



# **Aménagement du Büech à La Faurie et à Aspremont: caractérisation des variantes d'aménagement vis à vis de la géomorphologie - Approche par le morphological quality index (MQI)**

Guillaume Piton, Félix Philippe, Jean-Marc Tacnet

## **► To cite this version:**

Guillaume Piton, Félix Philippe, Jean-Marc Tacnet. Aménagement du Büech à La Faurie et à Aspremont: caractérisation des variantes d'aménagement vis à vis de la géomorphologie - Approche par le morphological quality index (MQI). [Rapport de recherche] IRSTEA - Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, 2 Rue de la Papeterie, 38402 Saint-Martin-d'Hères; Syndicat Mixte de Gestion Intercommunale du Büech et de ses Affluents (SMIGIBA). 2018. <hal-02395987>

**HAL Id: hal-02395987**

**<https://hal.science/hal-02395987v1>**

Submitted on 5 Dec 2019

**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.



HAL Authorization

# Aménagement du Büech à La Faurie et à Aspremont: caractérisation des variantes d'aménagement vis à vis de la géomorphologie

APPROCHE PAR LE MORPHOLOGICAL QUALITY INDEX (MQI)



25 MAI 2018

**GUILLAUME PITON, FELIX PHILIPPE, JEAN  
MARC TACNET**

IRSTEA - CENTRE DE GRENOBLE - UR ETNA  
2 rue de la papeterie  
38402 Saint Martin d'Hères

## Contenu

Table des figures et tableaux .....	4
1 Préambule.....	5
2 Méthode .....	6
2.1 Contexte .....	6
2.2 Présentation sommaire de la méthode.....	6
2.3 MQI ou MQIm.....	7
2.3.1 Objet du MQIm.....	7
2.3.2 Différence MQI - MQIm.....	7
2.4 Précaution d'usage vis-à-vis de l'équilibre dynamique géomorphologique.....	8
3 Segmentation en tronçons .....	9
3.1 Etape 1 : géographie physique .....	9
Principe.....	9
Application au Grand Büech.....	9
3.2 Etape 2 : confinements.....	9
Principe.....	9
Application au Grand Büech.....	10
3.3 Etape 3 : typologies morphologiques.....	11
Principe.....	11
Application au Grand Büech.....	11
3.4 Etape 4 : éléments complémentaires .....	12
Principe.....	12
Application au Grand Büech.....	12
3.5 Segmentation retenue .....	13
4 Estimation des MQI sur les différents tronçons – état actuel.....	15
4.1 Méthodes d'estimation des indicateurs .....	15
4.2 Prise en compte des incertitudes.....	17
Indicateurs de fonctionnalité.....	17
F1 : continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois .....	17
F2 : présence d'un lit majeur moderne .....	17
F3 : Connectivité versant – corridor rivulaire.....	17
F4 : Processus de migration des berges .....	18
F5 : présence d'un corridor potentiellement érodable.....	18
F6 : Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée.....	18
F7 : Altération locale du faciès du lit .....	19
F8 : Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur .....	19
F9 : Altération de la variabilité naturelle de la section en travers .....	19

	F10 : Altération de la granulométrie .....	19
	F11 : présence de gros bois mort .....	20
	F12 : Largeur de la ripisylve .....	20
	F13 : Extension linéaire de la ripisylve et de la présence de macrophytes aquatiques émergents.....	20
4.3	Indicateurs d'artificialité .....	21
	A1 : Altération amont de l'hydrologie .....	21
	A2 : Altération amont du débit solide .....	21
	A3 : Altération hydrologique au sein du tronçon .....	21
	A4 : Altération du débit solide au sein du tronçon .....	22
	A5 : Structures transversales.....	22
	A6 : Protections de berge .....	22
	A7 : Endiguements artificiels .....	23
	A8 : Modification artificielle du tracé du cours d'eau .....	23
	A9 : Autres ouvrages de stabilisation du lit .....	23
	A11 : Extraction de sédiment .....	24
	A11 : Extraction du bois mort.....	24
	A12 : Gestion de la végétation .....	24
4.4	Indicateurs d'ajustement du chenal.....	25
	CA1 : Ajustement du faciès de lit .....	25
	CA2 : Ajustement de la largeur du lit .....	25
	CA3 : Ajustement du niveau du lit.....	25
4.5	Notes globales d'état initial.....	26
5	Inférence des états futurs selon les variantes d'aménagement .....	28
5.1	La Faurie .....	28
	5.1.1 Rappel sur le contenu des aménagements .....	28
	5.1.2 Modifications apportées aux indicateurs.....	29
	5.1.3 Evolution des notes globales.....	30
5.2	Aspremont.....	31
	5.2.1 Modifications apportées aux indicateurs.....	32
	5.2.2 Evolution des notes globales.....	34
6	Recommandations dans l'usage du MQI .....	35
7	Conclusions.....	36
8	Bibliographie.....	37

## Table des figures et tableaux

Tableau 1 : Suivi des versions.....	4
Table 1: Classes de valeurs du MQI.....	7
Table 2: Exemples des différences de valeurs extrêmes et intermédiaires du MQI et du MQIm .....	7
Figure 1: Evolution d'un cours d'eau sur le moyen-long terme, d'après Malavoi and Bravard (2010 p. 15).....	8
Figure 2: Evolution temporaire (A) et plus durable (B), d'après Malavoi and Bravard (2010 p. 15) .....	8
Table 3: Gammes de confinement et catégories .....	10
Table 4: Valeurs de confinement des tronçons.....	10
Table 5: Gammes de valeurs des indicateurs morphométriques .....	11
Table 6: Longueurs, indicateurs morphométriques et typologie des tronçons.....	11
Table 7: Ruptures observées aux transitions entre les tronçons .....	12
Figure 3: tronçons caractéristiques retenus pour réaliser l'étude sur le Grand Buech.....	13
Table 8: Tronçons étudiés et caractéristiques complémentaires .....	14
Table 9: Détermination des classes ERT (Extended River Typology) basé sur les BRT (Basic River Typology) – traduit de Rinaldi et al. (2015a).....	15
Table 10: Liste des indicateurs et méthodes d'estimation principales.....	16
Table 11: valeur MQI par tronçon, état initial.....	26
Table 12: Valeur des indicateurs par tronçon, état initial.....	27
Table 13: Scénario d'aménagement à la Faurie .....	28
Table 14: Effets des scénario d'aménagement à la Faurie (Hydrétudes 2017) .....	28
Table 15: Modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie .....	29
Table 16: Justifications des modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie .....	30
Table 17: MQI moyens pour les différents scénarii .....	30
Table 18: Scénario d'aménagement à la Faurie .....	31
Table 19: Modifications des indicateurs MQI sur les tronçons encadrant Aspremont pour S1 et S2.....	32
Table 20: Justifications des modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie .....	34
Table 21: MQI moyens pour les différents scénarii .....	34

**Tableau 1 : Suivi des versions**

VERSION	DATE D'ÉDITION	REMARQUES	RÉDIGÉ PAR	CONTRÔLÉ PAR
0.1	24/01/2018	PREMIÈRE ÉDITION PROVISoire	G. PITON	
0.2	21/02/2018	PREMIERE EDITION COMPLETE	G. PITON	F. PHILIPPE & JM. TACNET
1.1	24/05/2018	EDITION FINALE	G. PITON, F. PHILIPPE, JM. TACNET	P. MERIAUX, A. BRUNE, JL. DELGADO, A. GOURHAND

## 1 Préambule

Le SMIGIBA, syndicat de rivière du bassin versant du Buëch et de ses affluents, a engagé une démarche de labélisation PAPI d'intention. Le PAPI d'intention a été labellisé en 2017 au cours de l'étude. Dans ce cadre, il bénéficie d'un soutien de l'État notamment pour la mise en place d'une démarche expérimentale sur l'utilisation d'une méthode d'analyse multicritères d'aide à la décision, en sus des analyses coût-bénéfice et multicritères du cahier des charges PAPI 3.

Un marché tripartite entre le SMIGIBA, Irstea et le CEREMA, a été signé dans une optique de recherche et de développement sur une problématique de décision multicritères relative à des scénarii d'aménagement le long du Buech à La Faurie et à Aspremont, proposés par le bureau d'études Hydrétudes.

Un rapport compagnon rend compte des principes et des résultats de la méthode d'analyse multicritère appliquée. Le présent rapport vise à fournir les éléments de notation et de caractérisation des scénarios d'aménagement vis-à-vis de l'aspect géomorphologique. Il vient compléter les autres documents produits dans le cadre de cette étude.

## 2 Méthode

### 2.1 Contexte

L'objectif de l'exercice présenté dans ce rapport est de déterminer par une méthode aussi rapide que possible quel est l'intérêt d'un scénario d'aménagement du point de vue de l'état géomorphologique du cours d'eau. On propose pour cela de faire un bilan de l'état actuel sur la base de plusieurs indicateurs, d'estimer comment cet état va évoluer à travers l'évolution des indicateurs et de faire un bilan de l'évolution globale pour chaque scénario.

La caractérisation de l'état géomorphologique d'un cours d'eau et l'estimation de l'évolution de cet état en fonction de différentes variantes d'aménagement, on parle généralement de "trajectoire géomorphologique", est **généralement un exercice difficile et intrinsèquement incertain**, pour au moins deux raisons :

- la forte complexité intrinsèque du système qui est influencé par de multiples forçages que l'on connaît mal et ne contrôle pas : hydrologie, croissance de la végétation, pressions anthropiques, etc.
- le manque de compréhension de la physique qui régit le système : transport sédimentaire, érosions, effets de la végétation ou du pavage, etc.

Il faut donc garder à l'esprit que les résultats et analyses qui suivent ne peuvent pas être exhaustifs, ni certains, quant aux trajectoires d'évolutions morphologiques inférées. Une plus grande précision pourrait être obtenue à travers l'usage d'approches multiples croisées (modélisation, expertise, etc.), mais on s'éloigne alors du but de l'exercice : réaliser des approches multicritères aussi peu coûteuses que possible, mais gardant une certaine rigueur.

### 2.2 Présentation sommaire de la méthode

Nous avons fait le choix de tenter d'utiliser une méthode récente d'estimation de l'état morphologique proposée par la littérature : le Morphological Quality Index (Indice de qualité morphologique, MQI) a été initialement construit sur des cours d'eau de l'ensemble de l'Italie par Rinaldi et al. (2013). Il a par la suite été appliqué à travers l'Europe au travers du projet REFORM<sup>1</sup> (Rinaldi et al. 2015b) et semble adapté à une grande diversité de contextes fluviaux et torrentiels. C'est une méthode (Rinaldi et al. 2015c) :

- développée pour être en phase avec la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de la Commission Européenne ;
- destinée à être utilisée par les agences et syndicats de bassins, donc relativement simple et ne nécessitant qu'un bagage classique en géomorphologie fluviale et ses outils de base : logiciel et données SIG et visites de terrain ;
- dépassant la seule description de la géomorphologie, puisqu'elle considère aussi les processus : donc une notion temporelle de morpho-dynamique, en s'intéressant par exemple aux dysfonctionnements dans les flux de sédiments ou de bois ou à l'évolution temporelle de la largeur des lits de rivière, etc. Elle ne permet pas, par contre, de quantifier ces flux, ce qui aurait nécessité des mesures et des modèles d'une autre gamme ;
- s'intéressant à l'échelle de tronçons (0.1-10 km), plus longs que la dimension du faciès (10-100 m), et pour lesquelles elle cherche à déterminer l'état de référence qui correspond selon la DCE à un état « non perturbé » ou avec seulement des impacts humains « très faibles » (European Commission 2003).

La méthode n'a pas été bâtie initialement pour déterminer les états cibles à donner à ces tronçons, mais une telle application peut servir des études visant à prioriser des campagnes

---

<sup>1</sup> <https://reformrivers.eu/>

de mesures, des actions de restauration physique ou des stratégies d'aménagement, ce qui est notre cas.

- Basée sur l'avis d'experts du domaine quant aux 28 indicateurs à mesurer et leurs importances respectives, permettant une agrégation et fournissant une note entre 0 (totalement dégradé) et 1 (aucun impact).

Les créateurs de la méthode indiquent qu'ils considèrent cinq classes de valeurs de MQI :

Table 1: Classes de valeurs du MQI

Classe d'état géomorphologique	Valeur basse du MQI	Valeur haute du MQI
Très bon état	0.85<	<1
Bon état	0.7<	<0.85
Etat modéré	0.5<	<0.7
Etat pauvre	0.3<	<0.5
Etat très pauvre ou mauvais	0<	<0.3

## 2.3 MQI ou MQIm

### 2.3.1 Objet du MQIm

Le MQI a été d'abord développé pour faire des bilans globaux de l'état géomorphologique actuel d'un tronçon qui reflète les altérations de long terme. Il n'était pas adapté à des changements morphologiques ayant lieu sur de petites échelles temporelles ou spatiales.

Le *Morphological Quality Index for monitoring* (MQIm) est une révision du MQI pour descendre dans l'échelle d'analyse. Ses principales applications selon les auteurs sont :

Surveillance et suivi de l'état du milieu tel que demandé par la DCE,

- Evaluation de l'impact de nouvelles opérations.

Les détails de son implémentation et des illustrations aidant à la détermination des indicateurs sont fournies dans Rinaldi et al. (2015c).

### 2.3.2 Différence MQI - MQIm

Le MQIm permet une plus grande sensibilité d'analyse en donnant des scores continus pour les indicateurs plutôt qu'un score par classe. Une démarche d'interpolation entre les valeurs des classes est alors nécessaire. Dans la construction retenue par les auteurs, ceci implique des valeurs d'indices maximums différentes du MQI : **les valeurs de MQI et de MQIm ne sont en conséquence pas comparables.**

Si on prend l'exemple de l'indicateur *F11 - présence de bois mort* dont les classes sont :

- Présence significative sur 100% du tronçon score 0
- Présence négligeable sur moins de 50 % du tronçon score 2
- Présence négligeable sur plus de 50 % du tronçon score 3

Dans le cas de quatre tronçons avec une présence de bois mort sur 0%, 60%, 95% et 100% du tronçon, les scores seront les suivants :

Table 2: Exemples des différences de valeurs extrêmes et intermédiaires du MQI et du MQIm

Taux de présence de bois mort	Score F11 - MQI (classes)	Score F11 - MQIm (interpolation)
0%	3	3.5
60%	2	2.2
95%	2	1.15
100%	0	1

Cet exemple illustre bien la capacité du MQIm à être plus sensible et progressif vis à vis des changements intermédiaires des grandeurs caractéristiques qui déterminent les indicateurs. Il

montre par ailleurs que les valeurs minimales et maximales de l'indicateur F11 ne sont pas les mêmes. Les valeurs agrégées de MQI et de MQIm ne sont donc pas directement comparables.

Comme expliqué au §6, l'inférence de valeur précise de certains indicateurs dans l'état aménagé est trop incertain pour utiliser le MQIm *a priori* et dans un stade amont d'étude. Seul le MQI est utilisé dans la suite de ce rapport.

## 2.4 Précaution d'usage vis-à-vis de l'équilibre dynamique géomorphologique

Les auteurs de la méthode soulignent qu'il faut garder à l'esprit qu'il existe un certain temps d'adaptation dans les ajustements morphologiques d'un cours d'eau (Figure 1) et qu'il faut donc faire preuve de prudence vis-à-vis des conclusions tirées d'une application du MQIm (ou du MQI) immédiatement :

- à la suite d'une crue importante, typiquement celles qui dépassent un temps de retour de 10-20 ans (qui vient perturber la tendance moyenne : flèche verte sur la Figure 1, et engendre les fluctuations d'état dans la trajectoire réelle : le trait blanc) ou
- après la fin de travaux de restauration : les effets peuvent parfois être seulement temporaires sur certains aspects tel que représenté par la Figure 2).

Dans ces deux cas, l'analyse de type MQI(m) aura plus de sens quelques années après la perturbation. Ceci laisse le temps au cours d'eau de cicatriser et de réajuster certains traits liés à la restauration mais aussi conjoncturels liés à la crue (une incision momentanée, l'occurrence exceptionnelle d'une érosion de berge massive dans un cours d'eau très peu énergétique), ou instables (des hélophytes implantés dans une zone trop énergétique, des bancs de graviers instables).

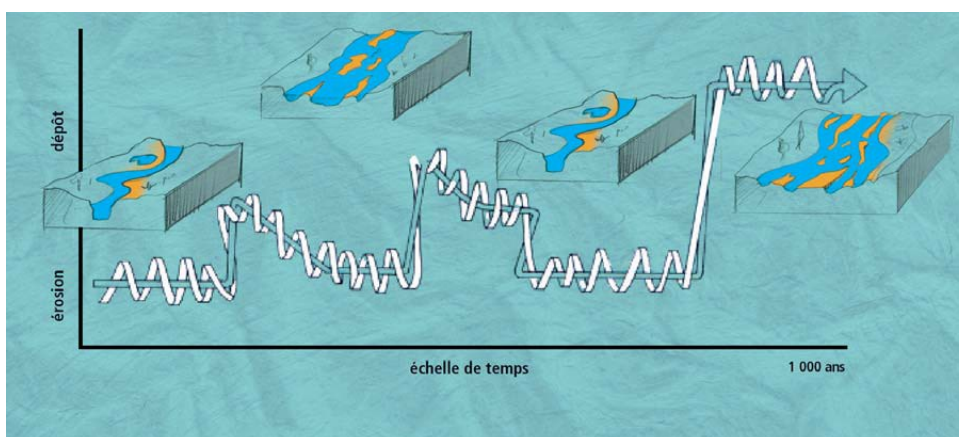


Figure 1: Evolution d'un cours d'eau sur le moyen-long terme, d'après Malavoi and Bravard (2010 p. 15)

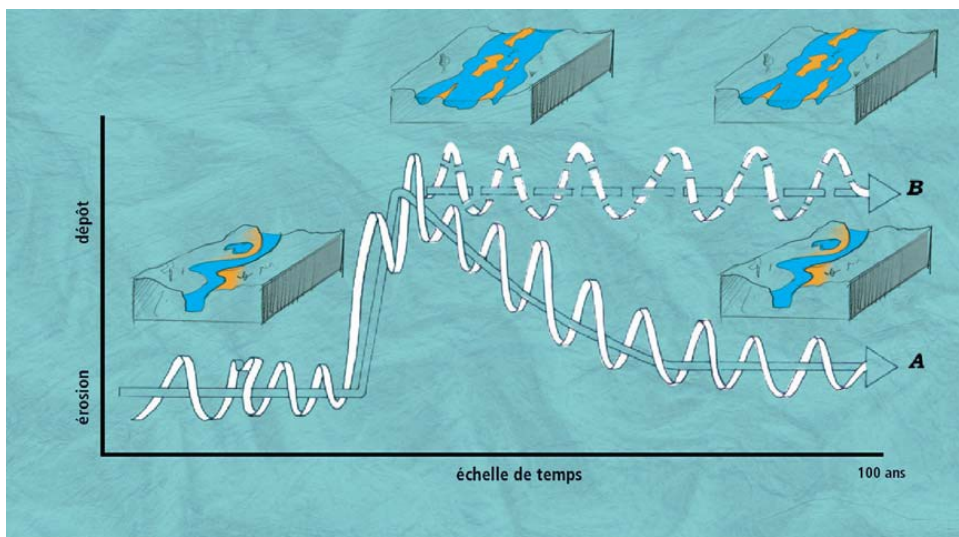


Figure 2: Evolution temporaire (A) et plus durable (B), d'après Malavoi and Bravard (2010 p. 15)

### 3 Segmentation en tronçons

La première étape consiste à **définir des tronçons relativement homogènes** à l'échelle desquels les indicateurs seront estimés. La segmentation de ces derniers est réalisée par quatre étapes présentées sur le principe dans les paragraphes suivants et appliquées au cas du Grand Büech dans les secteurs de La Faurie et d'Aspremont. L'échelle caractéristique d'analyse est de l'ordre kilométrique (0.1-10 km).

#### 3.1 Etape 1 : géographie physique

##### *Principe*

Une première analyse de la géographie physique du bassin versant du cours d'eau permet parfois, sur la base d'informations géologiques, géomorphologiques, d'occupation des sols, de superficie de bassins versants, de climat, d'hydrologie ou de profil en long, de distinguer des points de ruptures dans la géomorphologie du cours d'eau.

##### *Application au Grand Büech*

Le Grand Büech est assez homogène en termes de géographie physique dans l'ensemble de son bassin versant. La géologie change quelque peu entre Lus la Croix Haute et St Julien en Beauchêne et la géomorphologie change en aval des gorges d'Agnielles où le relief diminue. La superficie du bassin versant augmente progressivement avec les affluents, l'Aiguebelle, le Rif d'Agnielle et la Chauranne étant les trois affluents principaux sur le secteur étudié.

On retient en particulier le passage dans les **gorges d'Agnielle et la confluence avec la Chauranne**.

#### 3.2 Etape 2 : confinements

##### *Principe*

Le confinement désigne la proximité entre les versants et le lit du cours d'eau : l'existence d'une plaine alluviale entre les deux unités réduit les couplages géomorphologiques qui peuvent les lier (incidences des érosions sur l'activation des glissements de terrain, apports de matériaux grossiers par les chutes de blocs et les avalanches, etc.).

Les terrasses anciennes sont considérées dans certaines analyses sédimentologiques comme n'appartenant pas au lit majeur. Elles correspondent usuellement à des entités géologiques antérieures à l'Holocène. Dans le cadre de l'application du MQI, l'idée est de définir la capacité du cours d'eau à occuper et divaguer sur l'emprise de l'entité géologique : une terrasse du Pléistocène de quelques mètres de haut ne confine pas le cours d'eau par exemple.

Trois catégories de confinement existent, basées sur deux indicateurs : la longueur des berges en contact direct avec les versants, et dans le cas des cours d'eau de montagne à plaine alluviale très étroite, il est parfois nécessaire de mesurer l'indice de confinement qui est le ratio entre la largeur de la plaine alluviale et la largeur du chenal.

$$\text{Indice de confinement} = \frac{\text{Largeur plaine alluviale sans le chenal}}{\text{Largeur du chenal}}$$

Dans le cas du Büech, nous avons retenu la formulation suivante pour estimer l'indice de confinement :

$$\text{Indice de confinement} = \frac{\text{Largeur plaine alluviale sans le chenal}}{\text{Largeur du chenal}} \cong \frac{S_{AZI} - S_{\text{Bande active 2015}}}{S_{\text{Bande active 2015}}}$$

On réutilise ainsi les données SIG, en surface (S), de l'Atlas des Zones Inondables (AZI) et la cartographie de la bande active réalisée par le SMIGIBA sur des photos aériennes de 2015.

**Table 3: Gammes de confinement et catégories**

Typologie	longueur des berges en contact direct avec les versants ou des terrasses anciennes*	indice de confinement = largeur plaine alluviale/largeur lit	
Chenaux confinés	>90%	OU	<1.5
	10%<...<90%	ET	>1.5
Chenaux partiellement confinés	<10%	OU	
		ET	<n**
➤ Chenaux non confinés	<10%	ET	>n**

\* L'indice de confinement est calculé vis-à-vis des deux berges, c'est donc la longueur totale de contact divisée par deux fois la longueur du tronçon.

\*\* n : est défini = 5 pour les faciès à chenal unique et = 2 pour les rivières en tresses et les lits divagants (wandering rivers).

#### *Application au Grand Büech*

L'analyse est menée entre St Julien en Beauchêne et la confluence avec le Petit Büech, la vallée faisant sensiblement 23.4 km à l'axe.

Une première analyse a été menée avec les données BRGM et CRIGE PACA disponibles. La superficie d'alluvions était prise comme indicateur de la surface lit + plaine alluviale (10.5 km<sup>2</sup>). La surface du lit était estimée par la carte d'occupation des sols de 2014 (zone en eaux et forêts alluviales). Les résultats étaient toutefois grossiers : certaines zones alluvionnaires sont perchées et correspondent à des terrasses anciennes non mobilisables. En somme, le lit du cours d'eau est beaucoup plus restreint que la somme des surfaces de ripisylves et de zones en eaux.

Une seconde analyse a permis d'améliorer la représentativité des résultats en croisant : le lit majeur estimé à l'aide de l'atlas des zones inondables (cartographié par une méthode géomorphologique cohérente avec notre objectif d'estimer les limites du lit majeur). La cartographie de la bande active 2015 est considérée comme une bonne estimation de la largeur du lit.

L'analyse fournit des ordres de grandeur d'indice de confinement suivants sur les tronçons sélectionnés. A noter que quelques itérations ont été nécessaires pour déterminer la segmentation appropriée.

**Table 4: Valeurs de confinement des tronçons**

Nom	L <sub>vallée</sub> km	Ratio de contact avec les versants -	Surface lit majeur (AZI - Bande Active 2015) km <sup>2</sup>	S/L km	Surface bande active 2015 km <sup>2</sup>	S/L km	indice confinement -	Typologie
La Faurie Amont	4.29	~50%	0.79	0.19	0.38	0.09	1.1	C
La Faurie	2	~50%	0.62	0.31	0.05	0.02	11.8	PC
La Faurie Aval	1.63	~50%	0.28	0.17	0.11	0.07	<b>1.6</b>	<b>PC</b>
Gorges d'Agnielles	1.17	1	0.11	0.10	0.03	0.03	<b>1.0 (2.7)</b>	<b>C</b>
Aspres	5.3	42%	1.88	0.35	0.26	0.05	<b>6.3</b>	<b>PC</b>
Aspremont	2.95	32%	0.79	0.27	0.20	0.07	3.0	PC
Aspremont Aval	1.79	28%	0.60	0.34	0.14	0.08	3.2	PC
Chauranne	3.21	31%	1.15	0.36	0.14	0.04	7.3	PC

Le résultat sur le tronçon des gorges d'Agniellles indiqué entre parenthèse correspond à l'AZI où la surface est surestimée (précision de la carte), on a indiqué l'estimation à dire d'expert par une analyse des photos aériennes.

Les contacts avec les versants sont globalement tous dans la fourchette 10%-90%, sauf pour les gorges d'Agniellles confinées à 100%.

Les valeurs d'indices de confinement sont inférieures à 2, valeur seuil pour les rivières divagantes / en tresses de la typologie du Büech, dans le cas de la Faurie amont et des gorges d'Agniellles, ce qui en fait des tronçons « Confinés ». Les autres ont des lits majeurs au moins 2 fois plus larges que la bande active, ce qui les classe dans la catégorie « Partiellement Confinés ».

### 3.3 Etape 3 : typologies morphologiques

#### Principe

Les typologies de faciès morphologiques sont distinguées grâce à trois indices :

- Indice de sinuosité : Si = longueur du chenal principal / longueur dans l'axe de la vallée
- Indice de tressage : Bi = nombre de chenaux en eau au module séparé par des bancs
- Indice d'anabranchement : Ai = nombre de chenaux en eau au module séparé par des îles végétalisées

Les jalons séparant les typologies sont ensuite données par le tableau ci-dessous.

Table 5: Gammes de valeurs des indicateurs morphométriques

Typologie	Si: Index de sinuosité	Bi : Indice de tressage	Ai: Indice d'anabranchement
<b>Lit droit</b>	$1 < Si < 1.05$	1-1.5*	1-1.5*
<b>Lit sinueux</b>	$1.05 < Si < 1.5$	1-1.5*	1-1.5*
<b>Méandres</b>	$1.5 < Si$	1-1.5*	1-1.5*
<b>Divagant</b>	-	$1 < Bi < 1.5$	$1 < Ai < 1.5$
<b>Tressé</b>	-	$1.5 < Bi$	$Ai < 1.5$
<b>Anabranches</b>	-	1-1.5	$1.5 < Ai$

\* normalement approximativement 1

#### Application au Grand Büech

Les valeurs estimées sur les tronçons précédemment identifiés sont les suivantes :

Table 6: Longueurs, indicateurs morphométriques et typologie des tronçons

Nom	Vallée Longueur (m)	Büech	Si sinuosité	Bi tressage	Ai anabranchement	Typologie
La Faurie Amont	4290	4745	1.11	<b>1.4</b>	1	Divagant
La Faurie	2000	2205	1.10	<b>1.1</b>	1	Lit sinueux
La Faurie Aval	1630	1875	1.15	<b>1.6</b>	1	Tressé
Gorges d'Agniellles	1170	1300	1.11	1.0	1	Lit sinueux
Aspres	5300	5500	<b>1.04</b>	1.4	1	Divagant
Aspremont	2950	3500	<b>1.19</b>	1.3	1	Divagant
Aspremont Aval	1790	2290	<b>1.28</b>	1.2	1	Divagant
Chauranne	3210	3490	<b>1.09</b>	1.2	1	Divagant

Des ruptures dans l'indice de tressage sont repérées au niveau du passage de la Faurie et entre les tronçons d'Aspres, relativement confiné par les digues, et celui d'Aspremont, plus libre, comme en témoignent les indices de confinement et de sinuosité.

### 3.4 Etape 4 : éléments complémentaires

#### *Principe*

D'autres éléments peuvent amener à distinguer deux tronçons géomorphologiquement différents ; on peut citer :

- Rupture dans le faciès géomorphologique (disparition des bancs, etc.)
- Rupture dans le profil en long,
- Confluence avec un affluent important,
- Barrage ou autre structure transversale,
- Changement de confinement artificiel,
- Changement de granulométrie.

#### *Application au Grand Buech*

Dans le cas du Grand Buech, les ruptures suivantes sont relevées :

**Table 7: Ruptures observées aux transitions entre les tronçons**

<b>Nom</b>	<b>Rupture par rapport au bief amont</b>
<b>La Faurie Amont</b>	↘ du confinement par les digues
<b>La Faurie</b>	↗ du confinement par les digues
<b>La Faurie Aval</b>	↘ du confinement par les digues
<b>Gorges d'Agnielles</b>	
<b>Aspres</b>	↘ du confinement par les gorges
<b>Aspremont</b>	↘ du confinement par les digues
<b>Aspremont Aval</b>	Pont d'Aspremont piégeant la charge solide
<b>Chauranne</b>	Apports hydrologiques de la Chauranne

### 3.5 Segmentation retenue

La cartographie de la figure ci-dessous synthétise la segmentation retenue dans le cadre de l'application du MQI sur le Grand Buech sur les secteurs de La Faurie et d'Aspremont.

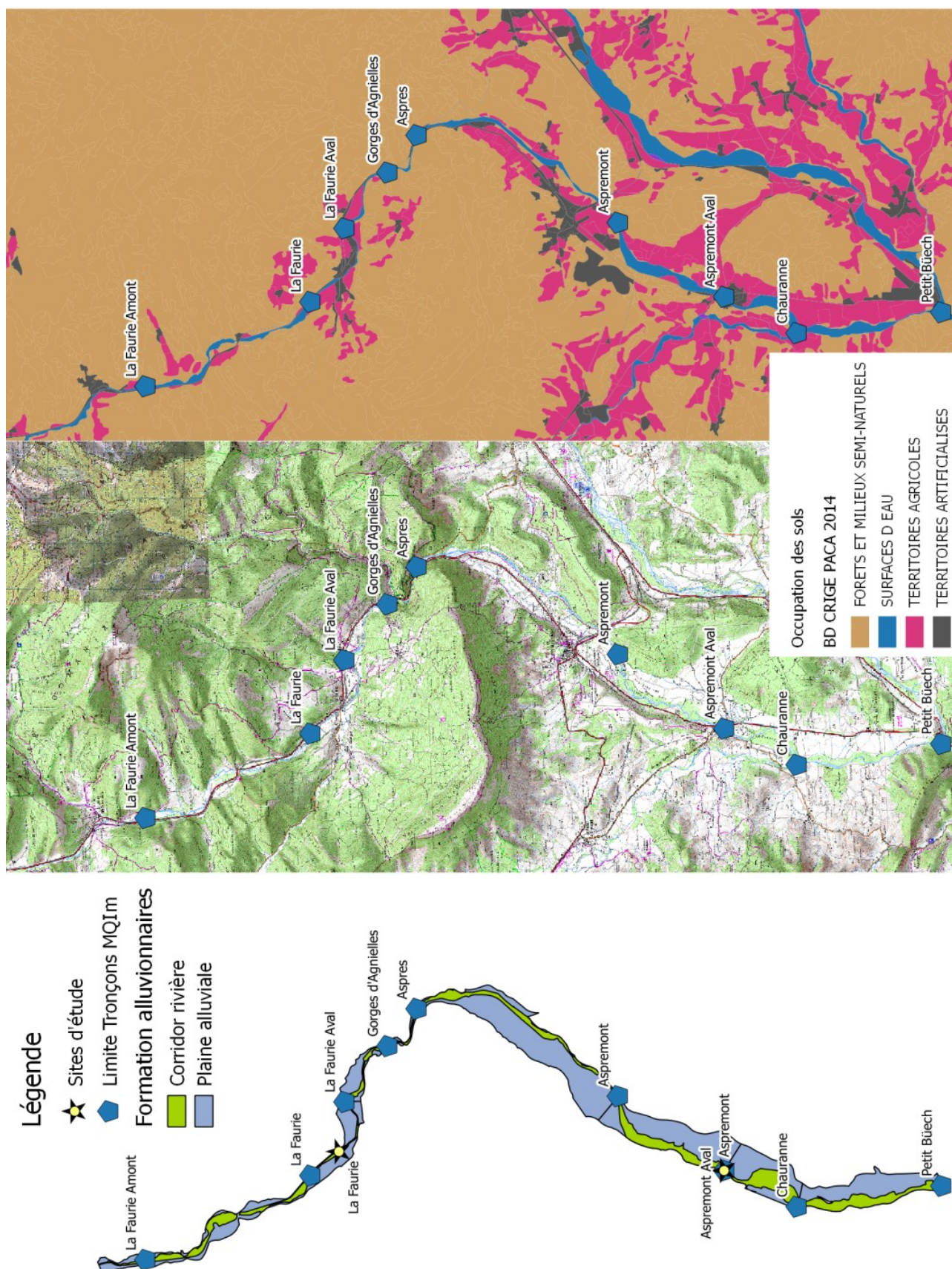


Figure 3: tronçons caractéristiques retenus pour réaliser l'étude sur le Grand Buech

Dans la mesure où les aménagements n'impactent fondamentalement que les tronçons aménagés et potentiellement ceux situés en aval si la continuité sédimentaire est en jeu (pont d'Aspremont), l'estimation des MQI n'est réalisée que sur les tronçons renseignés dans le tableau suivant.

Ce dernier rappelle aussi les données complémentaires nécessaires au remplissage des formulaires MQI. Le classement ERT (Extended River Typology) est un classement général des typologies de cours d'eau, des détails sont fournis dans Rinaldi et al. (2015a) et le tableau de synthèse du classement est fourni page suivante.

**Table 8: Tronçons étudiés et caractéristiques complémentaires**

Tronçon	Type de paysage	Largeur ( $S_{\text{bande active}}/L$ )	$S_{\text{BV}}$	Pente	$D_{50}$	$\sim Q_2$	$\sim Q_{10}$	$\omega^2$	ERT <sup>3</sup>
Unité		M	Km <sup>2</sup>	m/m	mm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	Wm <sup>-1</sup>	
Source			(Hydrétudes 2013)			$0.24S_{\text{BV}}$	$0.62S_{\text{BV}}$	$\gamma Q_2 I / W$	
La Faurie Amont	Montagne	90	~152	1%	25	36	94	39	11
La Faurie	Montagne	20	~152	1%	25	36	94	177	13
La Faurie Aval	Montagne	70	~190	0.9%	38	46	118	58	11
Gorges d'Agnielles	Non étudié	-	-	-	-	-	-	-	-
Aspres	Non étudié	-	-	-	-	-	-	-	-
Aspremont	Collines	70	~261	0.9%	22	63	162	79	11
Aspremont Aval	Collines	80	~261	1%	22	63	162	77	11
Chauranne	Collines	40	~324	0.8%	13	78	201	153	11

Certains champs du MQI ne sont pas à compléter pour certains types de cours d'eau, chaque tronçon doit donc être catégorisé vis-à-vis du classement ERT<sup>3</sup> préalablement au travail de remplissage des formulaires.

Les formulaires sont téléchargeables ici : <http://www.reformrivers.eu/guidebook-evaluation-stream-morphological-conditions-morphological-quality-index-mqi>.

Le rapport de présentation détaillée de la méthode et les conseils dans la classification et l'interprétation des données pour l'attribution des scores peuvent être téléchargés ici : [http://www.reformrivers.eu/system/files/6.2%20Methods%20to%20assess%20hydromorphology%20of%20rivers%20part%20III%20revised\\_0.pdf](http://www.reformrivers.eu/system/files/6.2%20Methods%20to%20assess%20hydromorphology%20of%20rivers%20part%20III%20revised_0.pdf)

<sup>2</sup> La puissance spécifique ( $\omega$ ) est calculée comme suit:  $\omega = \gamma \cdot Q \cdot I / W$  (en watts/m<sup>2</sup>) où  $\gamma$  est le poids volumique de l'eau (9810 N/m<sup>3</sup>),  $Q$  devrait être le débit de plein bord ou débit morphogène que l'on prend en compte, ici  $Q_2$  (m<sup>3</sup>/s),  $I$  la pente de la ligne d'énergie prise ici égale à la pente moyenne du lit (m/m),  $W$  la largeur du lit pour le débit retenu (m). Selon l'approche du MQI, en dessous d'une valeur de 10 W/m<sup>2</sup>, le cours d'eau est considéré comme à très faible énergie et certains processus ne sont pas pris en compte (inexistence des érosions de berges, etc.) Selon l'expérience et la littérature, on constate qu'en dessous d'un seuil de 25-35 W/m<sup>2</sup>, les cours d'eau n'ont pas de réelle capacité de réajustement (notion de seuil d'irréversibilité). Au-delà de 100 W/m<sup>2</sup>, tous les cours d'eau ont l'énergie potentielle pour retrouver une certaine diversification de leur faciès.

Dans l'application présente, les valeurs de puissance sont très sous-estimées parce qu'on a retenu une valeur de  $W$  très surestimée.  $W$  est estimée par le calcul suivant : surface de la bande active / longueur du tronçon à l'axe. Cette valeur est surestimée parce que la très grande majorité du débit s'écoule dans seulement une fraction de la bande active, concentrant les écoulements et augmentant leur puissance spécifique. Dans la mesure où malgré cette sous-estimation, les puissances spécifiques sont très supérieures aux seuils bas, ce n'est pas un problème dans cette analyse.

<sup>3</sup> Extended River Typology : voir tableau page suivante

Table 9: Détermination des classes ERT (Extended River Typology) basé sur les BRT (Basic River Typology) – traduit de Rinaldi et al. (2015a)

Classement ERT (BRT)	Classe de confinement	Type de granulométrie	Typologie géomorphologie	Valeur typique de pente (m/m)
<b>Très artificiel</b>	C, PC, U	Artificielle	Toutes	Toutes
<b>0</b>				
<b>Lit de roche mère ou chenal colluvial</b>				
<b>1</b> (1)	C	<b>Roche mère</b>	Lit droit - sinueux	En général raide
<b>2</b> (1)	C	<b>Mixte grossière</b>	Lit droit - sinueux	Raide
<b>3</b> (1)	C	<b>Mixte</b>	Lit droit - sinueux	moins raide que ERT 1 et 2
<b>Chenal alluvial</b>				
<b>4</b> (1)	C	<b>Gros blocs</b>	Lit droit - sinueux	>>4%
<b>5</b> (1)	C	Gros et <b>petits blocs</b>	Lit droit - sinueux	>4%
<b>6</b> (1)	C	Gros et <b>petits blocs</b> et graviers	Lit droit - sinueux	>2%
<b>7</b> (1)	C	Petits blocs et <b>graviers</b>	Lit droit - sinueux	>1%
<b>8</b> (6)	C, PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Tresses	<4%
<b>9</b> (6)	C, PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Tresses et îles	<4%
<b>10</b> (7)	C, PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Anabranches (Forte énergie)	<1%
<b>11</b> (5)	C, PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Divaguant	<4%
<b>12</b> (3)	C, PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Pseudo-méandres	<4%
<b>13</b> (2/3)	PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Lit droit - sinueux	<2%
<b>14</b> (4)	PC, U	<b>Graviers</b> et sables	Méandres	<2%
<b>15</b> (6)	C, PC, U	Graviers fins et <b>sables</b>	Tresses	<2%
<b>16</b> (3)	C, PC, U	Graviers fins et <b>sables</b>	Pseudo-méandres	<2%
<b>17</b> (1/2)	PC, U	Graviers fins et <b>sables</b>	Lit droit - sinueux	<2%
<b>18</b> (4)	PC, U	Graviers fins et <b>sables</b>	Méandres	<2%
<b>19</b> (7)	C, PC, U	Graviers fins et <b>sables</b>	Anabranches	<0.5%
<b>20</b> (2/3)	PC, U	Sables fins, <b>silts</b> et argiles	Lit droit - sinueux	<0.5%
<b>21</b> (4)	C, PC, U	Sables fins, <b>silts</b> et argiles	Méandres	<0.5%
<b>22</b> (7)	C, PC, U	Sables fins, <b>silts</b> et argiles	Anabranches	<0.5%

#### 4 Estimation des MQI sur les différents tronçons – état actuel

Le chapitre 4 détaille comment sont calculés les indicateurs et quelle classe a été attribuée à chaque tronçon vis-à-vis de chaque indicateur. On fournit des commentaires quand des contrôles ou subtilités d'utilisation ont été rencontrées.

Globalement, il faut souligner que la **consultation régulière de l'annexe du rapport** Rinaldi et al. (2015a) **est indispensable durant la détermination des classes** : l'intitulé ou la description du formulaire n'étant pas assez précis pour éviter toute interprétation.

##### 4.1 Méthodes d'estimation des indicateurs

Les méthodes principales d'estimation de chacun des indicateurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous. On notera que des vérifications complémentaires par croisement avec d'autres sources et outils sont parfois nécessaires.

**Table 10: Liste des indicateurs et méthodes d'estimation principales**

Indicateur	Nom	Estimation	Opération SIG
F1	Continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	Etudes existantes	
F2	Présence d'un lit majeur moderne	SIG	AZI-Bande Active 2015
F3	Connectivité versant – corridor rivulaire	Non estimé	
F4	Processus de migration des berges	SIG	Bande active 2015 - Bande active 2003
F5	Présence d'un corridor potentiellement érodable	SIG	Espace de mobilité fonctionnelle - Bande active 2015
F6	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée	Etudes existantes	
F7	Altération locale du faciès du lit	Visite de site	
F8	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur	Seulement pour les rivières à méandres	Analyse photos aériennes ou LIDAR
F9	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	Visite de site	
F10	Altération de la granulométrie	Visite de site	
F11	Présence de gros bois mort	Visite de site	
F12	Largeur de la ripisylve	SIG	F2 - Territoires agricoles et artificialisés de la BD occupation des sols PACA
F13	Extension linéaire de la ripisylve et de la présence de macrophytes aquatiques émergent	SIG	Identification SIG des linéaires sans ripisylve sur F12
A1	Altération amont de l'hydrologie	Etudes existantes	
A2	Altération amont du débit solide	Etudes existantes	
A3	Altération hydrologique au sein du tronçon	Etudes existantes	
A4	Altération du débit solide au sein du tronçon	Etudes existantes	
A5	Structures transversales	SIG	Inventaire des ponts / linéaire de tronçon
A6	Protections de berge	SIG	Inventaire des protections de berges (2 rives) / (2*linéaire de tronçon)
A7	Endiguement artificiels	SIG	Inventaire des digues (2 rives) / (2*linéaire de tronçon)
A8	Modification artificielle du tracé du cours d'eau	Etudes existantes	
A9	Autre ouvrages de stabilisation du lit	SIG	Inventaire des seuils / linéaire de tronçon
A11	Extraction de sédiment	Etudes existantes	
A11	Extraction du bois mort	Etudes existantes	
A12	Gestion de la végétation	Etudes existantes	
CA1	Ajustement du faciès de lit	SIG	Remonterletemps.ign.fr
CA2	Ajustement de la largeur du lit	SIG	(Bande active 1950 –Bande active 2015)/Bande active 1950
CA3	Ajustement du niveau du lit	Etudes existantes	

## 4.2 Prise en compte des incertitudes

Au-delà de la classe (A, B, C, etc.), on a ajouté des "+" ou des "-" pour indiquer une incertitude vers un état meilleur (+) ou vers un état moins bon (-) : par exemple, B+ indique une classe d'altération moyenne (B) mais incertaine vers un meilleur état (peut être A). Le MQI est calculé avec la classe donnée (B dans l'exemple), mais la gamme d'incertitude de MQI est calculée avec la classe incertaine (A dans l'exemple). On donnera donc comme résultat une valeur de MQI mais aussi un intervalle min-max prenant en compte les incertitudes dans les indicateurs.

### Indicateurs de fonctionnalité

*F1 : continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	-
Aspres	- - -	-
Aspremont	B	Piégeage partiel au pont d'Aspremont
Aspremont Aval	A	
Chauranne	A	

Estimée selon les données disponibles dans les rapports existants (Hydrétudes 2013, 2014).

*F2 : présence d'un lit majeur moderne*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Valeur seuil
La Faurie Amont	A	Non concerné	$I_{conf} > 1$
La Faurie	A	Contact = ~50% - $I_{conf} = 11.8$	
La Faurie Aval	A	Contact = ~50% - $I_{conf} = 1.6$	
Gorges d'Agnielles	- - - -	-	
Aspres	- - - -	-	
Aspremont	A	Contact = 32% - $I_{conf} = 3$	
Aspremont Aval	A	Contact = 28% - $I_{conf} = 3.2$	
Chauranne	A	Contact = 31% - $I_{conf} = 7.3$	

Estimée par les données SIG de l'atlas des zones inondables et de la bande active récente (Cf. Table 4). Cet indicateur ne sous-entend pas que le lit majeur est érodable, ce point est pris en compte dans F5.

*F3 : Connectivité versant – corridor rivulaire*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Linéaire de connectivité	Valeur seuil
La Faurie Amon	B		~50%	33%<...<90%
La Faurie		Non	~50%	
La Faurie Aval		concerné :	~50%	
Gorges d'Agnielles	- - -	seulement	1	
Aspres	- - -	pour les	42%	
Aspremont		cours d'eau	32%	
Aspremont Aval		confinés	28%	
Chauranne			31%	

Estimée par mesure des linéaires où la bande active est directement en contact avec le pied de versant.

F4 : Processus de migration des berges

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Linéaire d'érosion	Valeur seuil
La Faurie Amont	A		76%	>10%
La Faurie	C	Linéaire	~0%(66%)	<2%
La Faurie Aval	A	gagné par la	30%	>10%
Gorges d'Agnielles	- - -	bande active		
Aspres	- - -	2015 /r		
Aspremont	A	bande active	20%	>10%
Aspremont Aval	B	2003	9%	2%<...<10%
Chauranne	A		19%	>10%

Estimé en premier lieu par analyse diachronique des données SIG de bande active sur les photos aériennes de 2003 et de 2015, corrigé par visite de terrain en particulier sur les sites où les polygones de différences 2015-2003 étaient d'une épaisseur de l'ordre de l'incertitude de digitalisation (valeur entre parenthèses).

F5 : présence d'un corridor potentiellement érodable

Tronçon	Indicateur	Commentaire	$L_{EMF}/L_{BA}$	Valeur seuil
La Faurie Amont	B		0.43	<1 & present sur >33% du linéaire
La Faurie	C		~0(0.73)	<1 & present sur <33% du linéaire
La Faurie Aval	B		0.19	<1 & present sur >33% du linéaire
Gorges d'Agnielles	- - -			
Aspres	- - -	Largeur moyenne corridor érodable /		
Aspremont	A	largeur bande active	1.65	
Aspremont Aval	A		1.93	>1 & present sur >66% du linéaire
Chauranne	A		2.56	

Estimation basée sur la largeur de l'espace de mobilité fonctionnelle auquel a été retiré la bande active, comparé à la largeur de cette dernière. Dans le cas présent, une incertitude née de la différence d'opérateur entre celui ayant digitalisé la bande active de façon fine et l'espace de mobilité fonctionnelle réalisé plus sommairement. Un contrôle à dire d'expert de la cohérence de certaines valeurs avec la réalité de la présence du corridor érodable a amené à corriger certaines valeurs (entre parenthèses).

F6 : Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée

Tronçon	Indicateur	Pente moyenne	Faciès	Linéaire	Commentaire
La Faurie Amont	A	1%	Riffle - Pool		
La Faurie	C	1%	Lit plat	>66% du linéaire	
La Faurie Aval	A	0.9%	Riffle - Pool		
Gorges d'Agnielles	- - -	-		-	Non concerné
Aspres	- - -	-		-	
Aspremont	A	0.9%	Riffle - Pool		
Aspremont Aval	A	1%	Riffle - Pool		
Chauranne	A	0.8%	Riffle - Pool		

Croisement entre pente en long (extrait de Hydrétudes (2013)) et reconnaissance de terrain des faciès.

*F7 : Altération locale du faciès du lit*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	A	
<b>La Faurie</b>	C	Lit plat, quasi-absence de bancs et de chenaux secondaires
<b>La Faurie Aval</b>	A	
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	A	
<b>Aspremont Aval</b>	A	
<b>Chauranne</b>	A	

Reconnaissance de terrain préparée par des analyses d'images. Les faciès types étant, dans les lits divaguants : barres alternées, rapides, chenaux secondaires, végétation pionnière, variation de la largeur.

*F8 : Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur*

Non estimé : s'applique seulement pour les cours d'eau à faible énergie.

*F9 : Altération de la variabilité naturelle de la section en travers*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	A	<5% linéaire
<b>La Faurie</b>	C	>33% linéaire
<b>La Faurie Aval</b>	A	<5% linéaire
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	A	<5% linéaire
<b>Aspremont Aval</b>	A	<5% linéaire
<b>Chauranne</b>	A	<5% linéaire

Estimée par visites de terrain qui visent à définir dans quelle mesure les pressions en présence altèrent la morphologie de la section en travers. Attention, il s'agit de la variabilité-type du profil en travers (lit de basses eaux, bancs, terrasses). La présence d'endiguement, prise en compte dans A7, n'est pas suffisante pour dégrader cet indicateur.

*F10 : Altération de la granulométrie*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	A	
<b>La Faurie</b>	C1+	Pavage sur <50% du linéaire
<b>La Faurie Aval</b>	A	
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	A	
<b>Aspremont Aval</b>	A	
<b>Chauranne</b>	C1-	Substratum rocheux ponctuel

Estimé par croisement entre les études existantes et une visite de terrain.

*F11 : présence de gros bois mort*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	
La Faurie	C	Absence sur >50%
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	-
Aspres	- - -	-
Aspremont	A	
Aspremont Aval	A	
Chauranne	B-	Absence sur <50%, incertitude

Estimée par visite de terrain.

*F12 : Largeur de la ripisylve*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	$W_R/W_{BA}$	Valeur seuil
La Faurie Amont	A		1.3	>1
La Faurie	B	Impact des champs	0.9	0.5<...<1
La Faurie Aval	B	Impact des champs	0.6	0.5<...<1
Gorges d'Agnielles	- - -	-		
Aspres	- - -	-		
Aspremont	A		2.4	>1
Aspremont Aval	A		2.3	>1
Chauranne	A		3.1	>1

Analyse SIG du ratio entre surfaces des formations boisée en lit majeur (AZI) et bande active.

*F13 : Extension linéaire de la ripisylve et de la présence de macrophytes aquatiques émergents*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	$L_R/L_{BA}$	Valeur seuil
La Faurie Amont	A		~100%	
La Faurie	A		~100%	
La Faurie Aval	A		~100%	
Gorges d'Agnielles	- - -	-		
Aspres	- - -	-		
Aspremont	A		~100%	
Aspremont Aval	A		~100%	
Chauranne	A		~100%	

Estimée par analyse SIG du linéaire de ripisylve.

Les macrophytes aquatiques ne concernent que les cours d'eau à faible énergie (non estimé sur le Buëch).

### 4.3 Indicateurs d'artificialité

#### A1 : Altération amont de l'hydrologie

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	Absence d'artificialisation de l'hydrologie sur le Grand Büech
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	
Aspres	- - -	
Aspremont	A	
Aspremont Aval	A	
Chauranne	A	

Analyse SIG de la fraction amont du bassin versant dont les débits morphogènes ( $Q_{10}$  et  $Q_{1.5}$ ) sont interceptés par des ouvrages hydrauliques.

#### A2 : Altération amont du débit solide

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	-
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	
Aspres	- - -	
Aspremont	A	
Aspremont Aval	B1-	
Chauranne	B1+	

Analyse SIG de la fraction amont du bassin versant dont les débits solides sont totalement / partiellement interceptés.

#### A3 : Altération hydrologique au sein du tronçon

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	Absence
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	
Aspres	- - -	
Aspremont	A	
Aspremont Aval	A	
Chauranne	A	

Analyse experte de la présence d'ouvrages au sein du tronçon qui détournent les débits  $> Q_{1.5}$  ou  $> Q_{10}$ .

#### A4 : Altération du débit solide au sein du tronçon

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	Absence
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	-
Aspres	- - -	-
Aspremont	A	Le pont d'Aspremont est pris en compte dans F1 & A5
Aspremont Aval	A	
Chauranne	A	

Analyse SIG de la fréquence d'ouvrages de rétention sédimentaire (volontaire tels que les plages de dépôts ou non tels que les barrages hydroélectriques) et d'ouvrages de stabilisation du profil en long.

#### A5 : Structures transversales

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Linéaire	Fréquence	Valeur seuil
La Faurie Amont	B	3 ponts	4.7	1 pt/1.6 km	<1 pt/1 km
La Faurie	C	3 ponts	2.2	1 pt/0.6 km	>1 pt/1 km
La Faurie Aval	A	Pas d'ouvrage	1.9		
Gorges d'Agnielles	- - -	-	1.3		
Aspres	- - -	-	5.5		
Aspremont	B	1 pont	3.5	1 pt/3.5 km	<1 pt/1 km
Aspremont Aval	A	Pas d'ouvrage	2.3		
Chauranne	A	Pas d'ouvrage	3.5		

Analyse SIG de la fréquence des ouvrages transversaux de passage impactant le corridor fluvial (ponts, dalots, gués).

#### A6 : Protections de berge

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Fraction linéaire protégé	Valeur seuil
La Faurie Amont	B		23%	5%<...<33%
La Faurie	D		59%	50%<...<80%
La Faurie Aval	B		30%	5%<...<33%
Gorges d'Agnielles	- - -	-		
Aspres	- - -	-		
Aspremont	C		34%	33%<...<50%
Aspremont Aval	B	Protection en recul sur certaines berges	12%	5%<...<33%
Chauranne	A		0%	<5%

Analyse SIG du ratio de linéaire de berges protégées par des ouvrages<sup>4</sup> divisé par le linéaire maximum (2 \* linéaire de cours d'eau).

<sup>4</sup> D'après la base de donnée SIG du SMIGIBA : Linéaire de protections de berges et linéaire de digues qui sont toutes équipées de protection de berges

Dans ce genre d'analyse, il faut veiller à prendre en compte les protections de berges au droit des digues. Celles-ci sont parfois ignorées et considérées comme dépendant du système d'endiguement. Les fonctions sont pourtant différentes.

*A7 : Endiguements artificiels*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Fraction linéaire endigué	Valeur seuil
La Faurie Amont	B	Non concerné (C)	11%	10%<...<33%
La Faurie	C		57%	>50%
La Faurie Aval	B		30%	10%<...<33%
Gorges d'Agnielles	- - -	-		
Aspres	- - -	-		
Aspremont	B		27%	10%<...<33%
Aspremont Aval	B		10%	10%<...<33%
Chauranne	A		0%	<10%

Analyse SIG du ratio de longueur de berges équipées de digues proches ou distantes divisée par le linéaire maximum (2 \* linéaire de cours d'eau).

*A8 : Modification artificielle du tracé du cours d'eau*

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	A	Non concerné (C)
La Faurie	A	
La Faurie Aval	A	
Gorges d'Agnielles	- - -	Absence de telles opérations
Aspres	- - -	
Aspremont	A	
Aspremont Aval	A	
Chauranne	A	

Analyse SIG d'évidence de grands travaux de détournement, coupure de méandre, etc.

*A9 : Autres ouvrages de stabilisation du lit*

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Linéaire	Fréquence	Valeur seuil
La Faurie Amont	B	1 ouvrage	4.7	1 seuil/0.2 km	<1 seuil/1 km
La Faurie	A	Pas d'ouvrage	2.2		
La Faurie Aval	A	Pas d'ouvrage	1.9		
Gorges d'Agnielles	- - -	-	1.3		
Aspres	- - -	-	5.5		
Aspremont	A	Pas d'ouvrage	3.5		
Aspremont Aval	A	Pas d'ouvrage	2.3		
Chauranne	A	Pas d'ouvrage	3.5		

Analyse SIG de la fréquence des autres ouvrages transversaux impactant le corridor fluvial (seuils, pavage artificiel).

### A11 : Extraction de sédiment

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	B1	Extraction anciennes, volume incertain
<b>La Faurie</b>	B1+	Possibles extraction anciennes, pour les endiguements par exemple
<b>La Faurie Aval</b>	B1+	
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	B2-	Faible volume récemment, ancien incertains
<b>Aspremont Aval</b>	A	
<b>Chauranne</b>	C	Peut être 60 000 m3 dans la zone de la confluence

Données historiques de curage dans les 100 et 20 dernières années d'après SOGREAH (2011).

### A11 : Extraction du bois mort

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	B	En prévention du risque d'embâcle en amont des zones urbaines
<b>La Faurie</b>	A	Absence
<b>La Faurie Aval</b>	A	Absence
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	B	En prévention du risque d'embâcle en amont des zones urbaines
<b>Aspremont Aval</b>	A	Absence
<b>Chauranne</b>	A	Absence

Données historiques d'intervention de nettoyage du bois mort dans les 20 dernières années.

### A12 : Gestion de la végétation

Tronçon	Indicateur	Commentaire
<b>La Faurie Amont</b>	B	Coupes sélectives des arbres instables
<b>La Faurie</b>	B	Coupes sélectives des arbres instables
<b>La Faurie Aval</b>	A	Absence
<b>Gorges d'Agnielles</b>	- - -	-
<b>Aspres</b>	- - -	-
<b>Aspremont</b>	B	Coupes sélectives des arbres instables
<b>Aspremont Aval</b>	B	Coupes sélectives des arbres instables
<b>Chauranne</b>	A	Absence

Données historiques d'intervention d'entretien et de coupes dans la ripisylve (absence, intervention sélectives ou distantes ou coupes claires sur <50% du linéaires ; coupes claires et / ou curage sur plus de 50% du linéaire) sur une fenêtre temporelle de 20 ans.

## 4.4 Indicateurs d'ajustement du chenal

### CA1 : Ajustement du faciès de lit

Tronçon	Indicateur	Faciès 1950-1965	Faciès 2015	Commentaire
La Faurie Amont	A	Divaguant	Divaguant	
La Faurie	C+	Divaguant	Lit droit	Forte incertitude
La Faurie Aval	A	Tressé	Tressé	
Gorges d'Agnielles	- - -			-
Aspres	- - -			-
Aspremont	A	Divaguant	Divaguant	
Aspremont Aval	A	Divaguant	Divaguant	
Chauranne	A	Divaguant	Divaguant	

Analyse des photos aériennes historiques ou des cartes historiques des changements de faciès géomorphologique depuis les années 1930-1960 via <http://remonterletemps.ign.fr/>.

### CA2 : Ajustement de la largeur du lit

Tronçon	Indicateur	Commentaire	Evolution surface bande active	Valeur seuil
La Faurie Amont	A		15%	<15%
La Faurie	B+	Incertain	25%	15%<...<35%
La Faurie Aval	A		-1%	<15%
Gorges d'Agnielles	- - -	-		
Aspres	- - -	-		
Aspremont	C		44%	>35%
Aspremont Aval	B		27%	15%<...<35%,
Chauranne	C		61%	>35%

Analyse des photos aériennes historiques ou des cartes historiques des changements de la largeur du lit depuis les années 1930-1960.

### CA3 : Ajustement du niveau du lit

Tronçon	Indicateur	Commentaire
La Faurie Amont	B	Incision>0.5 m
La Faurie	B	"
La Faurie Aval	B	"
Gorges d'Agnielles	- - -	-
Aspres	- - -	-
Aspremont	B	Dépôt > 1m
Aspremont Aval	B	Dépôt > 1m, incertain quant à l'ensemble du linéaire
Chauranne	B	Incision au substratum mais matelas alluvial peut épais

Analyse des rapports Hydrétudes (2013) et Hydrétudes (2014) qui fournissent des analyses de terrain mettant en évidence des ajustements de niveau de lit (généralement des incisions) faibles (<0.5m), moyennes (0.5<...<3m) ou fortes (>3m).

## 4.5 Notes globales d'état initial

Au global, l'agrégation des indicateurs donne les MQI suivant :

Table 11: valeur MQI par tronçon, état initial

Tronçon	MQI	MQI <sup>-</sup>	MQI <sup>+</sup>	Classe d'état géomorphologique	Bornes
Valeurs intégrant les incertitudes					
La Faurie Amont	<b><u>0.82</u></b>	<b>0.82</b>	<b>0.85</b>	Bon état	0.7<...<0.85
La Faurie	<b><u>0.6</u></b>	<b>0.6</b>	<b>0.71</b>	Etat modéré	0.5<...<0.7
La Faurie Aval	<b><u>0.88</u></b>	<b>0.88</b>	<b>0.9</b>	Très bon état	0.85<...
Gorges d'Agnielles	-	-	-		
Aspres	-	-	-		
Aspremont	<b><u>0.77</u></b>	<b>0.74</b>	<b>0.77</b>	Bon état	0.7<...<0.85
Aspremont Aval	<b><u>0.86</u></b>	<b>0.81</b>	<b>0.94</b>	Très bon état	0.85<...
Chauranne	<b><u>0.81</u></b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	Bon état	0.7<...<0.85

Le tableau détaillé est fourni page suivante.

**Table 12: Valeur des indicateurs par tronçon, état initial**

Confinement		LaFauAm C	LaFau PC-U	LaFauAv PC-U	AsprAm PC-U	Aspr PC-U	Chaura PC-U
Indicateur	Nom	Note	Note	Note	Note	Note	Note
<b>F1</b>	Continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	A	A	A	B-	A	A
<b>F2</b>	Présence d'un lit majeur moderne		A	A	A	A	A
<b>F3</b>	Connectivité versant – corridor rivulaire	B					
<b>F4</b>	Processus de migration des berges		C	A	A	B+	A
<b>F5</b>	Présence d'un corridor potentiellement érodable		C	B	A	A	A
<b>F6</b>	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée	A					
<b>F7</b>	Altération locale du faciès du lit	A	C	A	A	A	A
<b>F8</b>	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur						
<b>F9</b>	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	A	C	A	A	A-	A
<b>F10</b>	Altération de la granulométrie	A	C1+	A	A	A	C1-
<b>F11</b>	Présence de gros bois mort	A	C	A	A	A	B-
<b>F12</b>	Largeur de la ripisylve	A	B	B	A	A	A
<b>F13</b>	Extension linéaire de la ripisylve	A	A	A	A	A	A
<b>Fonctionnalité</b>		<b>0.93</b>	<b>0.40</b>	<b>0.91</b>	<b>0.93</b>	<b>0.95</b>	<b>0.84</b>
<b>A1</b>	Altération amont de l'hydrologie	A	A	A	A	A	A
<b>A2</b>	Altération amont du débit solide	A	A	A	A	B1-	B1
<b>A3</b>	Altération hydrologique au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A4</b>	Altération du débit solide au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A5</b>	Structures transversales	B	C	A	B	A	A
<b>A6</b>	Protections de berge	B	D	B	C	B+	A
<b>A7</b>	Endiguement artificiels		C+	B	B	B+	A
<b>A8</b>	Modification artificielle du tracé du cours d'eau		A	A	A	A	A
<b>A9</b>	Autre ouvrages de stabilisation du lit	B	A	A	A	A	A
<b>A10</b>	Extraction de sédiment	B1	B1+	B1+	B2-	A	C
<b>A11</b>	Extraction du bois mort	B	A	A	B	A	A
<b>A12</b>	Gestion de la végétation	B	B	A	B	B	A
<b>Artificialité</b>		<b>0.76</b>	<b>0.79</b>	<b>0.88</b>	<b>0.74</b>	<b>0.85</b>	<b>0.88</b>
<b>CA1</b>	Ajustement du faciès de lit	A	C+	A	A	A	A
<b>CA2</b>	Ajustement de la largeur du lit	A	B+	A	C	B	C
<b>CA3</b>	Ajustement du niveau du lit	B+	B	B	B	B+	B
<b>Ajustement du chenal</b>		<b>0.71</b>	<b>0.46</b>	<b>0.83</b>	<b>0.58</b>	<b>0.71</b>	<b>0.58</b>
<b>MQI</b>		<b>0.82</b>	<b>0.60</b>	<b>0.88</b>	<b>0.77</b>	<b>0.86</b>	<b>0.81</b>
<b>[MQImin; MQImax]</b>		<b>[0.82;0.85]</b>	<b>[0.6;0.71]</b>	<b>[0.88;0.9]</b>	<b>[0.74;0.77]</b>	<b>[0.81;0.94]</b>	<b>[0.8;0.81]</b>

## 5 Inférence des états futurs selon les variantes d'aménagement

A noter que pour assurer la cohérence avec l'analyse coût-bénéfice suivant la méthode AMC PAPI, la fenêtre temporelle d'analyse utilisée est de 50 ans. On cherche donc plutôt à inférer les tendances actuelles ou leur évolution plutôt que les effets de court terme des travaux tel que discuté §2.4.

### 5.1 La Faurie

#### 5.1.1 Rappel sur le contenu des aménagements

D'après le rapport d'Hydrétudes (2017), les scénarii au niveau de la Faurie sont les suivants.

Table 13: Scénario d'aménagement à la Faurie

N°	Objet
S0	Etat actuel (scénario de référence)
S1	Réfection des ouvrages en place
S2	Effacement d'une partie de la digue des Levas et de la digue rive droite en face du camping
S3	Effacement d'une partie de la digue des Levas avec une digue transversale et élargissement du lit sur le secteur du camping (lit de 23 m)
S4	Elargissement du lit au droit de la digue des Levas (lit de 21 m+ banquette 50ml) et élargissement du lit sur le secteur du camping (lit de 23 m).
S5	Elargissement du lit au droit de la digue des Levas (lit de 21 m+ risberme de 50ml), remplacement du pont et élargissement du lit sur le secteur de L'Isle (lit 23 m + banquette de 20 m).

Dans l'analyse multicritères réalisée sur la base d'indicateurs synthétiques non agrégés, Hydrétudes (2017) indique les impacts suivants pour les différents scénarii, en comparaison au scénario de référence (S0).

Table 14: Effets des scénario d'aménagement à la Faurie (Hydrétudes 2017)

Critère*	Indicateur	S0	S1	S2	S3	S4	S5
HydSed	Largeur bande active	RAS	RAS	Effacement des digues implique débordement plus rapide en crues et baisse des vitesses = remonté des fonds	Elargissement du lit à 23 m au droit du camping, largeur de stabilité du lit selon principe de ramette	Elargissement du lit à 23 m au droit du camping, et 21 m au secteur de Devant ville, largeur de stabilité du lit selon principe de ramette	La banquette à 1 m au secteur du camping implique débordements rapides et baisse de vitesse dans le lit et des dépôts
	Style fluvial	RAS	RAS	Pas de modification	Amélioration suite à l'élargissement de la bande active		
	Bilan sédimentaire	RAS	RAS	Faible amélioration	Rechargement du lit sur le secteur sans effets sur l'aval		
Env	Boisements de lit mineur	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Diversité des essences		RAS		Augmentation du linéaire de berges naturelles	Augmentation de la diversité en raison de l'élargissement / banquettes GV	
	Diversité des micro-habitats		RAS		Augmentation de la diversité en raison de l'élargissement	Augmentation de la diversité en raison de l'augmentation de la bande active	

\*HydSed : hydrosédimentaire, Env : environnementaux

### 5.1.2 Modifications apportées aux indicateurs

Les modifications apportées aux indicateurs sur le tronçon de la Faurie, seul touché par les aménagements sont fournis dans le tableau suivant. Les signes – et + ajoutés à une note indique une incertitude vers une note moins bonne (-) ou meilleure (+). Seules les modifications sont notées en noir, les lettres grecs font références aux justifications des modifications qui sont données page suivante.

**Table 15: Modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie**

Tronçon		LaFau - S0	LaFau - S1	LaFau - S2	LaFau - S3	LaFau - S4	LaFau - S5
Indicateur	Nom	Note	Note	Note	Note	Note	Note
<b>F1</b>	continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	A	A	A	A	A	A
<b>F2</b>	Présence d'un lit majeur moderne	A	A	A	A	A	A
<b>F3</b>	Connectivité versant – corridor rivulaire						
<b>F4</b>	Processus de migration des berges	C	C	C	C+ (γ)	A- (δ)	A- (δ)
<b>F5</b>	Présence d'un corridor potentiellement érodable	C	C	C	C+ (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
<b>F6</b>	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée						
<b>F7</b>	Altération locale du faciès du lit	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
<b>F8</b>	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur						
<b>F9</b>	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
<b>F10</b>	Altération de la granulométrie	C1+	C1+	B- (β)	B- (γ)	A (δ)	A (δ)
<b>F11</b>	Présence de gros bois mort	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
<b>F12</b>	Largeur de la ripisylve	B	B- (α)	B	B+ (γ)	A- (δ)	A- (δ)
<b>F13</b>	Extension linéaire de la ripisylve	A	B (α)	A	A	A	A
<b>Fonctionnalité</b>		<b>0.40</b>	<b>0.33</b>	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>
<b>A1</b>	Altération amont de l'hydrologie	A	A	A	A	A	A
<b>A2</b>	Altération amont du débit solide	A	A	A	A	A	A
<b>A3</b>	Altération hydrologique au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A4</b>	Altération du débit solide au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A5</b>	Structures transversales	C	C	C	C	C	C (ε)
<b>A6</b>	Protections de berge	D	D	D	D	D	D
<b>A7</b>	Endiguement artificiels	C+	C+	B- (β)	B- (γ)	B- (β)	B- (β)
<b>A8</b>	Modification artificielle du tracé du cours d'eau	A	A	A	A	A	A
<b>A9</b>	Autre ouvrages de stabilisation du lit	A	A	A	A	A	A
<b>A10</b>	Extraction de sédiment	B1+	B1+	B1+	B1+	B1+	B1+
<b>A11</b>	Extraction du bois mort	A	A	A	A	A	A
<b>A12</b>	Gestion de la végétation	B	C (α)	B	B	B	B
<b>Artificialité</b>		<b>0.79</b>	<b>0.74</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>
<b>CA1</b>	Ajustement du faciès de lit	C+	C+	B- (β)	B (γ)	A (δ)	A (δ)
<b>CA2</b>	Ajustement de la largeur du lit	B+	B+	B+	B+	A (δ)	A (δ)
<b>CA3</b>	Ajustement du niveau du lit	B	B	B+ (β)	A- (γ)	A (δ)	A (δ)
<b>Ajustement du chenal</b>		<b>0.46</b>	<b>0.63</b>	<b>0.58</b>	<b>0.75</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
<b>MQI</b>		<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.71</b>	<b>0.74</b>	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>
<b>[MQImin; MQImax]</b>		<b>[0.6;0.71]</b>	<b>[0.55;0.7]</b>	<b>[0.6;0.78]</b>	<b>[0.62;0.81]</b>	<b>[0.79;0.94]</b>	<b>[0.79;0.94]</b>

La justification des changements des indicateurs est donnée dans le tableau suivant.

**Table 16: Justifications des modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie**

N°	Commentaire	S1	S2	S3	S4	S5
<b>α</b>	La réfection des digues en place et leur entretien entraînent la suppression de la végétation et de la ripisylve (indicateurs F12, F13 et A12).	X				
<b>β</b>	L'arasement des digues des Levas et en face du camping induirait un passage du linéaire d'endiguement du tronçon à environ 34%<50 % (A7). En conséquence, il devrait s'en suivre un plus grand débordement pour les crues extrêmes (les crues régulières ne sont pas débordantes) générant potentiellement un dépôt partiel des sédiments dont la magnitude est incertaine. Les conséquences devraient être la formation de bancs (indicateur F7), un ajustement des granulométries (F10), des dépôts ponctuels de bois mort (F11) et une variabilité plus naturelle de la section en travers (F9). A long terme des ajustements du faciès et du niveau du lit sont possibles mais pas certains (CA1 et CA3)		X			
<b>γ</b>	L'arasement de la digue des Levas et l'élargissement du lit sur le secteur du Camping induirait le retrait des mêmes contraintes (A7) et les mêmes ajustements que précédemment (F7, F9, F10 et F11), probablement plus marqués. Les seuils des valeurs d'élargissement ne permettent toutefois généralement pas de passer à la catégorie supérieure sur tous les indicateurs, seule l'incertitude a donc été augmentée vers un meilleur état. L'élargissement au droit du camping commence à permettre l'apparition de migrations de berges (F4) et d'un petit corridor érodable (F5).			X		
<b>δ</b>	L'élargissement du lit sur le secteur des Levas et du Camping induirait le retrait des mêmes contraintes (A7) et de façon plus sûre aux mêmes ajustements que précédemment (F7, F9, F10 et F11). Il faut ajouter que les terrasses créées seraient colonisées par la végétation (F12) et pourraient devenir érodables, augmentant le linéaire de migration de berge (F4) et créer un corridor potentiellement érodable (F5). Ceci reste incertain et dépendra des options choisies sur l'emplacement de potentielles protections de berges.				X	X
<b>ε</b>	Le remplacement du pont n'est pas une suppression, la note ne change donc pas.					X

### 5.1.3 Evolution des notes globales

Les notes de MQI globales pour le tronçon de La Faurie évoluent comme présenté dans le tableau suivant (synthèse du tableau 15) :

**Table 17: MQI moyens pour les différents scénarii**

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Fonctionnalité	0.40	0.33	0.58	0.58	0.77	0.77
Artificialité	0.79	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83
Ajustement du chenal	0.46	0.63	0.58	0.75	1.00	1.00
<b>MQI</b>	<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.71</b>	<b>0.74</b>	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>
<b>[MQImin; MQImax]</b>	<b>[0.6;0.71]</b>	<b>[0.55;0.7]</b>	<b>[0.6;0.78]</b>	<b>[0.62;0.81]</b>	<b>[0.79;0.94]</b>	<b>[0.79;0.94]</b>

En synthèse :

- Les variantes S0 et S1 n'améliorent pas la situation du point de vue géomorphologique.
- Les variantes S2 et S3 améliorent le fonctionnement, mais n'ont que des ambitions limitées de restauration. L'état du tronçon passe tout de même de Modéré à Bon, plutôt dans la gamme basse et avec une incertitude forte.
- Les projets S4 et S5 sont beaucoup plus ambitieux et permettent d'approcher la limite de l'état Très Bon. L'ensemble de la gamme d'incertitude est proche ou dans l'état Très Bon.

## 5.2 Aspremont

D'après le rapport d'Hydrétudes (2017), les scénarii au niveau d'Aspremont sont les suivants.

**Table 18: Scénario d'aménagement à la Faurie**

N°	Objet
<b>SA</b>	Le scénario n°A prévoit le confortement intégral de la digue des Patègues. Il s'agit du scénario de référence pour la zone amont.
<b>SB</b>	Le scénario n°B prévoit le confortement de l'amont de la digue des Patègues et l'arasement de la partie aval de cette digue.
<b>S0</b>	Etat actuel. Il s'agit du scénario de référence pour la zone aval.
<b>S1</b>	Le scénario n°1 correspond à l'état actuel, avec confortement des digues en place.
<b>S2</b>	Le scénario n°2 consiste à : - L'élargissement du lit à pleine section du Pont et le réaménagement de l'espace public en rive droite (monument au mort, parking) ; - L'élargissement rive droite à l'aval du pont et le confortement à l'aide de techniques végétales ; - Le confortement de la rive gauche à l'aval du pont.
<b>S3</b>	Le scénario n°3 comprend : - Un curage du fond du Buëch et le traitement de la végétation à l'amont du pont ; - La protection de berge rive droite en amont et en aval du pont ; - L'élargissement pleine section du pont et l'aménagement de l'espace public ; - Le confortement de la rive gauche en amont et en aval du pont.
<b>S4</b>	Le scénario n°4 comprend le remplacement du pont et l'élimination de la pile centrale. Les berges sont également confortées et l'espace public aménagé

Les scénarii A et B ne sont pas étudiés dans la suite : ils concernent des linéaires et surfaces trop restreints et l'ajustement des indicateurs serait soit insensible sur les valeurs de MQI, soit trop incertain (les changements possibles de morphologie telle qu'une avulsion vers la plaine rive gauche ne peuvent être correctement appréhendés dans l'état des connaissances actuelles).

Dans l'analyse multicritères réalisée sur la base d'indicateurs synthétiques non agrégés, Hydrétudes (2017) indique les impacts suivants pour les différents scénarii, en comparaison au scénario de référence (S0).

Critère*	Indicateur	S0	S1	S2	S3	S4
<b>HydSed</b>	Largeur bande active	RAS	RAS	Augmentation de la largeur du cours d'eau au droit du pont, de 25 m à 35 m	Augmentation de la largeur du cours d'eau au droit du pont, de 25 m à 35 m	Pas d'élément
	Style fluvial	RAS	RAS		Risque de perturbation en raison de l'incision	Pas d'élément
	Bilan sédimentaire	RAS	RAS		Risque de diminution du transport solide en raison des prélèvements réguliers	Pas d'élément
<b>Env</b>	Boisements de lit mineur	RAS	RAS	Légère augmentation des boisements en raison de l'élargissement	Suppression des boisements dans le lit mineur en raison des curages	Pas d'élément
	Diversité des essences	RAS	RAS		Impact des curages : diminution des individus âgés dans le lit mineur	Pas d'élément
	Diversité des micro-habitats	RAS	RAS	Augmentation de la diversité en raison de l'élargissement	Baisse de la diversité en raison des curages réguliers	Pas d'élément

\*HydSed : hydrosédimentaire, Env : environnementaux

### 5.2.1 Modifications apportées aux indicateurs

Les modifications apportées aux indicateurs par les aménagements sur les tronçons d'Aspremont, d'Aspremont aval et de Chauranne sont fournis dans les tableaux suivants. Seules les modifications sont notées en noir, les lettres grecs font références aux justifications des modifications qui sont données par la suite.

**Table 19: Modifications des indicateurs MQI sur les tronçons encadrant Aspremont pour S1 et S2**

		S1			S2		
		AsprAm	Aspr	Chaura	AsprAm	Aspr	Chaura
Indicateur	Nom	Note	Note	Note	Note	Note	Note
<b>F1</b>	Continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	B-	A	A	<b>B+ (η)</b>	A	A
<b>F2</b>	Présence d'un lit majeur moderne	A	A	A	A	A	A
<b>F3</b>	Connectivité versant – corridor rivulaire						
<b>F4</b>	Processus de migration des berges	A	B+	A	A	B+	A
<b>F5</b>	Présence d'un corridor potentiellement érodable	A	A	A	A	A	A
<b>F6</b>	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée						
<b>F7</b>	Altération locale du faciès du lit	A	A	A	A	A	A
<b>F8</b>	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur						
<b>F9</b>	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	A	A-	A	A	A-	A
<b>F10</b>	Altération de la granulométrie	A	A	C1-	A	A	<b>B (η)</b>
<b>F11</b>	Présence de gros bois mort	A	A	B-	A	A	B-
<b>F12</b>	Largeur de la ripisylve	A	A	A	A	A	A
<b>F13</b>	Extension linéaire de la ripisylve	A	<b>B (ζ)</b>	A	A	A	A
<b>Fonctionnalité</b>		<b>0.93</b>	<b>0.88</b>	<b>0.84</b>	<b>0.93</b>	<b>0.95</b>	<b>0.91</b>
<b>A1</b>	Altération amont de l'hydrologie	A	A	A	A	A	A
<b>A2</b>	Altération amont du débit solide	A	B1-	B1	A	<b>B1 (η)</b>	<b>B1 (η)</b>
<b>A3</b>	Altération hydrologique au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A4</b>	Altération du débit solide au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
<b>A5</b>	Structures transversales	B	A	A	B	A	A
<b>A6</b>	Protections de berge	C	B+	A	C	B+	A
<b>A7</b>	Endiguement artificiels	B	B+	A	B	B+	A
<b>A8</b>	Modification artificielle du tracé du cours d'eau	A	A	A	A	A	A
<b>A9</b>	Autre ouvrages de stabilisation du lit	A	A	A	A	A	A
<b>A10</b>	Extraction de sédiment	B2-	A	C	B2-	A	C
<b>A11</b>	Extraction du bois mort	B	A	A	B	A	A
<b>A12</b>	Gestion de la végétation	B	<b>B-(ζ)</b>	A	B	B	A
<b>Artificialité</b>		<b>0.74</b>	<b>0.85</b>	<b>0.88</b>	<b>0.74</b>	<b>0.85</b>	<b>0.88</b>
<b>CA1</b>	Ajustement du faciès de lit	A	A	A	A	A	A
<b>CA2</b>	Ajustement de la largeur du lit	C	B	C	C	B	<b>B- (η)</b>
<b>CA3</b>	Ajustement du niveau du lit	B	B+	B	B	B+	<b>B+ (η)</b>
<b>Ajustement du chenal</b>		<b>0.58</b>	<b>0.71</b>	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>
<b>MQI</b>		<b>0.77</b>	<b>0.83</b>	<b>0.81</b>	<b>0.77</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
<b>[MQImin; MQImax]</b>		<b>[0.74;0.77]</b>	<b>[0.77;0.92]</b>	<b>[0.8;0.81]</b>	<b>[0.76;0.79]</b>	<b>[0.83;0.96]</b>	<b>[0.83;0.91]</b>

		S3			S4		
Confinement		AsprAm	Aspr	Chaura	AsprAm	Aspr	Chaura
Indicateur	Nom	Note	Note	Note	Note	Note	Note
F1	continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	C+ (θ)	A	A	A (λ)-	A	A
F2	Présence d'un lit majeur moderne	A	A	A	A	A	A
F3	Connectivité versant – corridor rivulaire						
F4	Processus de migration des berges	A	B+	A	A	B+	A
F5	Présence d'un corridor potentiellement érodable	A	A	A	A	A	A
F6	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée						
F7	Altération locale du faciès du lit	A	A	A	A	A	A
F8	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur						
F9	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	A	A-	A	A	A-	A
F10	Altération de la granulométrie	A	B- (θ)	C2+ (θ)	A	A	B (λ)-
F11	présence de gros bois mort	A	A	B-	A	A	B-
F12	Largeur de la ripisylve	A	A	A	A	A	A
F13	Extension linéaire de la ripisylve	A	A	A	A	A	A
Fonctionnalité		0.88	0.91	0.81	1.00	0.95	0.91
A1	Altération amont de l'hydrologie	A	A	A	A	A	A
A2	Altération amont du débit solide	A	B2+ (θ)	B2+ (θ)	A	A (λ)	A (λ)
A3	Altération hydrologique au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
A4	Altération du débit solide au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
A5	Structures transversales	B	A	A	B	A	A
A6	Protections de berge	C	B+	A	C	B+	A
A7	Endiguement artificiels	B	B+	A	B	B+	A
A8	Modification artificielle du tracé du cours d'eau	A	A	A	A	A	A
A9	Autre ouvrages de stabilisation du lit	A	A	A	A	A	A
A10	Extraction de sédiment	C (θ)	A	C	B1 (λ)	A	C
A11	Extraction du bois mort	B	A	A	B	A	A
A12	Gestion de la végétation	B	B	A	B	B	A
Artificialité		0.71	0.81	0.83	0.75	0.89	0.92
CA1	Ajustement du faciès de lit	A	A	A	A	A	A
CA2	Ajustement de la largeur du lit	C	C (θ)	C (θ)	C	A - (λ)A-	B (λ)
CA3	Ajustement du niveau du lit	B	B (θ)	B (θ)	B	A (λ)	A (λ)
Ajustement du chenal		0.58	0.58	0.58	0.58	1.00	0.88
MQI		0.74	0.80	0.78	0.80	0.93	0.91
[MQImin; MQImax]		[0.74;0.76]	[0.76;0.88]	[0.78;0.81]	[0.8;0.8]	[0.88;0.99]	[0.9;0.91]

Table 20: Justifications des modifications des indicateurs MQI sur le tronçon La Faurie

N°	Commentaire	S1	S2	S3	S4
ζ	La réfection des digues en place et leur entretien entraînent la suppression de la végétation et de la ripisylve sur sensiblement 450-500 m, soit 10% du linéaire de berge (indicateurs F13 et A12).	X			
η	Le verrou hydraulique formé par la rive droite en aval du pont d'Aspremont a vraisemblablement une forte responsabilité dans la tendance au dépôt amont et le déficit sédimentaire aval. Sa suppression devrait réactiver la continuité sédimentaire (F1 et A2), ce qui devrait entraîner un réajustement de la granulométrie (F10) et des réajustements à la hausse des tendances à l'incision et au rétrécissement de la bande active en aval (CA2 et CA3)		X		
θ	La réalisation de curage régulier (A10) aurait pour conséquence d'aggraver la discontinuité sédimentaire (F1), l'armurage ou la découverte du substratum rocheux déjà engagé des tronçons aval s'aggraverait (F10), on peut aussi s'attendre à un retrait de la bande active sur le tronçon directement en aval (CA2) et à une incision plus sûre (CA3), des processus déjà engagés dans le tronçon Chauranne.			X	
λ	La suppression du pont ajoutée à l'élargissement de la traversée urbaine permet de rétablir complètement la continuité sédimentaire, impactant ainsi les mêmes indicateurs que S2 mais de façon plus sûre et prononcée (F1 et A2, F10, CA2 et CA3). Par ailleurs, la suppression du pont assure l'absence de remous liquide et donc solide même lors des crues rares, ce qui permet d'envisager l'absence de nécessité de curage d'urgence. Une possibilité qui ne peut être exclue dans le scénario 2.				X

### 5.2.2 Evolution des notes globales

Les notes de MQI globales évoluent comme présenté dans le tableau suivant (valeurs absolues et variation relatives à l'état actuel : dégradation en rouge et amélioration en vert). Le tableau synthétise aussi l'effet et l'ambition de chacun des scénarios sur l'état du Grand Buëch :

Table 21: MQI moyens pour les différents scénarii

Secteur	AsprAm		Aspr		Chaura	
	Note	Variation	Note	Variation	Note	Variation
Scénario <b>S0</b>						
<b>MQI</b>	<b>0.77</b>	0%	<b>0.86</b>	0%	<b>0.81</b>	0%
[MQImin; MQImax]	[0.74;0.77]		[0.81;0.94]		[0.8;0.81]	
Scénario <b>S1: faible dégradation au droit d'Aspremont</b>						
<b>MQI</b>	<b>0.77</b>	0%	<b>0.83</b>	-3%	<b>0.81</b>	0%
[MQImin; MQImax]	[0.74;0.77]		[0.77;0.92]		[0.8;0.81]	
Scénario <b>S2: Amélioration du secteur Chauranne liée au rétablissement partiel du transport solide, restauration du secteur Chauranne avec un passage limite dans un état Très Bon : MQI&gt;0.85 (incertitude)</b>						
<b>MQI</b>	<b>0.77</b>	0%	<b>0.86</b>	0%	<b>0.86</b>	6%
[MQImin; MQImax]	[0.76;0.79]		[0.83;0.96]		[0.83;0.91]	
Scénario <b>S3: Dégradation des trois secteurs liés au maintien d'une gestion par curage</b>						
<b>MQI</b>	<b>0.74</b>	-4%	<b>0.80</b>	-7%	<b>0.78</b>	-4%
[MQImin; MQImax]	[0.74;0.76]		[0.76;0.88]		[0.78;0.81]	
Scénario <b>S4: Rétablissement du transport solide permettant une restauration généralisée des secteurs (passage assuré des secteurs aval dans un état Très Bon )</b>						
<b>MQI</b>	<b>0.80</b>	4%	<b>0.93</b>	8%	<b>0.91</b>	12%
[MQImin; MQImax]	[0.8;0.8]		[0.88;0.99]		[0.9;0.91]	

## 6 Recommandations dans l'usage du MQI

On liste ici rapidement les remarques et réflexions utiles qui pourront servir d'autres utilisateurs de la méthode.

- Les créateurs de la méthode indiquent que le temps passé pour son application est de l'ordre de 2-3 jours par tronçon.
  - L'ordre de grandeur est correct pour un utilisateur expérimenté disposant déjà des données.
  - Une phase de prise en main est clairement nécessaire.
  - Le rassemblement des données et leur traitement dépendent peu du nombre de tronçons. Il semble donc peu pertinent d'appliquer la méthode sur un seul tronçon et plus adéquat de réaliser une étude plus large sur plusieurs tronçons permettant de contextualiser chaque valeur.
  - L'interprétation et les visites de terrain dépendent par contre plus du nombre de tronçons. Il faut donc trouver un juste équilibre.
- La base de données SIG du SMIGIBA et les rapports existants ont permis d'accélérer grandement le travail.
  - Le travail sera beaucoup plus long en l'absence de cartographies préalables de caractérisation de l'espace de mobilité fonctionnel, de la bande active à plusieurs dates différentes et d'inventaires des ouvrages (digues, protections de berges, ponts, seuils) ; ainsi qu'en l'absence de cartographies des zones inondables par approche géomorphologique. L'atlas de zones inondables sur le secteur d'étude a été obtenu par approche géomorphologique. Son utilisation a donc du sens dans ce travail. Certaines régions sont déjà bien couvertes en AZI de ce type (PACA et Occitanie notamment) pour une réutilisation semblable de la méthode. Dans le cas de cartographies issues de modélisations numériques non harmonisée à l'échelle du secteur d'étude, une étape d'harmonisation pourrait être nécessaire.
  - Les rapports clés sont des études de transport solide et géomorphologique, le plan de gestion de sédiments et les études d'ingénierie à un stade aussi avancé que possible sur les aménagements à intégrer.
- Les formulaires téléchargeables sur le site REFORM permettent un remplissage sur le terrain mais les classes peuvent clairement être sujettes à interprétation. Il est recommandé de consulter régulièrement l'annexe du rapport REFORM (Rinaldi et al. 2015a) qui clarifie très bien l'esprit de chaque indicateur et le choix des classes. Les rapports étant en anglais, il est indispensable de maîtriser la langue. L'usage d'une simple version traduite du formulaire donnerait des résultats trop dépendant de l'opérateur.
- Nous envisagions initialement d'utiliser le MQIm plutôt que le MQI. L'idée a finalement été abandonnée. Il aurait fallu être capable d'estimer finement des valeurs difficiles à inférer dans l'état futur telles que par exemple : le linéaire de dépôt de bois mort, le linéaire d'apparition des perturbations du profil en travers, la hauteur d'incision ou de dépôt ou encore l'augmentation de la largeur de la bande active. Le MQI est plus grossier mais permet, avec toujours un peu d'incertitude (§2.4) d'inférer les changements de classes sans passer par la valeur précise de l'indicateur quantitatif.  
On peut par contre imaginer l'utiliser dans le monitoring d'opérations réalisées ou à des stades d'études ultérieurs si le travail de caractérisation de la géomorphologie est beaucoup plus avancé (résultats de modèles, etc.).

## 7 Conclusions

Au travers du présent rapport, on a appliqué l'approche du Morphological Quality Index de Rinaldi et al. (2013) sur le Grand Buëch de St Julien en Beauchêne à la confluence avec le Petit Buëch. Le linéaire a été segmenté en 8 tronçons dont 6 ont fait l'objet d'une estimation du MQI. Cette estimation est basée sur 28 indicateurs, réalisée par un travail croisant informations issues des rapports d'études existants, données SIG et visites de terrain.

Au global, on a confirmé que le Grand Buëch est généralement dans un état *Bon* à *Très Bon* sauf dans la traversée du village de La Faurie où l'état est *Modéré*.

Chacun des scénarios d'aménagement étudié dans le rapport d'Hydrétudes (2017) a été pris en compte dans une nouvelle notation. On montre ainsi comment les composantes de chacun des scénarios d'aménagement : renforcement des digues, recalibrage et curage ou élargissement, etc. se cumulent et viennent améliorer ou détériorer la qualité morphologique du cours d'eau.

Autour de La Faurie, les scénarios envisagés couvrent ainsi l'ensemble de la gamme : depuis un état qui reste stable jusqu'à une opération de restauration morphologique ambitieuse permettant d'approcher au plus près le *Très Bon état*.

Autour d'Aspremont, les trois derniers tronçons avant la confluence avec le Petit Buëch, sont respectivement dans des états *Bon* / *Très Bon* / *Bon*. On peut affiner le diagnostic en donnant les valeurs des notes: respectivement 0.77 / 0.86 / 0.81. Ces dernières pourraient être dégradées par un maintien des opérations de curages (-4% / -7% / -4%) ou au contraire augmenter un peu en élargissant le Buëch dans la traversée du village (+0% / +0% / +6%) et encore bien plus en supprimant l'obstacle créé par la pile du pont (+4% / +8% / +12%).

La méthode du MQI semble donc capable de mettre en évidence de façon claire l'augmentation ou la diminution des altérations du cours d'eau, et de donner un avis rapide sur l'ambition de restauration ou au contraire sur la dégradation globale qu'un scénario d'aménagement a sur la rivière. Sa cohérence avec la Directive Cadre sur l'Eau, son aspect standard et sa relative rapidité d'utilisation en fait - à défaut de mieux - un outil pour contribuer à l'évaluation environnementale des projets d'aménagements de cours d'eau.

## 8 Bibliographie

- European Commission, . 2003. Rivers and Lakes – Typologies, Reference Conditions and Classification Systems. . Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document n°10, Brussels, Belgium.
- Hydrétudes. 2013. Définition d'un Plan de Gestion des alluvions du Buëch et de ses affluents - PHASE 1 - Transport solide. Rapport transport solide. Rapport GA 11-088/PHASE 1 - Transport solide/Version 1.10. . SMIIGIBA.
- Hydrétudes. 2014. Définition d'un plan de Gestion des alluvions du Buëch et de ses affluents - PHASE 2 - Espace de Mobilité Concerté & Profil en long Objectif -Notice méthodologique de définition du Profil en Long Objectif. Rapport GA 11-088/PHASE 2 - Espace de Mobilité Concerté & Profil en long Objectif/Version 1.1. . SMIIGIBA.
- Hydrétudes. 2017. Analyse multicritères sur les scénarios d'aménagement du Buëch vis-à-vis du risque inondation - Analyse multicritères -Réf. GA16-30/Etude/Version 1. . SMIIGIBA.
- Malavoi, JR., and JP. Bravard. 2010. Eléments d'hydromorphologie fluviale. . ONEMA.
- Rinaldi, M., A.M. Gurnell, and P. V. M.I. Berga Cano S. Bizzi M. Bussetti M. Gonzalez del Tanago R. Grabowski H. Habersack M. Klösch F. Magdaleno Mas E. Mosselman M. Toro Velasco B. Belletti. 2015a. Final report on methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers - Part 1 Main report. . Deliverable 6.2, a report in five parts of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Rinaldi, M., L. Nardi, and W. V. de B. S. Bizzi K. Brabec F. Comiti L. Demarchi M. Giełczewski B. Golfieri H. Habersack S. Hellsten S. Kaufman M. Klösch E. Marchese P. Marcinkowski S. Muhar T. Okruszko A. Paillex M. Poppe J. Rääpysjärvi H. Seppo M. Schirmer M. Stelmaszczyk N. Surian B. Belletti. 2015b. Final report on methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers - Part 5 Applications. . Deliverable 6.2, a report in five parts of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Rinaldi, M., N. Surian, and B. G. M. Bussetti B. Belletti L. Nardi B. Lastoria F. Comiti. 2015c. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the morphological quality index (MQI) - D6.2, Part 3,. . Deliverable 6.2 of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Rinaldi, M., N. Surian, F. Comiti, and M. Bussetti. 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology* 180-181:96–108.
- SOGREAH. 2011. Etude du transport solide du Grand Buëch - zonages et modalités d'intervention pour une gestion équilibrée. . DDT05.

Irstea – centre de Grenoble  
Unité ETGR  
Domaine universitaire 2 rue de la Papeterie  
BP 76  
38402 Saint-Martin-d'Hères cedex  
tél. +33 (0)476762727  
fax +33 (0)476513803  
**[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)**

