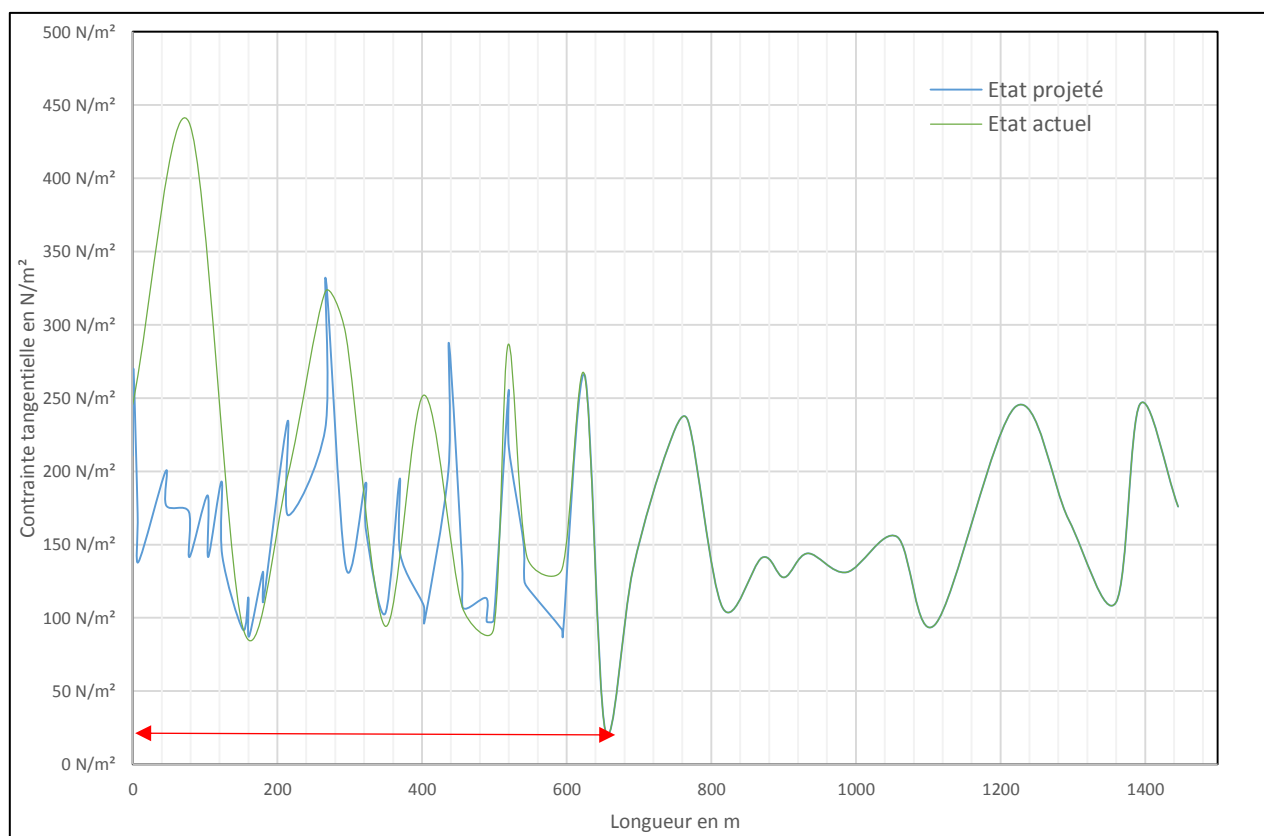


Figure 10. Evolution de la force tractrice sur le tronçon de Valéré modélisé, pour une crue d'ordre centennal et dans les états actuels et projeté (en rouge le secteur concerné par l'intervention)

¹ Philippe Ramez, 1995, *Erosion et transport solide en rivière*, page 38.

		Débit de pointe centennal					Débit de pointe biennal					Module				
Profils	Rides	Pente d'énergie	Rh	τ	D ₅₀	V	Pente d'énergie	Rh	τ	D ₅₀	V	Pente d'énergie	Rh	τ	D ₅₀	V
P29	R1	0.021695	0.99	211 N/m²	0.43 m	2.92 m/s	0.026729	0.48	126 N/m²	0.26 m	2.01 m/s	0.058456	0.07	40 N/m²	0.08 m	0.83 m/s
	R1	0.029234	0.94	270 N/m²	0.56 m	3.29 m/s	0.053276	0.4	209 N/m²	0.43 m	2.53 m/s	0.013884	0.11	15 N/m²	0.03 m	0.54 m/s
P28.7	R2	0.015606	1.12	171 N/m²	0.35 m	2.70 m/s	0.020603	0.54	109 N/m²	0.22 m	1.89 m/s	0.058954	0.07	40 N/m²	0.08 m	0.84 m/s
	R2	0.011263	1.25	138 N/m²	0.28 m	2.46 m/s	0.009874	0.67	65 N/m²	0.13 m	1.52 m/s	0.005773	0.14	8 N/m²	0.02 m	0.42 m/s
P28.3	R3	0.019214	1.06	200 N/m²	0.41 m	2.88 m/s	0.023407	0.51	117 N/m²	0.24 m	1.95 m/s	0.058404	0.07	40 N/m²	0.08 m	0.84 m/s
	R3	0.015798	1.14	177 N/m²	0.36 m	2.74 m/s	0.010967	0.64	69 N/m²	0.14 m	1.55 m/s	0.006026	0.14	8 N/m²	0.02 m	0.42 m/s
P28	R4	0.016904	1.04	172 N/m²	0.36 m	2.67 m/s	0.02291	0.5	112 N/m²	0.23 m	1.89 m/s	0.057915	0.07	40 N/m²	0.08 m	0.84 m/s
	R4	0.012439	1.16	142 N/m²	0.29 m	2.46 m/s	0.011426	0.62	69 N/m²	0.14 m	1.55 m/s	0.006826	0.14	9 N/m²	0.02 m	0.44 m/s
P27.7	R5	0.017826	1.05	184 N/m²	0.38 m	2.75 m/s	0.021924	0.51	110 N/m²	0.23 m	1.88 m/s	0.05987	0.07	41 N/m²	0.08 m	0.83 m/s
	R5	0.012228	1.18	142 N/m²	0.29 m	2.47 m/s	0.010324	0.64	65 N/m²	0.13 m	1.50 m/s	0.006532	0.14	9 N/m²	0.02 m	0.43 m/s
P27.3	R6	0.01911	1.03	193 N/m²	0.40 m	2.82 m/s	0.027703	0.47	128 N/m²	0.26 m	2.01 m/s	0.059814	0.07	41 N/m²	0.08 m	0.81 m/s
	R6	0.0124	1.17	142 N/m²	0.29 m	2.48 m/s	0.011435	0.61	68 N/m²	0.14 m	1.54 m/s	0.010949	0.11	12 N/m²	0.02 m	0.49 m/s
P27		0.007451	1.26	92 N/m²	0.19 m	2.02 m/s	0.012025	0.57	67 N/m²	0.14 m	1.51 m/s	0.009537	0.11	10 N/m²	0.02 m	0.46 m/s
P26.7	R7	0.009075	1.28	114 N/m²	0.23 m	2.24 m/s	0.031394	0.45	139 N/m²	0.29 m	2.08 m/s	0.061055	0.07	42 N/m²	0.09 m	0.81 m/s
	R7	0.006056	1.47	87 N/m²	0.18 m	2.01 m/s	0.007849	0.68	52 N/m²	0.11 m	1.37 m/s	0.00519	0.14	7 N/m²	0.01 m	0.39 m/s
P26.3	R8	0.009431	1.42	131 N/m²	0.27 m	2.45 m/s	0.009043	0.7	62 N/m²	0.13 m	1.50 m/s	0.05838	0.07	40 N/m²	0.08 m	0.85 m/s
	R8	0.007477	1.53	112 N/m²	0.23 m	2.30 m/s	0.005634	0.81	45 N/m²	0.09 m	1.31 m/s	0.004122	0.16	6 N/m²	0.01 m	0.38 m/s
P26	R9	0.019067	1.25	234 N/m²	0.48 m	3.20 m/s	0.023902	0.61	143 N/m²	0.29 m	2.22 m/s	0.054732	0.09	48 N/m²	0.10 m	0.92 m/s
	R9	0.011632	1.49	170 N/m²	0.35 m	2.82 m/s	0.008908	0.83	73 N/m²	0.15 m	1.66 m/s	0.005617	0.17	9 N/m²	0.02 m	0.47 m/s
P25	R10	0.018687	1.25	229 N/m²	0.47 m	3.18 m/s	0.027209	0.57	152 N/m²	0.31 m	2.27 m/s	0.055148	0.09	49 N/m²	0.10 m	0.92 m/s
	R10	0.029541	1.14	330 N/m²	0.68 m	3.76 m/s	0.063138	0.46	285 N/m²	0.59 m	2.98 m/s	0.246794	0.05	121 N/m²	0.25 m	1.44 m/s
P24		0.013241	1.04	135 N/m²	0.28 m	2.37 m/s	0.011862	0.58	67 N/m²	0.14 m	1.51 m/s	0.008198	0.14	11 N/m²	0.02 m	0.48 m/s
P23.5	R11	0.021485	0.91	192 N/m²	0.39 m	2.76 m/s	0.029694	0.43	125 N/m²	0.26 m	1.96 m/s	0.059592	0.07	41 N/m²	0.08 m	0.80 m/s
	R11	0.016085	1.01	159 N/m²	0.33 m	2.55 m/s	0.058997	0.36	208 N/m²	0.43 m	2.45 m/s	0.140297	0.05	69 N/m²	0.14 m	1.03 m/s
P23		0.009791	1.07	103 N/m²	0.21 m	2.07 m/s	0.008032	0.57	45 N/m²	0.09 m	1.23 m/s	0.005201	0.12	6 N/m²	0.01 m	0.36 m/s
P22.5	R12	0.023884	0.83	194 N/m²	0.40 m	2.74 m/s	0.030511	0.39	117 N/m²	0.24 m	1.88 m/s	0.062367	0.06	37 N/m²	0.08 m	0.77 m/s
	R12	0.015082	0.97	144 N/m²	0.30 m	2.40 m/s	0.012928	0.51	65 N/m²	0.13 m	1.46 m/s	0.005921	0.12	7 N/m²	0.01 m	0.38 m/s
P22	R13	0.010817	1.02	108 N/m²	0.22 m	2.11 m/s	0.01467	0.49	71 N/m²	0.15 m	1.51 m/s	0.060423	0.07	41 N/m²	0.09 m	0.80 m/s
	R13	0.008782	1.13	97 N/m²	0.20 m	2.03 m/s	0.008409	0.6	49 N/m²	0.10 m	1.30 m/s	0.006074	0.13	8 N/m²	0.02 m	0.40 m/s
P21.5	R14	0.023771	0.86	201 N/m²	0.41 m	2.79 m/s	0.032198	0.39	123 N/m²	0.25 m	1.91 m/s	0.049311	0.06	29 N/m²	0.06 m	0.70 m/s
	R14	0.03794	0.77	287 N/m²	0.59 m	3.27 m/s	0.012634	0.51	63 N/m²	0.13 m	1.44 m/s	0.006676	0.11	7 N/m²	0.01 m	0.39 m/s
P21	R15	0.015025	0.92	136 N/m²	0.28 m	2.32 m/s	0.021839	0.42	90 N/m²	0.19 m	1.66 m/s	0.06356	0.06	37 N/m²	0.08 m	0.74 m/s
	R15	0.010478	1.04	107 N/m²	0.22 m	2.10 m/s	0.009321	0.55	50 N/m²	0.10 m	1.29 m/s	0.005761	0.12	7 N/m²	0.01 m	0.36 m/s
P20.5	R16	0.010522	1.1	114 N/m²	0.23 m	2.19 m/s	0.019385	0.48	91 N/m²	0.19 m	1.71 m/s	0.060166	0.07	41 N/m²	0.09 m	0.80 m/s
	R16	0.008197	1.21	97 N/m²	0.20 m	2.06 m/s	0.009555	0.6	56 N/m²	0.12 m	1.39 m/s	0.011141	0.11	12 N/m²	0.02 m	0.48 m/s
P20		0.008093	1.24	98 N/m²	0.20 m	2.07 m/s	0.00933	0.61	56 N/m²	0.11 m	1.39 m/s	0.006147	0.14	8 N/m²	0.02 m	0.41 m/s
P19	R17	0.025603	1	251 N/m²	0.52 m	3.20 m/s	0.022515	0.52	115 N/m²	0.24 m	1.94 m/s	0.04903	0.09	43 N/m²	0.09 m	0.91 m/s
	R17	0.020036	1.1	216 N/m²	0.45 m	3.02 m/s	0.013523	0.63	84 N/m²	0.17 m	1.71 m/s	0.007852	0.16	12 N/m²	0.03 m	0.53 m/s
P18.5	R18	0.013842	1.12	152 N/m²	0.31 m	2.53 m/s	0.021699	0.53	113 N/m²	0.23 m	1.92 m/s	0.055904	0.08	44 N/m²	0.09 m	0.88 m/s
	R18	0.010638	1.23	128 N/m²	0.26 m	2.36 m/s	0.011064	0.65	71 N/m²	0.15 m	1.57 m/s	0.004202	0.17	7 N/m²	0.01 m	0.40 m/s
P18		0.010308	1.2	121 N/m²	0.25 m	2.29 m/s	0.013343	0.59	77 N/m²	0.16 m	1.63 m/s	0.006314	0.15	9 N/m²	0.02 m	0.45 m/s
P17	R19	0.006207	1.51	92 N/m²	0.19 m	2.07 m/s	0.010205	0.7	70 N/m²	0.14 m	1.59 m/s	0.051677	0.1	51 N/m²	0.10 m	0.96 m/s
	R19	0.00556	1.6	87 N/m²	0.18 m	2.04 m/s	0.007294	0.8	57 N/m²	0.12 m	1.48 m/s	0.009412	0.17	16 N/m²	0.03 m	0.58 m/s
P16		0.018823	1.44	266 N/m²	0.55 m	3.51 m/s	0.02264	0.73	162 N/m²	0.33 m	2.44 m/s	0.033566	0.13	43 N/m²	0.09 m	0.94 m/s
P15		0.001403	1.69	23 N/m²	0.05 m	1.06 m/s	0.002874	0.73	21 N/m²	0.04 m	0.87 m/s	0.004299	0.15	6 N/m²	0.01 m	0.36 m/s
P14		0.008754	1.55	133 N/m²	0.27 m	2.50 m/s	0.009893	0.7	68 N/m²	0.14 m	1.57 m/s	0.039167	0.13	50 N/m²	0.10 m	0.99 m/s
P13		0.016687	1.32	216 N/m²	0.44 m	3.11 m/s	0.011915	0.7	82 N/m²	0.17 m	1.71 m/s	0.004932	0.25	12 N/m²	0.02 m	0.56 m/s
P12		0.021534	1.11	234 N/m²	0.48 m	3.15 m/s	0.012993	0.64	82 N/m²	0.17 m	1.69 m/s	0.00699	0.14	10 N/m²	0.02 m	0.46 m/s
P11		0.008781	1.24	107 N/m²	0.22 m	2.16 m/s	0.014599	0.58	83 N/m²	0.17 m	1.69 m/s	0.050923	0.13	65 N/m²	0.13 m	1.15 m/s
P10		0.010201	1.41	141 N/m²	0.29 m	2.54 m/s	0.008736	0.75	64 N/m²	0.13 m	1.55 m/s	0.003254	0.22	7 N/m²	0.01 m	0.42 m/s
P9		0.009856	1.32	128 N/m²	0.26 m	2.39 m/s	0.011062	0.64	69 N/m²	0.14 m	1.56 m/s	0.059133	0.08	46 N/m²	0.10 m	0.90 m/s
P8		0.010875	1.35	144 N/m²	0.30 m	2.55 m/s	0.007504	0.78	57 N/m²	0.12 m	1.47 m/s	0.004829	0.18	9 N/m²	0.02 m	0.45 m/s
P7		0.011048	1.21	131 N/m²	0.27 m	2.39 m/s	0.013074	0.61	78 N/m²	0.16 m	1.65 m/s	0.01186	0.15	17 N/m²	0.04 m	0.61 m/s
P6		0.013314	1.19	155 N/m²	0.32 m	2.59 m/s	0.012634	0.61	76 N/m²	0.16 m	1.62 m/s	0.012706	0.11	14 N/m²	0.03 m	0.53 m/s
P5		0.008538	1.14	95 N/m²	0.20 m	2.01 m/s	0.010218	0.63	63 N/m²	0.13 m	1.49 m/s	0.008934	0.14	12 N/m²	0.03 m	0.52 m/s
P4		0.022028	1.13	244 N/m²	0.50 m	3.22 m/s	0.027401	0.53	142 N/m²	0.29 m	2.17 m/s	0.043977	0.12	52 N/m²	0.11 m	1.05 m/s
P3		0.012255	1.39	167 N/m²	0.34 m	2.76 m/s	0.012801	0.72	90 N/m²	0.19 m	1.81 m/s	0.010345	0.17	17 N/m²	0.04 m	0.61 m/s
P2		0.007462	1.51	111 N/m²	0.23 m	2.28 m/s	0.007277	0.79	56 N/m²	0.12 m	1.46 m/s	0.010574	0.14	15 N/m²	0.03 m	0.55 m/s
P1		0.018288	1.37	246 N/m²	0.51 m	3.33 m/s	0.023331	0.69	158 N/m²	0.33 m	2.38 m/s	0.023236	0.15	34 N/m²	0.07 m	0.86 m/s
P0		0.012902	1.39	176 N/m²	0.36 m	2.83 m/s	0.012916	0.67	85 N/m²	0.17 m	1.74 m/s	0.012913	0.21	27 N/m²	0.05 m	0.80 m/s

Figure 11. Résultats de la modélisation (vitesse moyenne, contrainte tractrice, diamètre minimal des matériaux susceptibles d'être arraché) du Valéré dans son état projeté, pour trois débits caractéristiques (module, crue biennale et crue centennale) avec notamment la taille minimale des blocs avant mise en mouvement (colonnes 6, 11 et 16) et forces tractrices exercée par le cours d'eau (colonnes 5, 10, 15).

► Conclusion

Pour conclure, la modélisation hydraulique réalisée dans le cadre de l'Avant-projet de restauration de la continuité écologique du Valère a permis de mettre en évidence les points suivants :

- **le projet apporte une véritable amélioration de la situation puisqu'il permet d'augmenter légèrement l'étalement en crue en lit moyen de manière à réduire la dissipation d'énergie sur les fonds ;**
- Néanmoins **le Valéré conservera, sur les 625 m concernés par l'intervention, un fonctionnement hydraulique caractéristique des cours d'eau encaissés avec un débit de plein bord situé très nettement au-dessus d'une fréquence centennale** (les débordements en lit majeur sont par conséquent exclus). Ce résultat confirme la nécessité d'accompagner la réinjection de matériaux par l'édification de petites structures de stabilisation du profil en long de type « rides de blocs » dont le dimensionnement (blocs de 60 cm de diamètre en moyenne) a été vérifié et validé par la présente étude hydraulique ;
- Enfin, pour mémoire, le tronçon 2 identifié comme moins perturbé, présente un débit de plein bord pour une période de retour comprise entre la décennale et la vingtennale ou les contraintes sont moins importantes et ne nécessitent pas la mise en œuvre de structures de stabilisation de type rides ou micro-seuils.