

Phase 2 – Documentation et analyse des solutions identifiées

Solution : Piloter la vidange par l’aval



***Étude des différentes solutions permettant d’optimiser la capacité du
Karst de La Rochefoucauld à soutenir la Charente en étiage***

Table des matières

1.	Principes de la solution de gestion de la vidange du Karst contrôlé par l'aval.....	3
2.	Petit rappel d'hydraulique.....	4
3.	Le contexte hydraulique historique et actuel	5
3.1.	Un lit naturellement très large	5
3.2.	Les aménagements des piscicultures : un schéma hydraulique complexe	6
4.	Les mécanismes hydrauliques à prendre en compte pour chaque solution étudiée	8
4.1.	La diguette (rappel)	8
4.2.	L'aménagement du seuil de la Tracherie	8
4.3.	Hydromorphologie et systèmes fondés sur la nature.....	9
4.4.	Gestion dynamique des herbiers	10
4.4.1.	Principes	10
4.4.2.	Période végétative et contexte hydrologique	11
4.4.3.	Effets hydrauliques.....	12
4.4.4.	Synthèse	14
5.	Conclusions.....	15

1. Principes de la solution de gestion de la vidange du Karst contrôlé par l'aval.

Parmi les solutions identifiées pour optimiser la capacité du Karst de La Rochefoucauld à soutenir la Charente en étiage, un des leviers consiste à piloter la vidange du Karst par un contrôle du niveau aval de la Touvre au niveau des exutoires (Figure 1).

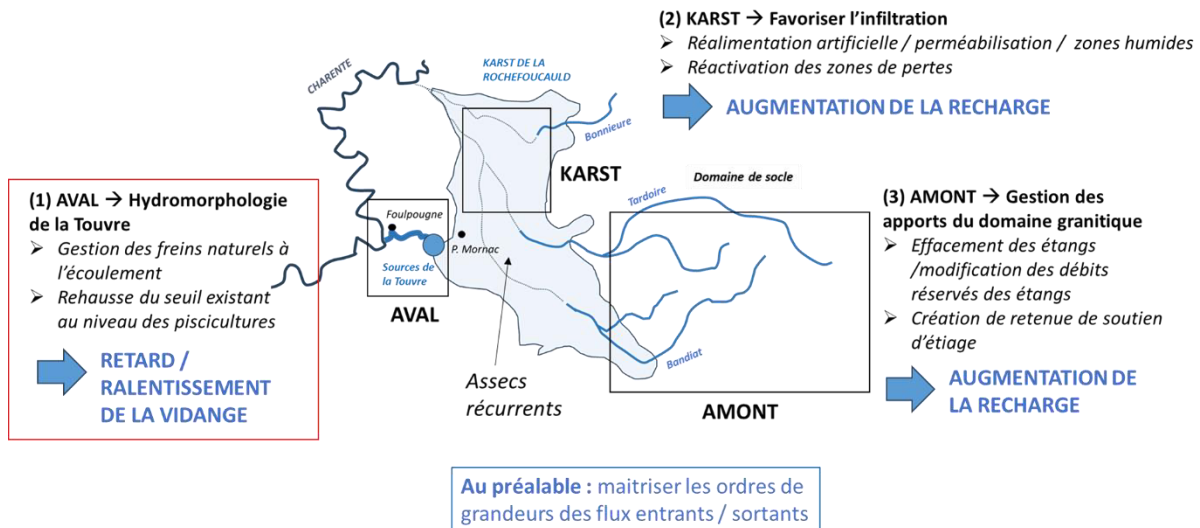


Figure 1 : Schéma du système karstique de la Rochefoucauld et de ses principaux affluents. Les principales solutions identifiées au cours de la phase 1 sont identifiées spatialement sur le territoire.

Cette idée, assez ancienne, est issue d'observations empiriques reliant un effet de frein hydraulique et d'augmentation du niveau du plan d'eau à la pousse saisonnière (printemps et été) d'un important herbier. A l'inverse, le faucardage régulier organisé par les pisciculteurs en dégageant des couloirs libres, guidant les écoulements vers les prises d'eau, se traduisait par un abaissement du niveau amont. Cette observation a même été interprétée comme une action indirecte sur la vidange du karst.

Pour l'ensemble de ces solutions, une des difficultés de l'analyse repose sur l'évaluation de l'impact quantitatif de la modification des niveaux sur les débits de la Touvre. En l'état, l'absence de données et d'études dédiés ne permet pas de réaliser cette évaluation.

La note qui suit détaille brièvement l'hydromorphologie du secteur aval en interaction hydraulique avec l'exutoire des sources. Les différentes solutions envisageables qui peuvent peser sur ce niveau aval sont ensuite décrites, notamment du point de vue : (1) de l'impact probable de la solution sur les niveaux de la rivière et (2) de l'impact probable de l'aménagement sur le milieu et les activités et acteurs locaux.

2. Petit rappel d'hydraulique

Partons du principe que l'effet recherché est une rehausse du niveau de la Touvre au niveau des sources. Le schéma ci-dessous (Figure 2) explique deux mécanismes principaux à prendre en compte.

Le premier effet est le plus intuitif. En créant un obstacle à l'écoulement, le niveau d'eau est obligatoirement relevé.

Le second s'appelle la courbe de remous. Si l'on s'éloigne de l'obstacle en amont, ce niveau se raccorde avec l'écoulement naturel du cours d'eau qui lui-même présente une pente. L'effet induit est donc une rehausse du niveau qui peut dépasser en altitude la cote du plan d'eau aval. Cet effet est donc celui d'un frein à l'écoulement qui se propage vers l'amont et qui est l'une des caractéristiques intrinsèques des écoulements fluviaux.

Les solutions artificielles ou naturelles visant à la rehausse du niveau en aval immédiat des sources, doivent intégrer ces effets, que ces solutions soient proches ou éloignées des sources.

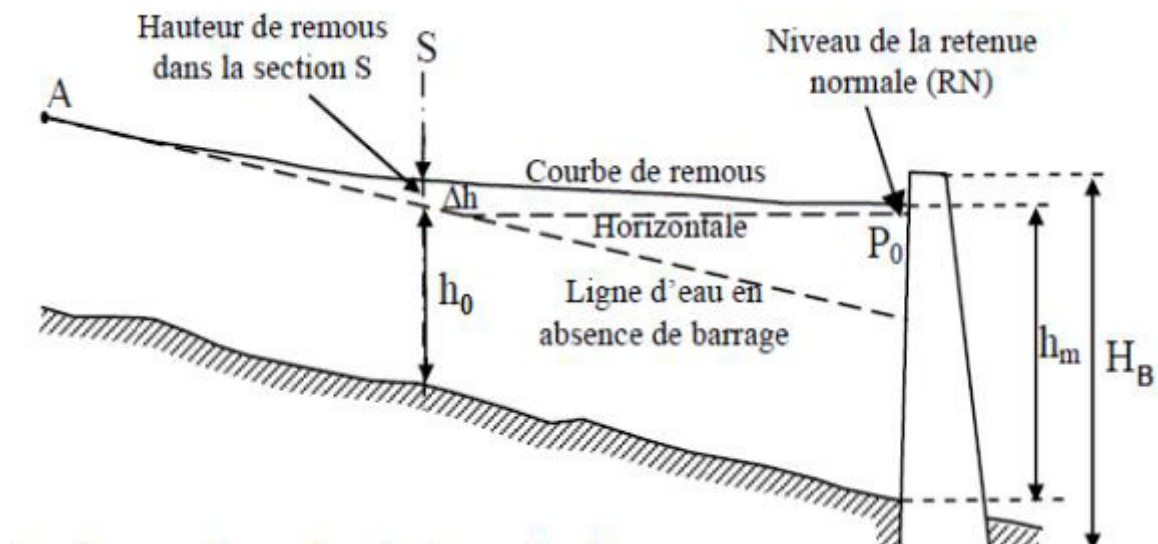


Figure 2 : Schéma explicatif de l'effet d'une retenue sur la hauteur d'eau d'une rivière

3. Le contexte hydraulique historique et actuel

3.1. Un lit naturellement très large

Les sources de la Touvre émergent dans ce qui semble un vaste plan d'eau de 100 mètres de large et dont l'exutoire aval, situé à environ 500 m des sources, est aujourd'hui largement aménagé avec des ouvrages hydrauliques qui constituent un ensemble assez complexe. Les photographies aériennes montrent un système manifestement peu profond, sauf au niveau des cavités exutoires des principales sources, et avec une forte emprise de la végétation aquatique.

Les photographies historiques de ce site (années 1950, Figure 4), réalisées avant la création des piscicultures, et plus avant selon les différents fonds de carte disponibles, montrent que la Touvre a toujours présenté ce faciès, avec un lit très large proportionnellement au débit et une circulation de l'eau en tresse sur un fond caillouteux mais sans évolution significative de la largeur.

Dans ce type de configuration naturelle, le niveau de l'eau était régi par des écoulements assez homogènes de type radier, sans rupture de pente singulière et donc très dépendant du débit mais aussi de la rugosité du fond. L'absence de gros blocs a donc donné un rôle prééminent à la dynamique végétale avec une alternance de périodes de frein en étiage estival et sans doute d'accumulation sédimentaire des limons issus du karst suivi de phase d'érosion de ces limons dès la disparition de la végétation concomitante à un régime de hautes eaux.

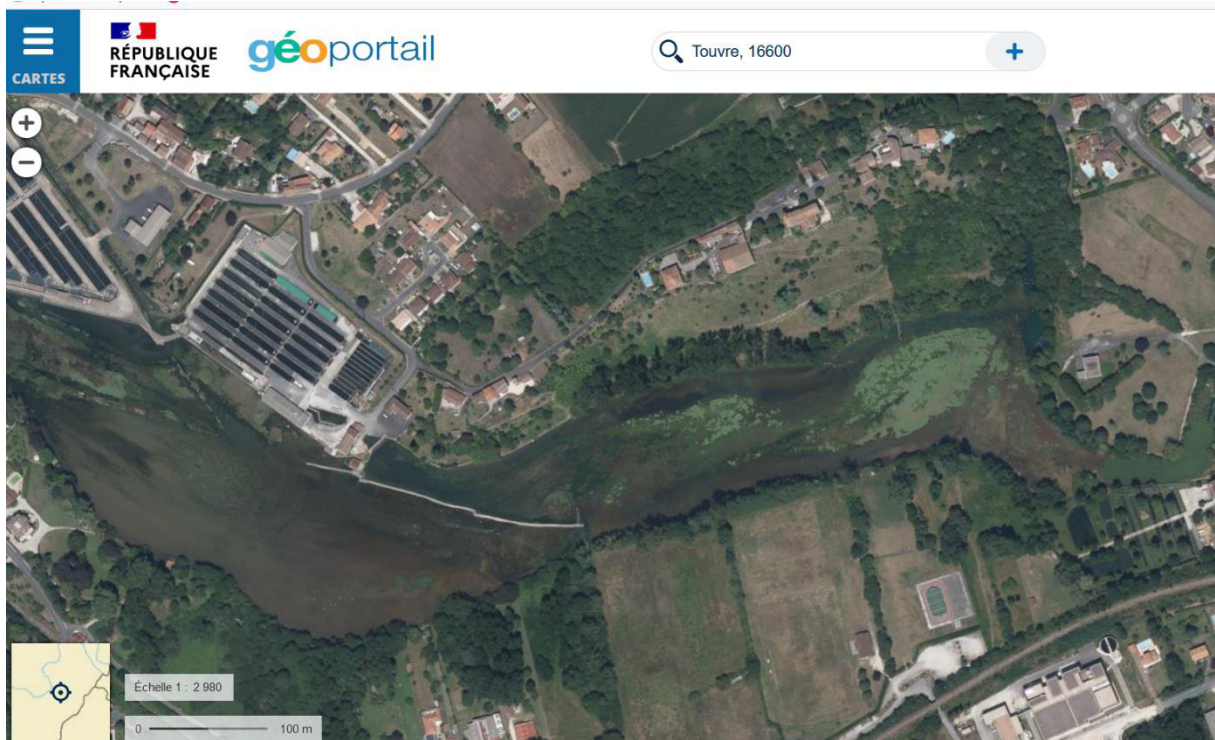


Figure 3 : Photographie aérienne des sources de la Touvre (source : Geoportail¹)

¹ <https://www.geoportail.gouv.fr/>



Figure 4 : Photographie aérienne historique des sources de la Touvre (source : Geoportail¹)

3.2. Les aménagements des piscicultures : un schéma hydraulique complexe

Aujourd'hui, pour comprendre l'hydraulique de ce secteur, il faut prendre en compte les aménagements des piscicultures et en particulier la première rencontre en aval, celle dite du moulin du Roy, puis de la pisciculture des Ores. Ces deux piscicultures gèrent en commun le partage de l'eau dans le respect de leurs autorisations administratives.

Un schéma explicatif illustre les principaux points d'intérêt hydraulique de ces aménagements (Figure 5). Il n'y a aucun intérêt à analyser la situation plus en aval, compte tenu du dénivelé, sauf à imaginer un ennoïement complet des piscicultures et un bouleversement total du site.

Le moulin du Roy est alimenté par un entonnoir d'une part de l'écoulement de la Touvre concrétisé par un muret et qui délimite en rive droite le bief d'amenée d'eau (1 sur la Figure 5) et en rive gauche le reste du lit naturel qui s'évase (3 sur la Figure 5) au fur et à mesure que le bief se referme. Le point amont de ce dispositif est le seuil de la Tracherie (1bis sur la Figure 5), seuil qui fut détruit par l'Etat car piégeant les arbres morts il y aurait environ 40 ans. Aujourd'hui, ce site de 20 mètres de large environ est encombré de gros blocs qui freinent l'écoulement et favorisent un développement de la végétation en amont immédiat ; il présente un faciès de rapides. Le dénivelé mesuré par Eaucéa² en étiage en 2022 est d'environ 40 cm.

Dans le bief de prise d'eau (1, Figure 5) l'écoulement est piloté par la pente, la rugosité du fond et la section mouillée mais aussi par le jeu de vannes latérales et de la prise d'eau équipée de grilles (2 sur la Figure 5). A noter qu'au niveau du moulin du Roy, le muret n'est que exceptionnellement submergé (très hautes eaux) malgré une revanche assez modeste d'environ 20 cm au niveau de la prise d'eau.

Plus en aval, l'eau issue du déversement au niveau du seuil de la Tracherie, des restitutions du bief amont et de la restitution de la piscicultures (4 sur la Figure 5) se partage entre la pisciculture aval (5 sur la Figure 5), deux canaux (7 et 6 sur la Figure 5) et une vanne sous l'ancienne usine hydroélectrique.

² Etude du DMB des piscicultures- Eauceca 2023

Les ordres de grandeurs en termes de gestion de niveau par la pisciculture amont sont donc de l'ordre de quelques décimètres. C'est ce dénivelé qui entretient le processus gravitaire de la pisciculture.

Nous retiendrons de cette description l'extrême complexité de ce dispositif qui serait forcément perturbé par des interventions lourdes.

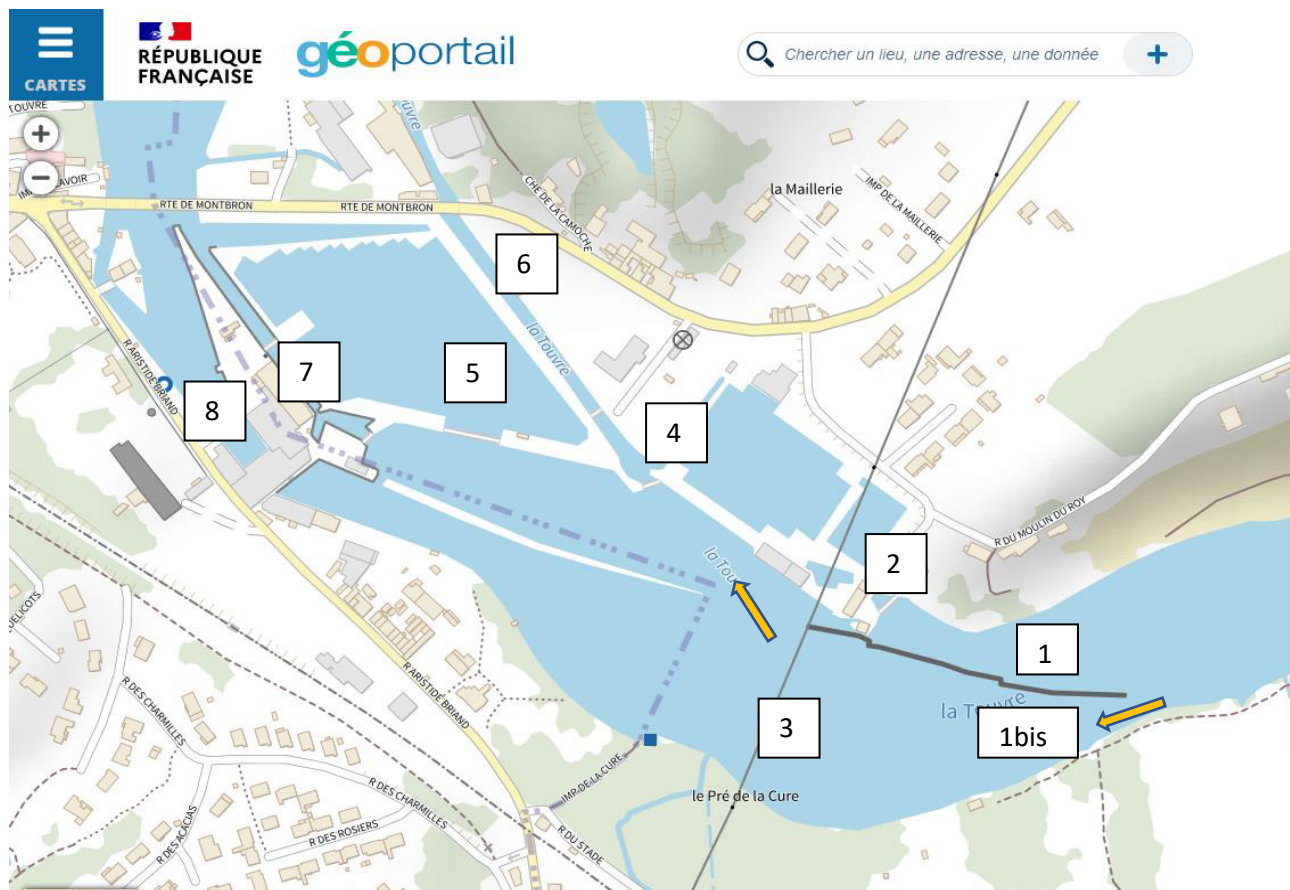


Figure 5 : Schéma explicatif des aménagements des piscicultures sur la Touvre.

4. Les mécanismes hydrauliques à prendre en compte pour chaque solution étudiée

Quatre solutions ont été identifiées et sont analysés ci-dessous.

4.1. Surélévation du fil d'eau des source à l'aval immédiat des resurgences (rappel)

Cette solution assez complète et localisé à proximité immédiate des sources, est traitées par ailleurs (chap. 2.3 du rapport principal).

Il s'agit ici de construire une digue (barrage) qui enserre les sources au plus près. Dans ce cas de figure la cote du « fil d'eau » est directement déterminée par la géométrie de la diguette, l'altitude et le linéaire du seuil de déversement et les ouvrages de régulation (vanne par exemple).

Ce type d'ouvrage doit être adapté aux événements hydrologiques de débits de crue élevés mais aussi aux débits d'étiages. Si le déversoir est un seuil fixe, la cote de l'eau augmentera spontanément avec le débit des sources. Cet effet peut être recherché pour favoriser le stockage en hautes eaux mais dès que les débits baisse le niveau s'abaisse aussi.

Pour piloter le niveau d'eau quel que soit le débit, il faut envisager un dispositif évolutif qui s'ajuste aux objectifs recherchés et au débit. Cela suppose des systèmes de gestion (type vanne) et de régulation qui imposent le plus souvent une motorisation électrique.

Dans tous les cas de figure, il semble qu'il soit nécessaire de fonder ce type d'ouvrage sur un radier avec un génie civil bien conçu.

En ce qui concerne les impacts locaux, les pisciculteurs lors des entretiens soulignent les risques de rupture et d'effacement brutal de l'obstacle artificiel, même provisoire.

Notons par ailleurs que cet aménagement aura des répercussions sédimentaires localement.

4.2. L'aménagement du seuil de la Tracherie

Dans cette solution, l'augmentation du niveau d'eau est reportée très en aval des sources (500 m environ). Le principe de l'action reste cependant identique à la solution précédente.

La différence principale est la localisation du seuil, plus éloigné des résurgences, entraînant un amortissement des effets de la solution en lien avec la pente hydraulique de la rivière (cf chapitre 2). Pour obtenir une augmentation de 50 cm au niveau des sources (équivalent à l'augmentation proposée pour la solution type « diguette »), il faut donc augmenter le niveau d'eau au niveau de la Tracherie de **50 cm + X**, avec X la pente de la ligne d'eau entre la Tracherie et les sources, inconnue et dépendante du débit. La détermination de cette valeur inconnue repose sur la réalisation d'une modélisation hydraulique, elle-même nécessitant des relevés topographiques complets (aujourd'hui indisponible).

Une fois fixé ce niveau, il faudrait reconstruire le seuil de la Tracherie en envisageant un système de régulation pilotable. La question de la gouvernance du dispositif constitue une seconde problématique (qui ? comment ?).

Mais la principale difficulté se situe au niveau du bief d'amenée d'eau. Le muret de séparation du bief d'amenée est assez peu élevé au dessus du niveau de l'eau (environ 20 cm). Il n'est donc pas possible de réguler ce niveau en jouant sur la seule prise d'eau de la pisciculture sans provoquer des versements sur le muret, sauf à rehausser l'ensemble des ouvrages du bief.

Il faudrait donc imaginer une régulation du niveau en amont du bief, ce qui reviendrait à fermer complètement la Touvre par un ouvrage transversal. Le bief de la pisciculture serait alors alimenté par un dispositif de restitution de même que le secteur naturel en rive gauche.

En amont, le plan d'eau créé serait donc plus profond au départ puis risquerait de se combler par les apports sédimentaires qu'il serait très difficile (voire impossible) d'évacuer par chasse hydraulique compte tenu de la configuration du site (section très large nécessitant un vannage asservi de l'ordre de 20 à 30 m de large pour absorber les crues). La conséquence serait un exhaussement durable du fond.

Un tel ouvrage serait complexe à réaliser. Il perturberait lourdement le fonctionnement des piscicultures pendant la phase des travaux (construction de batardeaux, dérivation temporaires, turbidité) et peut être considéré comme irréversible.

Des estimations sommaires fondées sur une largeur de 100 m environ pour une hauteur au dessus du sol d'environ 2 m aboutissent à des coûts d'investissement estimés autour de 400 000 à 500 000 euros hors études et dispositif de compensation environnementale.

En conclusion, cette solution pose plusieurs problématiques :

- Du point de vue des effets sur la Touvre, on note que pour obtenir des effets identiques à la même solution mais positionné en amont au niveau des résurgences, la dimension et l'importance de l'ouvrage est nécessairement plus fortes.
- Du point de vue des impacts environnementaux et locaux, on note un impact très fort sur le système des piscicultures (cf chapitre 3.2)

Une évidence à rappeler : Une augmentation des niveaux d'eau par la pisciculture des Ores condamnerait le système alimentaire de la pisciculture du moulin de Roy.

4.3. Hydromorphologie et systèmes fondés sur la nature

La gestion hydromorphologique d'un cours d'eau consiste à orienter ou restaurer la dynamique alluvionnaire et favoriser des formes de lit favorables à tel ou tel objectif environnemental. La suppression de seuil, la gestion des berges ou la recharge granulométrique sont des actions classiques dans les travaux hydromorphologiques.

Dans le cas de la Touvre amont, l'objectif environnemental recherché serait une rehausse de la ligne d'eau notamment en phase d'étiage et de tarissement. Or la Touvre en amont du premier seuil, parfois appelé le plateau présente actuellement une largeur mouillée d'environ 100 m sur environ 500 de long soit 50 000 m².

Cette largeur mouillée, plus large que la Charente par exemple, est remarquablement importante en regard des débits transitant (module d'environ 13 m³/s). La haute vallée de la Touvre ne présente pas de terrasses alluviales significatives et emboîtées ni de lit mineur incisé mais se présente plutôt comme une zone de dépôt alluvionnaire plutôt plane. **C'est donc la situation la plus favorable qui soit vis-à-vis de l'effet recherché. Il est probable que cette situation soit naturelle, ce qui pose des questions**

scientifiques intéressantes sur l'histoire hydromorphologique de cette partie de la Touvre (origine et renouvellement des granulats).

La présence du seuil en aval favorise la stabilité de ce système alluvionnaire qui doit donc être protégé mais ne nécessite pas de travaux spécifiques. Rappelons qu'une rehausse du fond du lit sur 5 hectares environ imposerait un apport de matériaux alluvionnaires d'environ 750 à 1000 T de graves par cm de rehausse. La qualité de ces graves ne doit pas dénaturer le matelas alluvial actuel largement constitué de cailloux à bas siliceuse. Cette solution serait peu réversible et très coûteuse notamment en termes de bilan carbone pour trouver des gisements adaptés.



Figure 6 : Photographie du lit de la Touvre (photo Eaucéa)

4.4. Gestion dynamique des herbiers

4.4.1. Principes

L'idée consiste à orienter les mécanismes naturels de la pousse des herbiers aquatiques ou les stratégies de faucardage vers une dynamique favorable à l'effet hydraulique recherché (ralentissement ou accélération de la vidange).

Ces herbiers sont constitués notamment de Callitriche et de Berle dressée (cresson sauvage). Ce sont des espèces aquatique et semi aquatique adaptées aux conditions hydrauliques, géologiques et

thermiques de la Touvre. C'est un habitat naturel remarquable et qui joue sans doute un rôle important dans la dynamique sédimentaire et la transformation de la qualité des eaux (effets sur la saturation gazeuse).

4.4.2. Période végétative et contexte hydrologique

La période de végétation dépend des conditions climatiques et thermiques mais aussi sans doute de la luminosité. Des observations³ montrent qu'en année plutôt sèche comme 2020 le démarrage s'observe en mars avril alors qu'en année de forts débits comme 2024 c'est plutôt entre mai et juin. La fin de la période de végétations serait de fin septembre à début octobre. La dynamique interannuelle est encore mal comprise comme beaucoup des facteurs environnementaux favorisant ou au contraire freinant le développement de ces espèces.

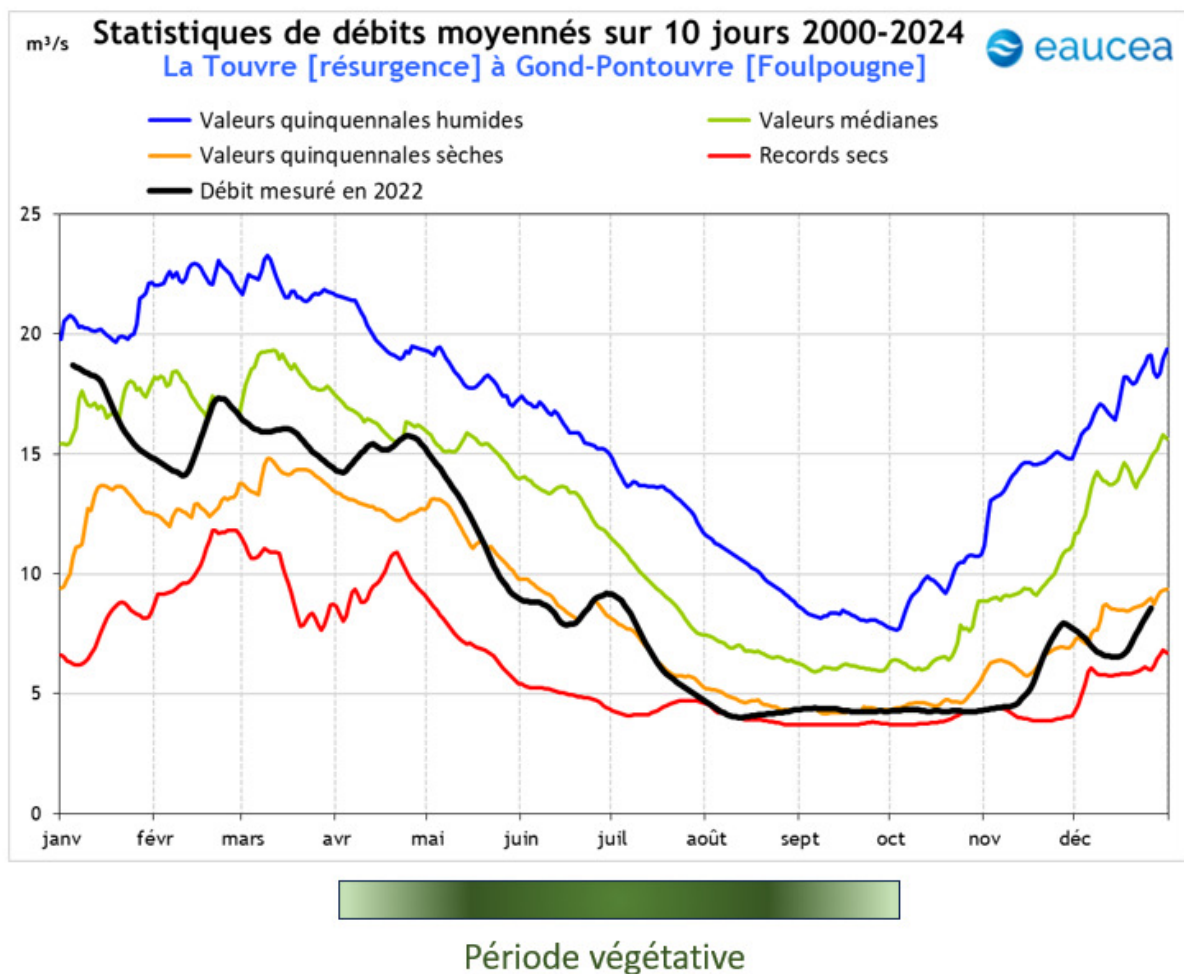


Figure 7 Calendrier du tarissement et de la période végétative

La pousse de la végétation aquatique en période printanière, coïncide statistiquement, avec le début du tarissement du karst. La fin de la période végétative correspond à la fin de ce tarissement et au début de la reprise des écoulements.

En conséquence, la dynamique naturelle recouvre bien les objectifs hydrauliques poursuivis. Un faucardage en septembre conduira à un abaissement anticipé de la ligne d'eau et donc à une vidange

³ Communication personnelle avec Mathieu Tallon, directeur du Sybra

accrue du karst. En revanche, en début de période au printemps, le pilotage contrôlé du développement des herbiers répond à des exigences multifactorielles très mal comprises sur le secteur.

Des observations naturalistes permettraient sans doute d'améliorer cette connaissance et peut être à moyen terme de favoriser une pousse dirigée. Nous sommes actuellement, loin d'une « culture végétale parfaitement maîtrisée » et les aléas naturels pouvant peser sur cette cinétique sont très importants : hydrologie, qualité des eaux, broutage, effets sanitaires, concurrence entre espèces, etc. Notons le constat, encore mal expliqué, d'une disparition des herbiers sur certains secteurs du site depuis environ 20-30 ans, constat partagé par les acteurs locaux (voir entretien avec les pisciculteurs et avec le Sybra).

4.4.3. Effets hydrauliques

Sur le plan de la distribution spatiale, la végétation se répartit en patch parfois très denses et offrant lorsque ces îlots de végétation sont en continuité, un effet de frein hydraulique manifeste.



Figure 8 : Photographie illustrant l'impact des herbiers aquatiques de la Maillerie sur les écoulements. Toute la section est encombrée (source Eaucéa).

Les incidences sur les hauteurs d'eau sont régulièrement observées sur des stations hydrométriques soumises à cet effet de la végétation. Sur le site des piscicultures la modélisation hydraulique du canal de la Maillerie a conduit aux observations suivantes en condition expérimentale favorable (section, granulométrie et pente constante).

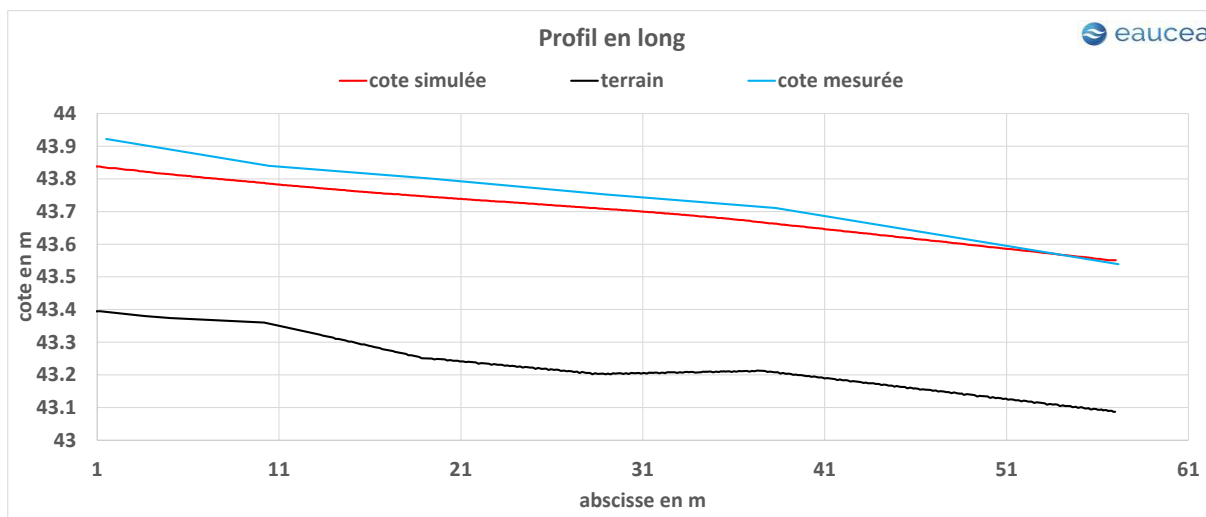


Figure 9 : profil en long de la rivière et côte simulée et mesurée en fonction de la rugosité du fond liée à la végétation

La présence des herbiers modifie fortement la rugosité du fond et la hauteur d'eau. Du point de vue de la modélisation hydraulique, la présence des herbiers joue un rôle très variable selon la hauteur d'eau (et donc le débit). Plus le débit est élevé, moins l'influence des herbiers est importante. Cet effet est pris en compte en réalisant des simulations pour 2 valeurs de rugosité différentes selon le débit.

Les références disponibles dans la littérature scientifique sont bien résumées dans le tableau ci-dessous ; l'effet de frein est donc modélisable en théorie.

Tableau de Chow (1959)

Type de chenal et description	K_S min.	K_S normal	K_S max.
1. Lits mineurs			
a. propres, rectilignes, bien remplis d'eau, sans failles ni mouilles profondes	30	33	40
b. comme ci-dessus, mais plus de pierres et d'herbiers	25	29	33
c. propres, sinueux, quelques mouilles et hauts-fonds	22	25	30
d. comme ci-dessus, mais quelques herbiers et pierres	20	22	29
e. comme ci-dessus, hauteurs d'eau plus faibles, avec des pentes et tronçons plus inefficaces	18	21	25
f. identiques à d avec plus de pierres	17	20	22
g. tronçons mous, herbeux, mouilles profondes	13	14	20
h. tronçons très herbeux, mouilles profondes, ou lits moyens encombrés de bois et sous-bois	7	10	13

Cassiopée est un outil proposé par l'[OFB \(Office Français de la Biodiversité\)](#) dans le cadre des conventions [OFB-Irstea](#); le site cassiopée.g-eau.fr est édité par l'[UMR G-EAU \(Unité Mixte de Recherche Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages\)](#)

Les impacts hydromorphologiques de la végétation aquatique sont encore mal décrits sur le plan scientifique. Des tests expérimentaux⁴ confirment cependant une incidence significative sur la sédimentation et la réduction de l'érosion.

4.4.4. Synthèse

Pour résumer, l'impact hydraulique d'une forte végétation aquatique est certains et coïncide favorablement avec les objectifs de limitation de la vidange ; pour une même biomasse, il est proportionnellement plus élevé en bas débit qu'en haut débit. Il serait sans doute modélisable sous réserve d'une description précise de la bathymétrie et de la végétation (campagne drone aérien). Cependant, sur une section naturelle de 100 m de large, nous recommandons si l'on devait favoriser cette solution et expertiser l'impact hydraulique de procéder à des mesures de la ligne d'eau à différents débits et à différentes périodes végétatives.

Ainsi, le succès d'une « restauration des herbiers » n'est pas si évident et n'est pas garanti dans la mesure où les causes de leur « disparition » partielle ne sont pas clairement identifiées, car probablement multi-factorielles.

⁴ H.Romdhane, et al, 2018, Effect of vegetation on flows and sediment transport. In E3S web of conferences (Vol. 40, p. 02017). EDP Sciences.

5. Conclusions

Parmi les solutions envisagées, il semble que la plus réaliste serait un ouvrage de proximité mais dont le génie civil reste à définir. On note que l'avis de l'Architecte des Bâtiments de France (ABF) et de la DREAL juge défavorablement des ouvrages qui seraient trop visibles, rendant la conception de ce génie civil complexe.

Les autres solutions auraient soit des répercussions très importantes sur la sédimentation et les piscicultures, soit apparaissent très aléatoires en termes d'efficacité hydraulique.



Figure 10 : Seuil de la Trache amont moulin du Roy. Point d'injection du débit réservé et de sa mesure potentielle en situation sans végétation. Le seuil est hétérogène avec un amoncellement de bloc en aval immédiat.



Figure 11 : En période de forte végétation (base renoncule - aout 2021) les déversements et les écoulements sont très contraints, rendant délicate la métrologie par une fonction unique hauteur débit.