

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2019

**Optimisation des temps de traitement d'un outil de détermination
de l'état hydro-géomorphologique (outil MQI)**

Application à un secteur de la Loire dans le cadre du projet d'étude R-TEMUS



Thomas Bonnafox sous la direction de Coraline Wintenberger

Année 2018-2019

**Optimisation des temps de traitement d'un outil de détermination
de l'état hydro-géomorphologique (outil MQI)**

Application à un secteur de la Loire dans le cadre du projet d'étude R-TEMUS

Coraline Wintenberger

Année 2018-2019

Thomas Bonnafox

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en Génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mme Coraline Wintenberger, ingénieure de recherche à l'Université de Tours, ainsi que M. Stéphane Rodrigues, enseignant-chercheur, pour avoir proposé ce sujet de projet de fin d'étude, et ainsi m'avoir offert l'opportunité de travailler sur cette problématique.

En particulier, je remercie Mme Coraline Wintenberger pour son aide et ses conseils tout au long du projet, notamment à travers plusieurs réunions d'état d'avancement du projet de fin d'étude.

Sommaire

Avertissement	III
Remerciements	V
Introduction.....	1
I. Contexte de l'étude	2
1. Présentation du projet R-TEMUS	2
2. Secteur étudié	3
3. Méthodologie mise en place	4
4. Objectif de ce PFE.....	7
II. Matériels et méthodes	8
1. Prise en main de la méthode MQI.....	8
2. Analyse des paramètres	9
2.1. Paramètres fixes	9
2.2. Paramètres simplifiables	10
2.3. Paramètres non simplifiables	13
III. Résultats	14
1. Classement des paramètres	14
2. Automatisation des paramètres simplifiables.....	16
IV. Discussion.....	17
1. La méthodologie MQI.....	17
2. Optimisation des temps de traitement	18
3. Autres optimisations possibles.....	19
4. Bilan personnel du projet	19
Conclusion	20
Table des figures.....	21
Table des tableaux.....	21
Bibliographie.....	22
Annexes	i
Annexe 1 : Rappel - Bases communes aux modèles Builder sous SIG.....	i
Annexe 2 : Fiche méthodologique – Paramètre F9	iii
Annexe 3 : Fiche méthodologique – Paramètre F1	viii
Annexe 4 : Fiche méthodologique – Paramètre A6	xi

Introduction

L'ensemble des hydrosystèmes français, mais aussi européens, ont subi d'importantes dégradations au cours du temps, aussi bien d'un point de vue écologique que d'un point de vue physique. La lutte contre les phénomènes d'inondations s'est par exemple traduite par la création de couloirs endigués ; l'espace de mobilité de certains fleuves et rivières s'est alors fortement réduit, le cours d'eau se retrouvant privé d'une partie de son lit majeur. Dans le même temps, il est possible de citer l'extraction de sédiments, autorisée jusqu'à l'arrêté de 1994 relatif à l'interdiction de l'extraction des matériaux dans le lit mineur des cours d'eau (Légifrance), qui s'est caractérisée par des phénomènes d'incisions plus ou moins importants. De même, il est possible d'évoquer la création de barrages pour l'hydroélectricité, qui impactent la continuité des débits liquide et solide d'un cours d'eau, ou encore le développement de la navigation fluviale qui s'est traduite par exemple par la mise en place d'épis, de duits, ainsi que par des travaux de canalisation des rivières.

L'ensemble de ces exemples constitue une liste non exhaustive illustrant les impacts de certaines pressions d'origines anthropiques, dont les effets perdurent encore aujourd'hui, sur les hydrosystèmes. Cela explique en partie la dégradation de la qualité globale des milieux aquatiques. C'est à partir de ce constat que la réglementation visant à mieux les protéger s'est développée. Cela se traduit de manière concrète avec la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 1992, à travers l'apparition par exemple des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Légifrance). Plus récemment, il est possible de citer la déclaration européenne cadre sur l'eau de 2000, retranscrite dans le droit français en 2006, qui fixe des objectifs d'atteinte du bon état pour l'ensemble des masses d'eau en France.

Un des buts de ces diverses réglementations est d'évaluer le plus précisément possible l'état d'un milieu aquatique afin de déterminer, par la suite, les objectifs de restauration et la manière de les atteindre. Se baser sur les processus hydro-sédimentaires, éléments essentiels du fonctionnement des hydrosystèmes constitue également une solution pour restaurer la qualité écologique du site par la suite. C'est sur la base de ce postulat de départ que ce rapport s'articule, tout en s'intégrant dans un projet de plus grande échelle, le projet R-TEMUS : Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'Usages en Basse Loire. Le travail développé au sein de ce rapport de projet de fin d'étude (PFE) s'intéresse à la manière d'optimiser les temps de traitement d'un outil nommé Morphological Quality Index (MQI) permettant de réaliser une analyse précise de l'hydromorphologie d'un site (Rinaldi *et al.*, 2013).

Ainsi, ce rapport comprendra d'abord une partie contexte qui expliquera le projet dans lequel ce rapport s'intègre, ainsi qu'un descriptif plus précis de l'outil MQI. Dans un second temps, la méthodologie réalisée pour réduire les temps de traitement de l'outil MQI sera détaillée. Enfin, les résultats obtenus seront présentés dans un tableau bilan et suivis d'une discussion et d'une critique du travail et des résultats obtenus.

I. Contexte de l'étude

1. Présentation du projet R-TEMUS

Cette étude s'intéresse à la Loire, le plus long fleuve de France, qui prend sa source au sud-est du Massif central, et traverse la région Centre avant de rejoindre son embouchure sur la côte Atlantique, après un parcours d'environ mille kilomètres. Considérée comme le « dernier fleuve sauvage d'Europe » dans divers écrits, tels qu'au sein d'articles rédigés par la mairie de Nantes ou encore par des journaux de la région Centre, la Loire n'en reste pas moins soumise à de nombreuses pressions d'origine anthropique. La Loire présente en effet encore des processus hydro-sédimentaires qui ne sont plus visibles sur d'autres grands fleuves français, mais elle n'en reste pas moins soumise à certaines pressions anthropiques. Des constructions d'épis, radiers, barrages, couloirs endigués ont été mis en œuvre, des extractions de sédiments ont été effectuées, des berges ont été aménagées pour ne plus être érodées, la ripisylve a subi d'importantes modifications, etc. Ainsi, l'ensemble du fonctionnement de cet hydrosystème subit des pressions.

Cela se traduit notamment par une modification du transport sédimentaire de la Loire. Un phénomène d'incision d'un chenal préférentiel au détriment des autres chenaux se met alors en place (Bazin et Gautier, 1996), la Loire se caractérisant par un style fluvial à chenaux multiples sur sa partie moyenne et basse. Mais, ces phénomènes d'incision sont communs à l'ensemble des fleuves français qu'ils soient à chenaux uniques ou multiples, et ils engendrent de nombreux problèmes pour les ouvrages présents dans le lit mineur ou majeurs de ces cours d'eau comme les ponts ou digues. Ce phénomène est visible sur la Loire mais aussi sur le Rhône par exemple (Arnaud-Fasseta, 2003). Il en résulte aussi, pour les cours d'eaux à chenaux multiples comme la Loire, une modification progressive du style fluvial vers un cours d'eau à chenal unique. En effet, de par la déconnexion des chenaux secondaires suite à leur incision, ils vont être alors fortement colonisés par la végétation. La dynamique de succession de la végétation riparienne (végétation pionnière, forêt de bois tendre, puis forêt de bois dur) est alors impactée pour ces milieux moins soumis aux crues, ce qui entraîne leur fermeture par la végétation de manière progressive (Bornette et *al.*, 1996). De manière concrète, ces phénomènes se retrouvent sur la Loire avec l'effondrement du pont Wilson en 1978 à Tours, comme illustré sur la figure 1.

Pour lutter contre l'implantation de la végétation dans les annexes fluviales, diverses actions sont mises en œuvre, avec différents travaux d'entretien par exemple, pour éviter que ces chenaux ne se referment. Ces actions peuvent être couplées avec des programmes scientifiques afin de comprendre leurs répercussions sur le milieu et les optimiser (Rodrigues et Gautier, 2007).



Figure 1: Effondrement du pont Wilson à Tours le 9 Avril 1978 (Source : La Nouvelle République)

C'est ainsi sur la base d'un double constat que le projet de recherche, dans lequel s'intègre ce rapport, a été mis en place. Le lit de la Loire s'incisant au fil du temps, et les effets de la marée

dynamique se faisant ressentir de plus en plus en amont, comme cela sera détaillé plus en détail dans la prochaine section, des travaux pour limiter ces phénomènes doivent être effectués. C'est ainsi qu'a été mis en place le projet R-TEMUS : Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'Usages en Basse Loire. L'objectif est d'adopter une approche interdisciplinaire afin d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement de la basse Loire.

Ce projet résulte d'une coopération, dès l'année 2011, entre divers acteurs du territoire à savoir l'Université de Tours, anciennement appelée Université François Rabelais, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB), le Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire (GIPLE), les Voies Navigables de France (VNF) et la Région Pays de la Loire (Rodrigues, 2016). Un programme d'aménagement de grande ampleur porté par VNF via le Contrat pour la Loire et ses Annexes (CLA) est donc chargé de cibler des actions sur le lit mineur et des actions de restauration des bras secondaires/bras morts sont portées par le CEN. C'est dans ce contexte que le programme de recherche R-Temus se greffe afin de déterminer l'état initial du site et les conséquences des aménagements sur le milieu.

Pour cela, trois axes ont été analysés au sein de cette étude, comme le montre la figure 2. Le premier s'intéresse au contexte abiotique de ce secteur de la Loire, ce qui se traduit par l'étude de la morphologie et du transport sédimentaire de la basse Loire. Le deuxième correspond à une analyse de l'axe biotique, avec l'étude de l'écologie végétale, ainsi que de celle des macroinvertébrés du secteur. Enfin, le troisième axe se base sur un examen du contexte sociétal (Projet R-Temus).

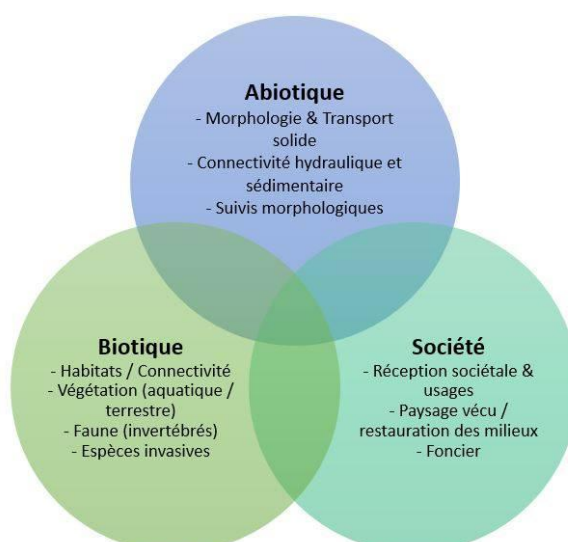


Figure 2 : Axes du projet R-TEMUS (Source : R-Temus)

C'est sur le développement du premier paramètre que ce rapport sera axé, à savoir l'étude du contexte abiotique de la basse Loire. Il correspond à la création d'une synthèse morphologique à grande échelle sur le secteur d'étude. Cette synthèse a pour objectif de visualiser l'état des connaissances et des données manquantes afin d'établir un état initial avant travaux et de proposer une méthode d'évaluation de la qualité morphologique.

2. Secteur étudié

Le secteur d'étude correspond donc à la basse Loire, comme évoqué précédemment, qui s'étend de Montsoreau, près de Saumur (à l'aval de la confluence entre la Loire et la Vienne) à Nantes, comme le montre la figure 3. De manière plus précise, l'étude présentée lors de ce projet s'étend des Ponts-de-Cé pour la limite amont, jusqu'à proximité de l'agglomération Nantaise pour la limite aval. Elle traverse les départements du Maine-et-Loire et de la Loire-Atlantique.



Figure 3 : Secteur d'étude (Sources : Géoportail)

Ce site d'étude est particulièrement intéressant car il est sujet aux problèmes d'incision pour les raisons détaillées précédemment. De plus, sur ce secteur, l'incision est aussi conséquente car plusieurs seuils naturels ont été supprimés dans les années 1970/80 afin de favoriser la navigation. La marée dynamique impacte donc le secteur de la basse Loire, phénomène qui n'était pas le cas par le passé (Etude Hydratec). Ainsi, via le cumul de l'ensemble de ces éléments, la pente de la ligne d'eau d'étiage pour ce secteur de la Loire est passée de 0,15‰ à 0,18‰ en comparaison avec un étiage du 19^{ème} siècle (Etude Hydratec).

Enfin, le site de la basse Loire est caractérisé par la présence d'une diversité importante de données issues de différents organismes. Elles proviennent de structures privées, comme les Voies Navigables de France (VNF), de jeux de données publics en libre accès, et de précédentes études de l'Université de Tours. Plusieurs types de ressources sont donc accessibles : des couches SIG contenant des informations sur la nature des berges, les infrastructures, la végétation, l'utilisation des sols, etc. ; des données de bathymétrie ou de granulométrie ; des photos aériennes ; des LIDAR etc. Un travail de tri sera nécessaire afin de différencier les données se recoupant et d'identifier de possibles informations manquantes.

3. Méthodologie mise en place

Une méthode d'évaluation de la qualité morphologique des cours d'eau a été appliquée afin de définir l'état morphologique du secteur de la basse Loire, pour répondre au premier objectif de l'axe abiotique. Cette méthode a été développée dans le cadre du projet de recherche Européen REFORM : REstoring rivers FOR effective catchment Management. Il s'agit d'une étude de 4 ans (2011-2015) qui a mobilisé 25 partenaires de 14 pays différents (Rinaldi et al, 2017).

Ce projet a généré un outil d'évaluation nommé Morphological Quality Index (MQI), initialement développé en Italie (Rinaldi et al., 2013), qui peut être appliqué aux cours d'eau européens. Il permet de caractériser l'état morphologique actuel d'un cours d'eau. Pour cela, un séquençage du secteur en sous-trançons ainsi qu'un classement de ces derniers sont nécessaires dans un premier temps, comme l'illustre la figure 4. Cela s'appuie sur différents découpages par unités paysagères, géologiques, par degrés de confinements de la Loire, selon la morphologie du chenal (chenal unique ou multiple), etc.

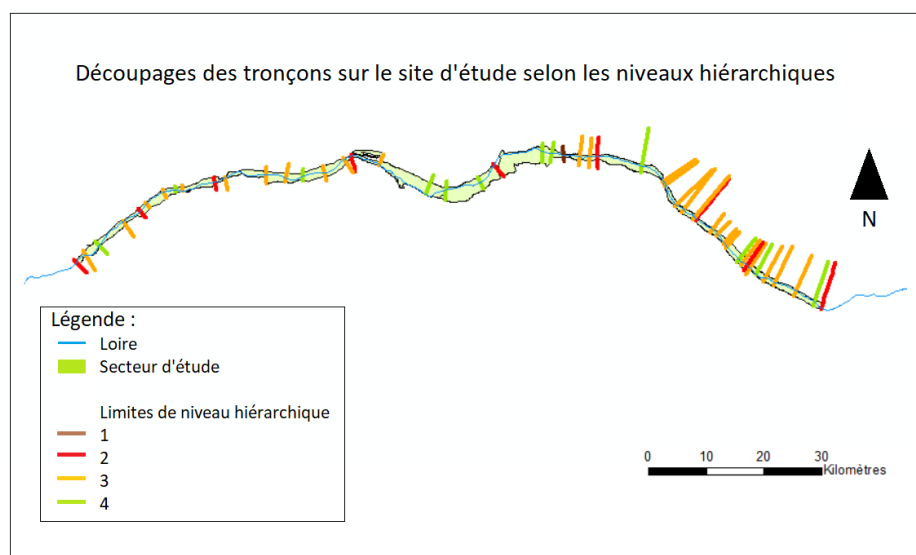


Figure 4: Exemple de découpage du secteur d'étude en tronçons (Source : Wintenberger, 2018)

Ce séquençage d'un secteur d'étude en tronçons de plus petite taille permet alors l'analyse, au niveau de chacun des sous tronçons, d'une liste de 25 paramètres prédéfinis, comme le montre le tableau 1. Ces paramètres sont répartis en trois grandes classes qui correspondent aux fonctionnalités géomorphologiques, à l'artificialisation et à l'ajustement du chenal. Au final, cette méthode permet de mettre en place une analyse précise de l'hydromorphologie d'un site.

Tableau 1 : Indicateurs à utiliser dans le cadre de la mise en place de la méthodologie MQI sur le secteur de la basse Loire (Wintenberger, 2018)

Fonctionnalités géomorphologiques					
	Continuité	Morphologie			Végétation dans le corridor fluvial
		Forme en plan	Forme en coupe	Structure du lit et substrat	
Indicateurs	F1 Continuité longitudinale des sédiments et des débris ligneux F2 Présence d'une plaine alluviale moderne F5 Erosion latérale potentielle	F7 Diversité des formes en plan F8 Présence d'annexes fluviales F9 Variabilité des sections F10 Degré d'armurage ou colmatage du lit F11 Débris ligneux dans le chenal			F12 Largeur de végétation fonctionnelle F13 Linéaire de végétation fonctionnelle
	Artificialisation				
	Altérations				Intervention de maintenance
	Continuité longitudinale amont	Continuité longitudinale du tronçon	Continuité latérale	Morphologie et/ou substrat	
Indicateurs	A1 Altération amont des débits liquides A2 Altération amont des débits solides	A3 Altération des débits liquides sur le tronçon A4 Altération des débits solides sur le tronçon A5 Ouvrages transversaux	A6 Protection de berges A7 Levées artificielles	A8 Modification artificielle du tracé en plan A9 Autres structure de stabilisation du lit	A10 Extraction de granulats A11 Suppression des ligneux A12 Gestion de la végétation
	Ajustement du chenal				
	Indicateurs				
Indicateurs	CA1 Ajustement de la forme en plan CA2 Ajustement de la largeur CA3 Incision				

Ainsi, l'analyse MQI se base tout d'abord sur les fonctionnalités géomorphologiques, en bleu dans le tableau 1. Elles vont servir à vérifier si toutes les grandes fonctions normalement remplies par un hydrosystème sont encore effectuées par celui-ci. Elles permettent de voir si le milieu est encore fonctionnel. Un cours d'eau est en bon état par exemple s'il possède une ripisylve fonctionnelle qui va permettre d'effectuer de l'ombrage, d'apporter de la matière organique au cours d'eau, de permettre la création d'habitats etc. De la même manière, la continuité longitudinale des sédiments et l'érosion des berges sont nécessaires au bon fonctionnement d'un hydrosystème et un déficit en sédiments va se traduire par une incision anormalement importante. En outre, une variabilité des sections est importante, puisqu'une uniformisation se traduit par une perte de biodiversité et d'habitats. Cette première classe de paramètres résume donc l'ensemble des éléments à analyser pour vérifier le bon fonctionnement d'un hydrosystème.

Dans un second temps, la classe « artificialisation » (en rouge dans le tableau) analyse les pressions potentielles actuellement exercées sur le site d'étude. Elle vient en complément de l'analyse précédente sur les fonctions géomorphologiques. Une même pression peut en effet entraîner des conséquences différentes sur deux écosystèmes car leurs caractéristiques, fonctionnements et résiliences seront différents. Ainsi, l'analyse des fonctions géomorphologiques seule ne suffit pas ; c'est pourquoi les pressions sont ensuite analysées.

Enfin, une comparaison du site d'étude entre son état actuel et son état passé permet de voir si des modifications majeures ont eu lieu (en jaune sur la figure 1). Ces éléments, comme une modification d'origine anthropique du tracé d'un cours d'eau, peuvent résulter d'actions passées non-visibles actuellement, avec une simple analyse de l'actuel site. Une étude d'un cours d'eau sur la durée pour voir s'il a subi des modifications anormales dans le temps vient compléter l'analyse MQI.

L'ensemble des données pour ces indicateurs sont à renseigner dans un tableau Excel bilan. Elles traduisent l'altération d'un paramètre donné. Pour chaque paramètre, trois notes peuvent être obtenues :

- Classe A : conditions non perturbées
- Classe B : altérations intermédiaires
- Classe C : conditions très altérées

En définitive, pour chacun des tronçons évalués, une note sera obtenue via un tableau Excel pré-rempli et créé pour utiliser l'outil MQI. Il est à noter que, si les données disponibles sont jugées aberrantes ou insuffisantes pour la notation d'un paramètre, une incertitude peut alors être ajoutée par l'opérateur. A la fin de la démarche, l'ensemble des notations de chacun des tronçons, permettra, pour le secteur de la basse Loire, d'obtenir une note finale qui ira de 0 (qualité médiocre) à 1 (qualité maximale).

Pour conclure, cette méthodologie est utilisable car elle a déjà été testée sur le secteur d'étude de la basse Loire (Wintenberger, 2018). Il est donc possible d'utiliser cet outil afin d'évaluer l'état morphologique sur ce secteur via la banque de données disponibles. Cela dans l'optique de répondre au premier objectif de l'axe abiotique du projet R-TEMUS.

4. Objectif de ce PFE

C'est dans ce contexte global que ce projet de fin d'étude s'inscrit. Il s'appuie sur le travail déjà effectué qui a permis de sélectionner la méthode scientifique MQI et de la tester sur le secteur d'étude. Les résultats obtenus lors de ce travail ont montré que cette démarche pouvait être utilisée pour l'étude du secteur de la basse Loire (Wintenberger, 2018).

Cependant, le test précédent a été effectué avec des jeux de données plus ou moins anciens, qui, pour certains, ont aujourd'hui été actualisés. De plus, lors de l'application de l'outil MQI, un temps de traitement très long et répétitif des données a été mis en évidence. La mise en place de cet outil nécessite une sectorisation du terrain d'étude en une multitude de tronçons de plus petite taille. De ce fait, le secteur de la basse Loire s'est retrouvé découpé en 48 tronçons de tailles diverses pouvant varier de 1 à 30 km. L'évaluation étant réalisée sur chaque tronçon de manière individuelle, les temps de traitement s'allongent.

C'est pourquoi, la nécessité de développer des outils ou des méthodes permettant d'automatiser un maximum de ces tâches est apparu nécessaire. Cela afin de gagner du temps dans la mise en place de l'analyse morphologique de la basse Loire. C'est sur cet axe de réflexion que le projet présenté lors de ce rapport va s'organiser.

II. Matériels et méthodes

1. Prise en main de la méthode MQI

Le travail mis en œuvre lors de ce PFE s'appuie donc sur le rapport précédemment écrit par C. Wintenberger en 2018. Il reprend le découpage qui a déjà été effectué et qui a conclu à une séparation du terrain d'étude en 48 tronçons. Désormais, l'objectif est, à partir de l'ensemble des données disponibles et des tableaux Excel de l'outil MQI, de déterminer, pour chaque élément, si une automatisation est possible, soit via le calcul de l'indice (classe A, B ou C) directement, soit via des éléments permettant par la suite le calcul de l'indice. Cela pour exécuter l'analyse globale de chacun des tronçons avec un temps de traitement optimisé.

Dans un premier temps, des fiches résumées pour chaque paramètre ont été effectuées. Ces fiches ont permis de faire un bilan entre la méthode MQI et le travail précédemment réalisé sur ce secteur de la Loire. Elles se basent sur les fiches et le travail de deux rapports (Rinaldi *et al.*, 2016 et C. Wintenberger, 2018). Elles ont servi à la réalisation du tableau bilan présent dans la partie « Résultats ».

L'objectif de ces fiches résumées est de voir rapidement, pour un paramètre donné, quelles données disponibles sont à utiliser et comment les utiliser pour déterminer la note du paramètre à analyser. La réalisation de ces fiches s'est effectuée en simultané de l'application de la méthodologie MQI à un tronçon test. L'application de l'outil MQI au secteur d'étude a permis une bonne compréhension du fonctionnement de la méthode. Cette application a aussi permis de repérer les paramètres pouvant poser de potentiels problèmes de délai de mise en place de l'analyse, et donc les paramètres pouvant être intéressants à optimiser. En outre, ce travail a permis une meilleure compréhension des données du secteur d'étude.

F2 Functionality Nom du paramètre : Présence d'une plaine alluviale moderne inondée tous les 1 à 3 ans Valeurs seuils pour la note : <table><tr><th>Classe</th><th>Altération du paramètre</th></tr><tr><td>A</td><td>Plaine large et continue ($\geq 66\%$ du tronçon)</td></tr><tr><td>B</td><td>Plaine discontinue mais large (10 à 66% du tronçon) OU Plaine continue ($> 90\%$ du tronçon) mais étroite</td></tr><tr><td>C</td><td>Négligeable ($\leq 10\%$ du tronçon)</td></tr></table> Données nécessaires : - Hauteurs d'eau de crues - Couches SIG avec les points correspondants à ces hauteurs - MNT Calcul de la note : Mesure sous SIG des zones inondées ou non à travers une comparaison avec la hauteur d'eau en crue Autres : Attention à la présence de digues Toujours mettre M2 car donnée non vérifiée sur le terrain	Classe	Altération du paramètre	A	Plaine large et continue ($\geq 66\%$ du tronçon)	B	Plaine discontinue mais large (10 à 66% du tronçon) OU Plaine continue ($> 90\%$ du tronçon) mais étroite	C	Négligeable ($\leq 10\%$ du tronçon)	CA3 Channel Nom du paramètre : Variations de l'altitude du fond (aggradation ou incision) Valeurs seuils pour la note : <table><tr><th>Classe</th><th>Altération du paramètre</th></tr><tr><td>A</td><td>Variation d'altitude $\leq 0,5$ mètres</td></tr><tr><td>B</td><td>$0,5 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 3 \text{ mètres}$</td></tr><tr><td>C1</td><td>$3 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 6 \text{ mètres}$</td></tr><tr><td>C2</td><td>Variation d'altitude ≥ 6 mètres</td></tr></table> Données nécessaires : - Lignes d'eau d'étiage Calcul de la note : Différence d'altitude entre deux lignes d'eau aux dates les plus éloignées (pour un pK donné, avec un débit relativement similaire) Autres :	Classe	Altération du paramètre	A	Variation d'altitude $\leq 0,5$ mètres	B	$0,5 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 3 \text{ mètres}$	C1	$3 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 6 \text{ mètres}$	C2	Variation d'altitude ≥ 6 mètres
Classe	Altération du paramètre																		
A	Plaine large et continue ($\geq 66\%$ du tronçon)																		
B	Plaine discontinue mais large (10 à 66% du tronçon) OU Plaine continue ($> 90\%$ du tronçon) mais étroite																		
C	Négligeable ($\leq 10\%$ du tronçon)																		
Classe	Altération du paramètre																		
A	Variation d'altitude $\leq 0,5$ mètres																		
B	$0,5 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 3 \text{ mètres}$																		
C1	$3 \text{ mètres} < \text{Variation d'altitude} < 6 \text{ mètres}$																		
C2	Variation d'altitude ≥ 6 mètres																		

Figure 5 : Exemples de fiches synthétisant les informations de chaque paramètre (Réalisation personnelle sur la base du travail de Rinaldi *et al.*, 2016 et C. Wintenberger, 2018)

2. Analyse des paramètres

Ensuite, une analyse plus approfondie des 25 paramètres à analyser pour les 48 tronçons de ce secteur de la Loire a été mise en place. Celle-ci a pour but de classer l'ensemble des éléments à analyser afin de voir si certains sont automatisables via la mise en place de modèles Builder à travers un système d'information géographique (SIG), ou s'il est possible de gagner du temps dans le traitement des données.

Trois catégories ont résulté de ce classement : les paramètres définis comme fixes, les paramètres simplifiables et les paramètres non-simplifiables. Cela s'est effectué en considérant les données exclusivement sur le secteur de la basse Loire.

2.1. Paramètres fixes

Un premier travail consistait en la rédaction d'une liste avec les paramètres qui seraient fixes pour chacun des tronçons de l'étude ; un paramètre pouvant rester fixe pour l'ensemble des tronçons pour différentes raisons, celles-ci ont été distinguées et détaillées dans les paragraphes suivants.

Le travail de repérage et d'identification de ces paramètres est intéressant pour la mise en place de l'outil MQI puisque ces paramètres, une fois identifiés, n'auront plus besoin d'être calculés pour chaque tronçon. Cela représente donc un gain de temps pour l'étude du secteur de la basse Loire.

2.1.1. Paramètres communs à l'échelle d'un bassin versant ou d'un cours d'eau

Tout d'abord, une petite partie des paramètres étudiés au sein de la méthodologie MQI demande de s'intéresser à des échelles supérieures à l'échelle du tronçon. Il s'agit d'éléments qui se calculent une seule fois à l'échelle du bassin versant ou du cours d'eau étudié. Ils s'étudient donc à une échelle différente en comparaison avec les autres paramètres de la méthodologie MQI, qui sont à analyser à l'échelle du tronçon.

Ces paramètres vont servir à faire des comparaisons entre les tronçons de l'étude et le bassin dans lequel s'inscrit le secteur étudié. Par exemple, en ce qui concerne le débit liquide ou solide de la Loire, une analyse a tout d'abord lieu à l'échelle de la Loire, avant que la même démarche ne soit faite à l'échelle du tronçon. Cette démarche est intéressante et nécessaire car l'étude d'un hydrosystème doit également passer par une analyse à une plus grande échelle. Il est toujours important d'avoir une vue d'ensemble à l'échelle du bassin versant, puisque la modification de ces deux débits à l'amont du fleuve va engendrer des répercussions sur le secteur d'étude. De cette manière, l'analyse à une grande échelle permet de s'intéresser aux impacts des grands barrages de la Loire, alors que l'analyse à l'échelle du tronçon permet d'étudier des ouvrages de plus petites tailles présents physiquement sur le secteur de la basse Loire.

De ce fait, la note à attribuer pour ces paramètres analysés à l'échelle de la Loire, une fois que celle-ci aura été définie, restera fixe pour l'ensemble des tronçons de l'étude. Cependant, ces paramètres à déterminer sont minoritaires dans la mise en place de l'outil MQI. Il est aussi à noter qu'ils resteront aussi fixes dans d'autres études reprenant l'outil MQI, puisque leur calcul sera à effectuer qu'une seule fois.

2.1.2. Paramètres communs sur l'ensemble des tronçons

Dans un second temps, certains éléments sont présents sur tous les tronçons étudiés et sont identifiables de manière plus ou moins rapide. Il s'agit d'une caractéristique fixe commune à tous les tronçons de l'étude qui va influencer leur notation, comme par exemple la présence d'une contrainte anthropique comme la présence d'un couloir endigué. L'existence de digues va en effet affecter le fonctionnement du fleuve, puisque la Loire ne peut alors plus divaguer dans la totalité du lit majeur.

Ces paramètres sont fixes au cours de cette étude. Mais, contrairement à ceux cités précédemment, dans un autre contexte avec un jeu de données différent ou sur un secteur différent, ils pourraient ne pas être fixes pour l'ensemble des tronçons de l'étude.

2.1.3. Paramètres fixes par absence de données

Enfin, un troisième cas a été observé lorsqu'une valeur fixe est attribuée car le jeu de données est jugé insuffisant ou incomplet par l'opérateur. Pour certains paramètres, en l'absence de données, l'outil MQI préconise alors, en plus de l'ajout d'une note d'incertitude, l'attribution d'une certaine note fixe pour tous les tronçons étudiés.

Comme pour les cas détaillés dans le paragraphe précédent, dans un contexte d'étude différent avec des données et un secteur variable, ces valeurs pourraient alors ne plus être fixes pour l'ensemble des tronçons.

2.2. Paramètres simplifiables

2.2.1. Constat

En analysant les différents paramètres de la méthode MQI, il s'est avéré que, pour certains d'entre eux, un prétraitement des données était possible. L'objectif de cette étape est de gagner du temps afin d'analyser, pour un paramètre donné, les 48 tronçons de la zone d'étude de manière plus efficace et rapide.

Pour cela, la méthode MQI a été testée sur un tronçon de l'étude afin d'essayer de retrouver les notes précédemment déterminées lorsque la méthode avait été testée par C. Wintenberger en 2018 sur un tronçon de la basse Loire. En effet, comme expliqué précédemment, la note peut être fixe selon le tronçon au cours de l'étude ; mais, dans d'autres cas, la note va varier lors de cette étude, puisque les conditions à tester varient d'un tronçon à un autre. C'est pourquoi, afin de tester et de quantifier ces variations, une analyse par photo-interprétation peut être mise en place, les données peuvent être recoupées avec une table attributaire d'une couche SIG, elles peuvent être déjà spécifiées dans un tableau Excel, etc.

2.2.2. Simplifications identifiées

A partir de ce constat, un premier travail a été mis en place sous SIG. Il a pour but de prédécouper les données d'une table attributaire d'une couche SIG afin de ne conserver que les informations nécessaires pour cette étude. Puis, ces données sont extraites sur un tableur Excel. L'intérêt est double, puisque travailler sur un tableau Excel permet une meilleure visualisation de données et la mise en place de calculs est alors plus rapide et facile que sous SIG. Cette étape sera partiellement automatisée, puisqu'il suffira d'indiquer uniquement le tronçon à étudier et l'emplacement d'enregistrement sur l'ordinateur du tableau Excel. De plus, l'étape de pré-découpage sous SIG permettra de ne garder que les informations essentielles du tronçon.

Cette étape se base sur le constat que les données disponibles sont assez confuses. En effet, comme évoqué dans la présentation du contexte, les informations utilisées dans cette étude sont issues de différents organismes, à différentes périodes. De ce fait, des données sont manquantes, d'autres sont disponibles via plusieurs sources, et certaines sont incomplètes. Ainsi lorsqu'il est nécessaire de rechercher une information bien spécifique sur un tronçon donné, le temps de recherche et de collecte de l'information peut être assez long. Cela même pour des paramètres « simples » qui ne nécessitent pas de calculs spécifiques.

Par exemple, il est nécessaire de connaître la nature des berges pour l'interprétation de plusieurs paramètres pendant cette étude. Cela permet notamment de déterminer si les berges sont encore érodables par la Loire ou si des actions de protection ont été mises en place.

Afin de déterminer la nature des berges par tronçons, la couche « berges » du CORELA est utilisée. Cependant, elle regroupe un total de 39 colonnes et de 1024 lignes dans sa table

attributaire. Ces informations détaillent la nature des berges, la date du relevé, la source des données, etc. Mais, la majorité de ces données ne sont pas complètes, certaines colonnes n'ont jamais été renseignées, ou alors elles ne sont pas pertinentes dans le cadre de cette étude. Ainsi, les informations intéressantes pour ce projet dans ce tableau se résument aux couches sur la nature des berges, soit un total de 6 colonnes. C'est pourquoi, pour ces exemples d'informations, mettre en place une sélection automatisée des données intéressantes, pour un tronçon spécifique, peut être particulièrement utile.

De plus, cela permet de travailler sur des données converties aux échelles des tronçons de l'étude. Les données sont alors directement exploitables pour les calculs de l'outil MQI. En effet, comme le montre la figure 6, les données ne sont pas immédiatement utilisables sous SIG puisqu'elles chevauchent plusieurs tronçons. Cette figure illustre deux secteurs d'étude (en vert), ainsi que les berges du fleuve (en rouge). Lorsqu'on effectue une sélection des berges localisées sur le secteur 1, le logiciel sélectionne les tronçons visibles en bleu et il est possible de constater que les segments de berges s'étalent sur plusieurs secteurs. Un travail de redécoupe peut pallier ce problème.

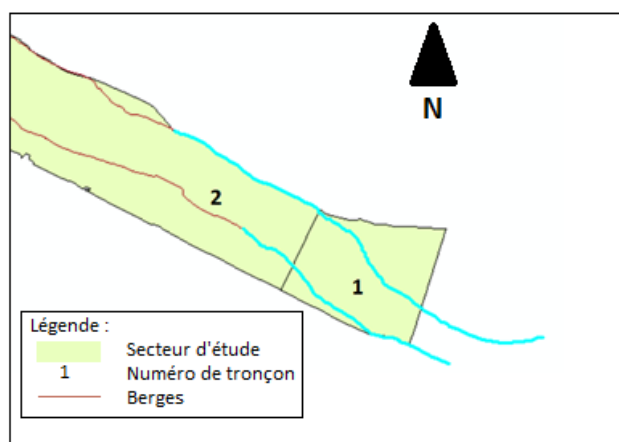


Figure 6 : Exemple d'informations comme la nature des berges dont le découpage chevauche plusieurs tronçons

2.2.3. Modèles Builder

Le travail effectué sous SIG a donc été réalisé avec utilisation de la fonction modèle builder d'Arcgis. Le parti pris a été fait de permettre à n'importe quel opérateur reprenant la méthodologie MQI pour l'utiliser dans un projet, de pouvoir se baser sur ce travail. C'est pourquoi, un rappel sur le fonctionnement des modèles builder a été rédigé et est disponible en annexe 1, il vient en complément du travail effectué lors de ce rapport.

Une réflexion en amont de la création des modèles a été effectuée afin de définir précisément les caractéristiques et contraintes auxquels devaient correspondre le modèle. En effet, une réflexion sur la transmission des données le plus rapidement et facilement possible a été nécessaire, celle-ci pouvant être amenée à être utilisée par d'autres opérateurs.

C'est pourquoi, dans un premier temps, les modèles ont été minimalistes afin d'être les plus simples possibles ; ils comprennent donc un nombre de traitements faible. Ils sont aussi construits sur un fonctionnement similaire, afin de pouvoir les utiliser rapidement et de manière automatique après avoir compris le fonctionnement de l'un d'entre eux. Les modèles sont donc courts, dans un objectif d'une utilisation future facilitée pour la suite du projet. Dans un second temps, cela permettra aussi au besoin de recréer des modèles sur une base similaire pour une utilisation future de la méthode MQI pour de prochains projets et donc avec des jeux de données différents.

Ensuite, une réflexion sur la manière de présenter les résultats par les modèles a eu lieu. Dans un premier temps, l'idée de donner directement la note à attribuer pour chaque paramètre a été émise et testée. Cependant, il n'est alors plus possible de vérifier les calculs et l'opérateur perd

alors toute possibilité de critique des résultats. C'est pourquoi les modèles ont été mis en place afin de présenter lors de leur dernière étape les données traitées dans un tableur Excel, les données présentes permettant de donner le résultat recherché via un simple calcul de pourcentage ou somme. De cette manière, il est toujours possible de vérifier la cohérence des données obtenues. De plus, le temps de traitement sous Excel est court en comparaison des tâches restantes et de celles déjà effectuées par le modèle.

Ainsi les modèles sont basés sur le croisement d'une information spatiale, qui correspond au numéro de tronçon étudié, avec une information sur la nature du tronçon, issue elle-même d'une couche de données, comme par exemple la nature des berges, la profondeur de la section, la présence d'ouvrages etc. Pour cela, comme expliqué précédemment, un minimum de traitements doit être effectué par le modèle, et il doit pouvoir être créé en un minimum d'étapes préalables.

C'est pourquoi, une seule étape, préalable à la création des modèles, a été effectuée. Il s'agit de la création d'une couche « cache », visible sur la figure 7. Dans le modèle, elle va servir de couche de sélection spatiale afin de préciser le nom du tronçon qui va être étudié. Elle reprend, au travers de sa table attributaire, le découpage effectué au travers de la méthodologie MQI. Elle va permettre d'obtenir une couche suffisamment grande pour intégrer dans sa surface spatiale l'ensemble des autres couches de données disponibles dans l'étude. Elle présente un gain de temps si le nombre de tronçon à étudier est assez important, pour que le temps de création du cache soit « rentabilisé », comme c'est le cas dans cette étude.

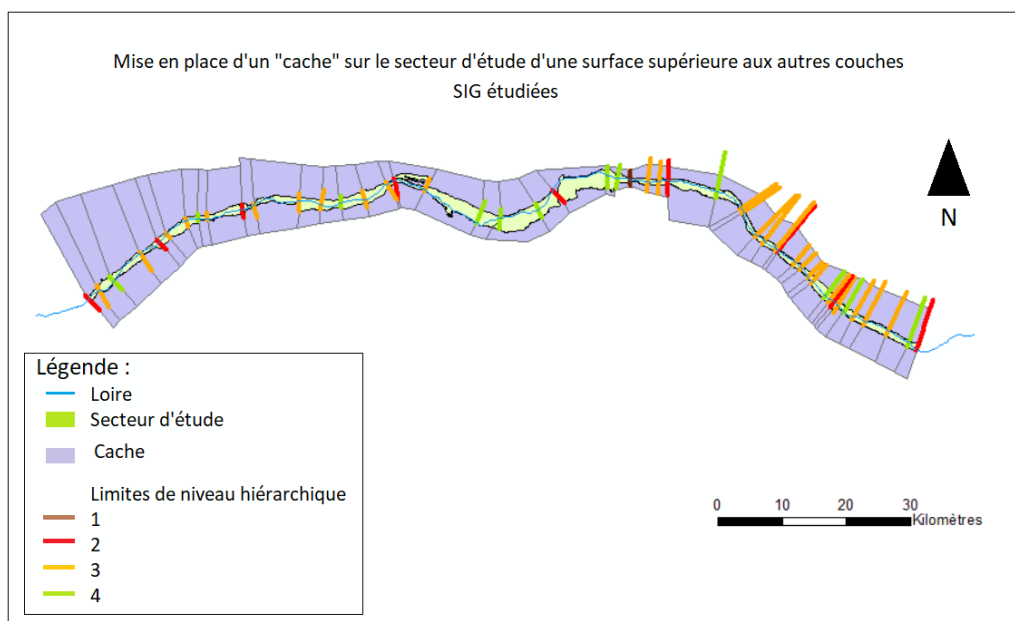


Figure 7 : Capture d'écran illustrant le cache créé et la couche de découpage MQI

Après cette étape de création d'un cache effectuée, les modèles sont réalisés via une base commune de quatre étapes de traitements. Cette base commune sera toujours fondée sur le même principe, à savoir quatre traitements illustrés dans la figure 8 :

- 1 : Sélection et conservation des informations utiles.
- 2 : Sélection du tronçon d'étude.
- 3 : Recoupement afin de conserver uniquement les informations utiles pour le tronçon étudié
- 4 : Extraction sous Excel pour effectuer les calculs.

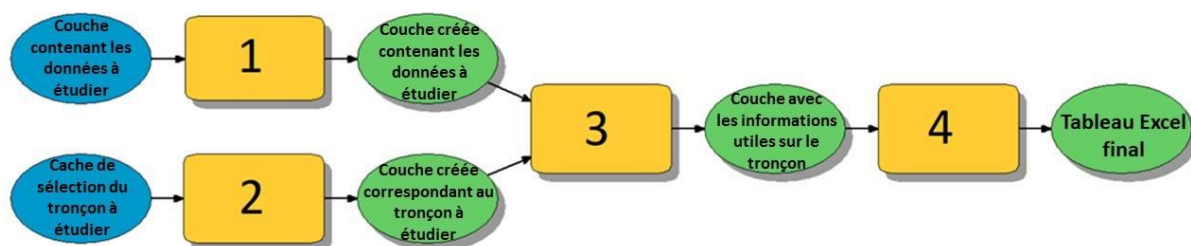


Figure 8 : Base sur laquelle les modèles builders sont réalisés

En complément des modèles, une fiche explicative est créée. L'objectif est de pouvoir transférer le travail effectué à un autre opérateur de la manière la plus optimale possible. De cette manière, les fiches effectuées reprendront toutes une trame commune :

- Présentation des objectifs à étudier
- Rappel des traitements effectués
- Tableur Excel à obtenir

2.3. Paramètres non simplifiables

Les paramètres restants sont ceux qui ne sont pas fixes et ceux pour lesquels la mise en place d'une automatisation n'a pas été possible. Il s'agit donc d'éléments qui, au terme de cette étude, ne sont pas simplifiables dans les différentes étapes de leur mise en place.

Il peut s'agir de paramètres pour lesquels aucun calcul ou mesure ne sont à effectuer, où le jugement de l'opérateur va importer. Mais, il peut également s'agir de paramètres basés sur des calculs à effectuer et c'est alors sur la partie « extraction et choix des données » que le travail d'automatisation n'a pu être effectué. Au final, les paramètres non simplifiables reposent sur un travail de l'opérateur de photo-interprétation et/ou un recoupement de données issues de plusieurs sources et de différents types (photographies, cartes, données chiffrées, etc.).

Par exemple, en ce qui concerne la comparaison entre les photographies aériennes des années 1960 et les photographies actuelles, un travail d'identification et d'extraction des données des images reste nécessaire pour déterminer le tracé de la Loire, le nombre et l'emplacement des chenaux secondaires, etc. De même, un travail d'analyse et de jugement de l'opérateur demeure nécessaire pour, à partir de ces données extraites, déterminer le style fluvial de la Loire ou la fonctionnalité des chenaux secondaires. De plus, le jugement de l'opérateur va permettre de déterminer si les données disponibles sont assez précises pour ne pas avoir intégré d'incertitudes dans les résultats.

Au final, la non-automatisation a été indiquée au sein de ce projet dans deux cas spécifiques : le type de données à traiter posait problème et/ou le paramètre dépendait d'un travail de jugement de l'opérateur qui ne pouvait pas être supprimé. Certains paramètres, possiblement simplifiables à un niveau plus élevé, seront évoqués dans la partie discussion de ce rapport. En effet, le travail d'extraction et de tri des données pourrait être potentiellement optimisé pour la photo-interprétation par exemple, à l'image de ce qui a été fait pour les tables attributaires. Et c'est avant tout le temps imparti pour ce travail et les compétences techniques qui ont limité l'automatisation de certains paramètres.

III. Résultats

1. Classement des paramètres

Une fois la méthodologie MQI assimilée, les différents paramètres ont été classés en trois catégories, comme visible sur le tableau bilan ci-dessous (paramètres fixes en bleu, paramètres simplifiables en vert et paramètres non-simplifiables en rouge) :

Tableau 2 : Ensemble des paramètres à analyser lors de la mise en place de l'outil MQI sur le secteur de la basse Loire couplé avec les informations nécessaires à leur détermination

Functionality	Paramètre	Notation	Détermination de la note	Incertitude	Automatisation
F1	Continuité longitudinale du flux sédimentaire et des débris ligneux	Pas de valeurs chiffrées. Regarder la présence ou l'absence d'ouvrages	Les barrages de Grangent et Villerest empêchent l'attribution de la note A. La note B ou C sera donc attribuée si, sur le tronçon, d'autres ouvrages interceptent les sédiments et embâcles.	/	Effectuée. La couche "obstacle écoulement 2015" permet d'obtenir les données recherchées
F2	Comparaison valeur hauteur d'eau en crue et altitude du MNT	Valeurs chiffrées. Regarder le pourcentage par tronçon de plaine alluviale inondée pour une crue de retour 1 à 3 ans, et, si cette plaine alluviale est continue ou discontinue.	Utilisation de MNT et comparaison entre le niveau d'eau en crues et la surface du tronçon (en %) située à une altitude inférieure à ce niveau. Cependant, les zones situées derrière une digue doivent être identifiées et supprimées manuellement, sinon elles apparaissent inondables.	A rajouter car les données n'ont pas été vérifiées sur le terrain.	Non effectuée. Nécessite une interprétation humaine, pour délimiter les zones "protégées" par une digue
F7	Forme en plan des chenaux	Valeurs chiffrées. Regarder le pourcentage du tronçon impacté et modifié par des actions d'origine anthropique.	De par la présence de digues sur le secteur d'étude, le classement de tous les tronçons en classe C a été mis en place.	/	Valeur fixe C
F8	Présence de formes fluviales typiques	Pas de valeurs chiffrées. La note est basée sur présence (A), présence de manière déconnectée (B) ou l'absence (C) de formes fluviales typiques	Regarder si des formes fluviales typiques (ex : chenaux secondaires) sont présentes et si elles sont fonctionnelles. Une base de données est disponible mais incomplète. Un travail d'interprétation et d'analyse de l'opérateur influencera l'attribution des notes.	/	Non effectuée. Un travail de photo-interprétation et d'analyse de l'opérateur est nécessaire
F9	Variabilité de la section	Valeurs chiffrées. Regarder le pourcentage du tronçon qui présente des sections (largeur et profondeurs) altérées.	Utilisation de données disponibles sur la nature des berges et sur la disposition des unités morphologiques (barres sédimentaires, chenaux secondaires etc).	A rajouter selon la l'interprétation de l'opérateur et selon les tronçons, car la pression anthropique est forte sur ce secteur.	Effectuée. La couche "Morphologie" permet d'obtenir la note et la couche "berges du CORELA" vient en complément.
F10	Composition du fond du lit	Valeurs chiffrées. Regarder s'il y a une variabilité des sédiments, et si présence de pavage, d'armurage ou d'affleurement du substratum, le pourcentage du tronçon que cela représente	Malgré la présence et l'extraction de sédiments par le passé, la Loire présente une hétérogénéité naturelle des sédiments du lit, la note A a donc été mise en place.	/	Valeur fixe A
F11	Présence de grands débris ligneux dans le chenal	Pas de valeurs chiffrées. La note est basée sur la présence (A) ou l'absence (C) de grands débris ligneux	De par le contexte de la Loire (gestion de la végétation et présence d'ouvrages qui limitent le transfert des grands ligneux) la note C a été mise en place. Mais une incertitude est à ajouter car il n'y a pas de données sur lesquelles se baser et aucune vérification sur le terrain n'a été faite.	A rajouter car les données n'ont pas été vérifiées sur le terrain.	Valeur fixe C
F12	Largeur moyenne de la végétation riparienne fonctionnelle	Valeurs chiffrées. Regarder la largeur de végétation fonctionnelle et la comparer à la largeur du chenal sur le tronçon étudié. Attention ce paramètre intègre les îles.	Certaines couches SIG disponibles donnent des informations très précises sur la végétation riparienne, mais elles ne couvrent pas tout le terrain d'étude. L'analyse des images aériennes, certes plus longue, peut permettre la délimitation de la végétation riparienne et indiquer si elle est bien fonctionnelle.	/	Non effectuée. Une photo-interprétation est nécessaire pour distinguer une végétation fonctionnelle, d'une végétation plantée par exemple.
F13	Continuité longitudinale de la végétation riparienne	Valeurs chiffrées. Regarder le pourcentage de berges couvertes par de la végétation par rapport à la longueur totale du tronçon. (pour les deux berges). Attention ce paramètre n'intègre pas les îles.	Regarder continuité de la ripisylve via photo-aériennes ou via les couches la végétation riparienne	/	Non effectuée

Artificiality	Paramètre	Notation	Détermination de la note	Incertitude	Automatisation
A1	Altération du débit liquide (échelle Loire)	Valeurs chiffrées. Prise en compte des altérations des débits d'écoulement, selon la classe du débit (étiage, Q10, etc), et selon le pourcentage de modification de ces débits.	Un calcul a été mis en place afin de connaître l'impact du barrage de Villaret qui modifie plus de 10 % du débit d'étiage sans compter les vidanges. La classe B a donc été sélectionnée.	A rajouter selon l'interprétation de l'opérateur vis-à-vis des données disponibles	Valeur fixe B
A2	Altération du débit solide (échelle Loire)	Valeurs chiffrées. Mise en place d'un calcul qui intègre le type de structures qui altèrent le flux sédimentaire et l'aire de drainage amont de cette structure.	Pour les mêmes raisons que pour le paramètre précédent, la présence du barrage de Villaret impacte le débit solide et la note B a été mise en place.	/	Valeur fixe B
A3	Altération du débit liquide (échelle tronçon)	Valeurs chiffrées. Calcul similaire à A1 à l'échelle du tronçon	Calcul similaire à A1 à l'échelle du tronçon	/	Non effectuée
A4	Altération du débit solide (échelle tronçon)	Valeurs chiffrées. Calcul similaire à A2 à l'échelle du tronçon	Calcul similaire à A2 à l'échelle du tronçon	/	Non effectuée
A5	Présence ponts, gués, conduites d'eau	Valeurs chiffrées. Regarder la densité d'ouvrages transversaux.	Pas de bases de données complètes, obligation de faire un repérage manuel de l'ensemble des ouvrages via des photographies aériennes, avant la mise en place des calculs de densité. La présence d'un opérateur est donc obligatoire.	/	Obligation photo aérienne, avec photo interprétation
A6	Pourcentage de berge protégée	Valeurs chiffrées. Mise en place d'un calcul de pourcentage de longueur de berges protégées par rapport à la longueur totale de berge. Attention un mode de calcul spécifique doit être ajouté afin de prendre en compte les épis.	La base de données des berges du CORELA permet de distinguer la longueur de berge soumise à des protections. Cependant les épis ne sont pas spécifiés sur cette couche, ils doivent donc être ajoutés manuellement via des observations de photos aériennes.	/	Effectuée en partie via la couche "berges du CORELA" mais une étape de photo-interprétation pour rajouter les épis peut être nécessaire
A7	Présence de levées, endiguement, infrastructures à proximité du chenal	Valeurs chiffrées. Regarder le pourcentage de berges couverte par des levées, et comparer leur distance par rapport à la largeur moyenne du chenal.	Reprendre le travail effectué sur les "berges du CORELA," y ajouter les données du SIEL sur les "éléments de fragmentation de niveau 1" et mesurer leur distance moyenne au chenal.	/	La majeure partie du travail consiste à mesurer et calculer la distance moyenne des levées par rapport au chenal principal.
A8	Modifications du tracé en plan	Valeurs chiffrées. Regarder si des modifications du tracés en plan d'origines anthropiques ont eu lieu (suppression de méandres etc) et le pourcentage du tronçon impacté par ces aménagements.	Une comparaison entre les cartes de Cassini et de l'état major avec des photographies aériennes actuelles doit être mise en place, couplé avec une analyse de l'opérateur afin de juger les modifications significatives.	A rajouter selon l'interprétation de l'opérateur vis-à-vis des données disponibles	Obligation photo aérienne, avec photo interprétation
A9	Autres structures de stabilisation du lit	Valeurs chiffrées. Regarder si des ouvrages de stabilisation du lit sont présents, leur pourcentage de recouvrement et leur pourcentage de perméabilité.	Aucun des jeux de données disponibles ne spécifient la présence de ce type de structure.	/	Valeur fixe A
A10	Extraction des sédiments	Valeurs non chiffrées. Regarder le nombre d'année ou l'extraction de sédiments a eu lieu sur la Loire.	La Loire a dans ce secteur subi une extraction de sédiments conséquentes, jusque dans les années 1995, ce qui correspond à la classe B.	/	Valeur fixe B
A11	Suppression végétation	Valeur non chiffrées. Regarder le mode de gestion de la végétation sur les 20 dernières années, s'il y a des coupes totales ou partielles de la ripisylves ont eu lieux.	Aucun jeux de données n'est disponible sur le secteur étudié, par défaut le guide préconise d'assigner la classe B.	/	Valeur fixe B
A12	Gestion de la végétation	Valeurs non chiffrées. Regarder le type de gestion de la végétation ligneuse (linéaires concerné, type de gestion etc) et aquatique (absence d'intervention, suppression partielle, totale) sur les 20 dernières années.	Regarder les couches végétations disponibles, puis tableau de conversion à utiliser	/	Obligation analyse de l'opérateur par rapport aux données disponibles et mise en place de mesure par rapport au chenal

Channel	Paramètre	Notation	Détermination de la note	Incertitude	Automatisation
CA1	Evolution des styles fluviaux	Valeurs non chiffrées. Comparaison de l'évolution des styles fluviaux (méandrique, en tresse etc) via des photos aériennes des années 1950/1960 avec des photos actuelles. Travail à une échelle supérieure au tronçon "standard", utilisation tronçons de type 2.	Analyse de l'évolution des styles fluviaux par un opérateur sous SIG ou géoportail	/	Obligation photo aérienne, avec photo interprétation
CA2	Evolution de la largeur du chenal	Valeurs chiffrées. Détermination du pourcentage de modification de la largeur du chenal, via des photos aériennes des années 1950/1960 avec des photos aériennes actuelles.	Analyse de l'évolution de la largeur du chenal par un opérateur sous SIG ou géoportail	/	Obligation photo aérienne, avec photo interprétation
CA3	Evolution de l'altitude du fond	Valeurs chiffrées. Evaluation de l'importance des variations de l'altitude du fond (aggradation ou incision) pour des lignes d'eaux d'étiage des années 1970 et actuelles.	Utilisation des lignes d'eau d'étiage. Regarder pour 2 points kilométriques du tronçon étudié, à deux dates les plus éloignées, la différence d'altitude entre les lignes d'eau pour des débits relativement similaires.	/	Calcul à réaliser directement sous un tableau excel listant les lignes d'eau d'étiage du SIEL depuis 1972

C'est un ensemble de 24 paramètres qui sont analysés dans cette étude pour la mise en place de l'outil MQI. Sur ces 24 paramètres, 8 vont être fixes sur le secteur de la basse Loire, 3 peuvent être automatisables de manière totale ou partielle comme évoqué dans la prochaine sous-partie, et les 13 paramètres restants devront faire l'objet d'une analyse manuelle.

Ainsi, près de la moitié des paramètres de l'outil MQI nécessitent une analyse manuelle afin de déterminer l'hydromorphologie du site d'étude. Les conséquences engendrées seront détaillées dans la partie discussion de ce rapport.

2. Automatisation des paramètres simplifiables

En simultané à la création du tableau bilan présenté dans la sous-partie précédente, des fiches méthodes ont été réalisées. Elles présentent la démarche à effectuer via les modèles builders pour déterminer les notes des paramètres simplifiables tout en réduisant ce temps de traitement. De plus, une notice rappelant les bases d'utilisation de la fonction modèle builder d'Arcgis est disponible en annexe 1, notamment pour recréer des modèles si nécessaire pour un futur projet reprenant l'outil MQI. Les fiches d'utilisation des modèles créées pour le projet de la basse Loire sont elles disponibles en annexes 2 à 4. Elles sont basées sur la même forme et contiennent les mêmes informations comme les références des couches à utiliser, les données à conserver ou supprimer lors d'un traitement, des détails sur les différentes étapes, etc.

IV. Discussion

1. La méthodologie MQI

L'utilisation de la méthodologie MQI dans ce projet a permis de mettre en évidence certains avantages et inconvénients majeurs de cet outil. L'outil MQI présente en effet deux principaux avantages : il constitue une méthode précise de par l'ensemble des paramètres analysés, et il ne nécessite que peu ou pas de terrain. Il se base essentiellement sur des informations existantes sur une grande partie du territoire. Elle nécessite essentiellement des données disponibles par les gestionnaires de ces milieux, comme des relevés mis en place à grande échelle et disponibles sur des sites publics (photographies aériennes, mesures de débits etc.), ou des informations sur l'historique du site. Le guide d'utilisation de cette méthodologie prévoit notamment une seule journée de terrain afin de collecter les informations potentiellement manquantes et limiter au maximum la mise en place d'incertitudes (Rinaldi et al, 2016). De plus, pour certains paramètres, si aucune information n'est disponible, une note par défaut peut être mise en place. Dans le contexte de la basse Loire, ce constat est vrai puisque la banque de données disponibles était assez importante pour analyser l'ensemble des paramètres. De même, pour les grands hydrosystèmes français, ce constat d'une faible mise en place de terrain pour collecter des données se révèle véridique. La plupart des informations demandées peuvent être déduites par photo-interprétation si aucune donnée chiffrée n'est déjà disponible pour ce paramètre, des données de débits sont aussi présentes sur tous les fleuves français, et il est possible de récupérer des MNT à 25 ou 50 m, moins précis mais disponibles sur l'ensemble du territoire. Néanmoins, si une étude souhaite être plus précise, des données supplémentaires peuvent être à collecter si elles ne sont pas déjà disponibles, comme la mise en place par exemple d'un relevé topo bathymétrique du site étudié, des analyses de la végétation ou de la nature des berges directement sur le terrain. Ces mesures seront un vrai plus pour conserver un fort degré de précision mais, dans ce cas-là, des phases de terrain supplémentaires seront à prévoir. Ce temps consacré au terrain dépendra donc fortement des contraintes du gestionnaire (temporelles et financières) et des données disponibles. Néanmoins, la méthode est présentée comme réalisable avec peu de terrain à effectuer, ce qui s'est avéré possible au cours de cette étude.

Cependant, ce guide d'utilisation donne des temps moyens de traitement qui semblent sous-estimés pour la mise en place des autres étapes de cette méthodologie. Il est prévu une première étape de collecte des données disponibles qui n'est pas chiffrée. Une seconde journée de travail est nécessaire pour trier les données récupérées et faire le travail préliminaire de création des tronçons. Pour finir, une dernière journée de travail doit permettre l'analyse de l'ensemble des paramètres sur tout le secteur d'étude (Rinaldi et al, 2016). Le tri des données collectées, ainsi que la mise en place des 48 tronçons a été effectué par C. Wintenberger en 2018. Ce rapport s'appuie sur son travail ; celui n'a donc pas été ré-effectué. De la même manière, une critique détaillée du temps de mise en place de ces parties, bien qu'il semble plus important qu'annoncé, ne sera pas réalisée puisque déjà traitée dans le rapport de Mme Wintenberger. Par contre, le remplissage du tableau Excel pour déterminer la note MQI sur le secteur de la basse Loire nécessite plus d'une journée de travail. Cette étape est extrêmement longue à mettre en place. Un gestionnaire ayant l'habitude d'utiliser cet outil et possédant une meilleure connaissance initiale de son terrain d'étude sera plus rapide pour le traitement des paramètres. Néanmoins, le temps de traitement des données excèdera une journée de travail, puisque l'étape de photo-interprétation nécessite à elle-seule plus d'une journée de travail. A titre de comparaison, l'analyse d'un tronçon afin de comprendre le fonctionnement de cette méthodologie et de s'imprégner des données disponibles a demandé plus d'une journée de travail.

2. Optimisation des temps de traitement

La méthodologie mise en place lors de ce projet pour optimiser les temps de traitement fonctionne mais est vite limitée. Cela s'explique notamment via ses conditions d'exécution qui sont assez restrictives. En effet, elle nécessite de travailler sur des données déjà classifiées, donc déjà disponibles dans des tables attributaires. L'exploitation est ainsi utilisable uniquement pour les jeux de données où le travail de collecte a déjà été effectué. Il s'agit le plus souvent d'informations récupérées auprès d'autres organismes ou bien au sein d'autres études. Avec cet outil, il n'est en effet pas possible de travailler directement sur des images et mettre en place des extractions et des collectes de données via photo-interprétation automatisée par exemple, point qui sera développé dans la suite de cette discussion.

Néanmoins, le protocole employé présente aussi plusieurs avantages. Les modèles builders sous SIG sont faciles à créer et nécessitent une seule étape de préparation en amont qui est la création d'un cache. La démarche mise en place peut donc être facilement réutilisée dans le cadre d'études utilisant l'outil MQI si les jeux de données sont en libre accès qu'ils n'ont pas été collectés spécifiquement pour la mise en place de l'outil MQI, comme dans le cas de l'étude de la basse Loire. Cela signifiera que les informations seront disponibles à des échelles différentes et ne seront pas directement prédécoupées à l'échelle des tronçons, comme cela avait été expliqué précédemment avec l'exemple de la figure 7. L'outil développé peut donc être facilement réutilisé pour d'autres études. Il est aussi facile à prendre en main, via notamment les fiches disponibles en annexes qui détaillent l'ensemble des étapes de traitement. De plus, dans cette étude c'est trois paramètres qui ont été optimisés compte tenu de la nature des données. Avec des jeux de données différents, le nombre de paramètres automatisables pourrait alors être plus ou moins important, en partant du principe que, plus des données sont disponibles, plus des paramètres pourraient être automatisés.

Pour les gains de temps d'analyse des différents paramètres, il a été vu précédemment que l'outil MQI est long à mettre en place et que le temps de mise en place est sous estimé. L'utilisation du protocole mis en place lors de ce PFE peut donc permettre de réduire ce temps d'analyse. En effet, en réutilisant la démarche présentée lors de cette étude (création d'un cache puis mise en place d'une sélection des données d'intérêt par tronçons) dans un premier temps, il faut ajouter le temps de création du cache et des modèles builders ; ce temps est extrêmement court et vite rentabilisé puisqu'il sera réutilisé pour l'ensemble des tronçons à étudier. C'est la réflexion le choix des jeux de données à utiliser et la manière de l'exploiter qui prend du temps. De ce fait, dans le cadre d'une prochaine étude utilisant la méthodologie MQI, il est préconisé, à l'image de ce qui a été mis en place dans cette étude, de faire une première analyse d'un tronçon manuellement afin de se familiariser avec les jeux de données disponibles et leur possible utilisation. Une fois cette analyse manuelle mise en place, un cache et des modèles peuvent être créés relativement rapidement (deux heures) par rapport au temps de traitement d'une analyse manuelle du paramètre sur plusieurs tronçons.

Enfin, dans cette étude, les modèles builders ne sont automatisés que de manière partielle. En effet, ils ne donnent pas directement la note à renseigner dans le tableau de l'outil MQI à savoir A, B ou C. A la fin des étapes d'automatisation, seules les données permettant de déterminer la note sont disponibles sur un tableau Excel. L'objectif de ce parti pris est de permettre à l'opérateur qui utilise ces modèles de conserver son pouvoir d'analyse et de décision dans la détermination de la note. Ce paramètre ressort comme crucial au vu de ce rapport et de ce qui était préconisé dans le guide d'utilisation de l'outil MQI, puisqu'il est important que l'opérateur en charge de la mise en place de l'outil MQI ait des compétences en hydrogéomorphologie et sur le fonctionnement des hydrosystèmes (Rinaldi et al, 2016). Il est possible de citer deux exemples où le jugement de l'opérateur va avoir de l'importance, d'où le parti pris de ne pas automatiser les modèles à 100%. Tout d'abord, les valeurs peuvent ressortir comme aberrantes au vu des caractéristiques réelles du milieu car les données disponibles sont fausses ou imprécises, des incertitudes peuvent alors être

amenées à être renseignées. De même, cela peut être intéressant si le résultat obtenu pour un paramètre que l'on nommera X est proche de 50 % et que la valeur seuil de notation est proche de 50%, il peut être pertinent de laisser à l'opérateur le choix final de la note ainsi que l'ajout d'une incertitude ou non. En travaillant de cette manière, l'opérateur gardera ainsi son pouvoir de décision et son esprit critique des données et des résultats obtenus. La détermination des paramètres n'étant pas seulement un travail de réflexion d'informatique mais une réflexion globale sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Pour finir, cela est également intéressant car la personne qui a créé les modèles et celle qui les utilisera sont deux opérateurs différents. En travaillant de cette manière, l'opérateur utilisant les modèles ne sera pas limité dans sa marge de réflexion et d'analyse.

3. Autres optimisations possibles

Le travail effectué lors de ce PFE, comme expliqué précédemment, se base seulement sur l'optimisation du temps de traitement de données à partir d'une table attributaire sous SIG. Néanmoins, les temps de traitements les plus longs durant la mise en place de la méthode MQI sont ceux qui nécessitent une phase de photo-interprétation par un opérateur. A partir de ce constat, l'automatisation de cette étape pourrait réduire le temps de mise en place de l'outil MQI. Pour cela, un travail d'extraction automatique des informations des photos aériennes devrait être effectué, afin de délimiter les berges, la végétation, le chenal ou d'autres caractéristiques via les différences de formes, motifs, couleurs, ombrages ou de textures. Néanmoins, ce travail n'a pas été possible compte tenu du temps imparti qui ne permettait pas le développement de ce type de traitement. De plus, il nécessite des compétences faisant appel à d'autres disciplines. Cependant, il n'en reste pas moins le critère le plus intéressant à automatiser pour optimiser l'outil MQI en termes de gain de temps.

De la même manière, la création de codes pour optimiser certains traitements pourrait également être envisagée. Par exemple, l'incision du lit de la Loire se détermine en analysant des lignes d'eau d'étiage actuelles avec celles des années 1970. Pour cela, une comparaison en deux points kilométriques, par tronçon étudié, des données d'altitudes de lignes d'eaux d'étiages actuelles et passées pour un débit relativement similaire est effectuée. Ce travail se réalise actuellement de manière manuelle à partir d'un jeu de données disponible sous Excel. Il serait possible d'automatiser ce traitement pour sélectionner directement deux points kilométriques qui possèdent des données d'altitude pour un débit similaire, en précisant un pourcentage de différence toléré. La différence d'altitude serait donc automatiquement visible par l'opérateur.

4. Bilan personnel du projet

Ce PFE aura été une occasion de mettre en pratique les compétences acquises au sein de la formation « Génie de l'Aménagement et de l'Environnement » dans différents domaines : dans l'utilisation d'outils de SIG par exemple, mais aussi sur le fonctionnement des hydrosystèmes, l'hydrogéomorphologie, ainsi que sur le fonctionnement général de la Loire. La nécessité de s'intégrer au sein d'un projet en cours, dans un temps relativement restreint, aura été une expérience particulièrement instructive, puisqu'elle implique de récupérer le travail effectué par un autre opérateur, ainsi que de se réappropriier les données afin de bien les comprendre pour pouvoir les exploiter.

Enfin, un travail de réflexion a été mis en place afin de répondre à la problématique posée, pour déterminer les éléments à optimiser, les raisons et les manières de réduire leurs temps de traitement. Cette démarche aura également été l'occasion de travailler sur un protocole scientifique et de juger les avantages et inconvénients qu'il présente, afin d'essayer de le corriger et de l'optimiser.

Conclusion

L'objectif initial de ce projet de fin d'étude était de déterminer les méthodes qui pouvaient être mises en place pour réduire le temps de mise en œuvre de l'outil MQI. En effet, la méthodologie MQI s'est révélée longue à mettre en place au sein de l'analyse hydromorphologique de la basse Loire. Néanmoins, elle présente l'avantage d'obtenir des résultats plus précis de par son découpage par tronçons, malgré que cela soit plus long à mettre en place. C'est pourquoi, dans le cadre du projet global, l'utilisation de ce protocole MQI est intéressante pour déterminer l'état hydromorphologique de la basse Loire avant la mise en place de travaux mais aussi après les travaux effectués. Cela permet de planifier au mieux les travaux à réaliser mais également de quantifier l'impact réel des travaux sur le site, d'où la nécessité de réduire au maximum les temps de traitement de cet outil pour pouvoir l'utiliser sur le terrain d'étude de la basse Loire.

Dans un premier temps, un travail de classification des paramètres à analyser a été nécessaire. Cela a permis de distinguer les paramètres qui restent fixes sur le secteur de la basse Loire, donc les paramètres pour lesquels la détermination n'a pas besoin d'être ré-effectuée pour chaque tronçon. De même, un travail peut être réalisé pour simplifier les temps de traitement d'autres paramètres, dont la mise en place a permis de mettre en évidence plusieurs éléments redondants et longs à réaliser, pour lesquels le temps d'analyse lors du protocole MQI peut être optimisé. Enfin, une dernière catégorie intègre les paramètres qui n'ont pu être optimisés ; une analyse manuelle et répétitive reste nécessaire pour certains d'entre eux.

Ainsi, pour les paramètres simplifiables, des modèles builders ont été réalisés. Ils ont pour but de traiter plus rapidement des données disponibles sous SIG qui s'étaient avérées assez confuses et complexes à utiliser. De plus, en parallèle des modèles, des fiches méthodologiques ont été créées afin de permettre à un autre opérateur d'utiliser à son tour les modèles. Ils permettent ainsi à n'importe quel utilisateur reprenant ce travail d'exploiter l'outil MQI sur le secteur de la basse Loire, via un temps de travail qui reste conséquent mais pour lesquels la charge de travail globale a été réduite.

Au final, les temps de traitement des données par photo-interprétation restants très long pour mettre en place la méthodologie MQI, le travail d'automatisation des différents paramètres peut potentiellement être encore optimisé, comme cela a été expliqué dans la partie discussion. Néanmoins, cela ferait appel à des compétences d'autres domaines (tels que le codage). Dans la continuité de ce travail, la mise en place de l'outil MQI, compte tenu des données disponibles et du travail réalisé, pourrait être réalisée pour un prochain sujet de PFE en ce qui concerne au moins les 24 premiers tronçons de la basse Loire.

Table des figures

Figure 1: Effondrement du pont Wilson à Tours le 9 Avril 1978 (Source : La Nouvelle République)	2
Figure 2 : Axes du projet R-TEMUS (Source : R-Temus)	3
Figure 3 : Secteur d'étude (Sources : Géoportail)	4
Figure 4: Exemple de découpage du secteur d'étude en tronçons (Source : Wintenberger, 2018).....	5
Figure 5 : Exemples de fiches synthétisant les informations de chaque paramètre (Réalisation personnelle sur la base du travail de Rinaldi et al., 2016 et C. Wintenberger, 2018).....	8
Figure 6 : Exemple d'informations comme la nature des berges dont le découpage chevauche plusieurs tronçons	11
Figure 7 : Capture d'écran illustrant le cache crée et la couche de découpage MQI.....	12
Figure 8 : Base sur laquelle les modèles builders sont réalisés.....	13

Table des tableaux

Tableau 1 : Indicateurs à utiliser dans le cadre de la mise en place de la méthodologie MQI sur le secteur de la basse Loire (Wintenberger, 2018)	5
Tableau 2 : Ensemble des paramètres à analyser lors de la mise en place de l'outil MQI sur le secteur de la basse Loire couplé avec les informations nécessaires à leur détermination	14

Bibliographie

Arnaud Fasseta, G., 2003. River channel changes in the Rhone Delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. *Catena*, 51: 141-172p.

Bornette G., Amoros C., Rostan J., 1996, River incision and vegetation dynamics in cut-off channels, *Aquatic Sciences* 58 : 32-44p.

HYDRATECH, 2013. Stratégie de reconquête du lit de la Loire entre les Ponts de Cé et l'agglomération nantaise : définition du programme d'action 2012-2020. Rapport de phase 2 pour le GIP Loire Estuaire, 83p. + annexes.

Légifrance, consulté le 10/01/2019, disponible sur :

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000173995&categorieLien=id>

Rinaldi M., Belletti B., Bussettini M., Comiti F., Golfieri B., Lastoria B., Marchese E., Nardi L., Surian N., 2017. New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of Environmental Management* 202 (2), 363-378p.

Rinaldi M., Bussettini M., Surian N., Comiti F., 2016; Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI), 188p.

Rodrigues S., Gautier J., 2007. Réponse morphologique des chenaux alluviaux aux travaux d'entretien : le cas des chenaux secondaires végétalisés de la Loire moyenne, *Réseaux hydrographiques : fleuves, rivières et canaux LA HOUILLE BLANCHE/N° 01*, 86-93p.

Rodrigues S., *Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'USages en Basse Loire (R-TEMUS)*, 58p. Université de Tours 2016.

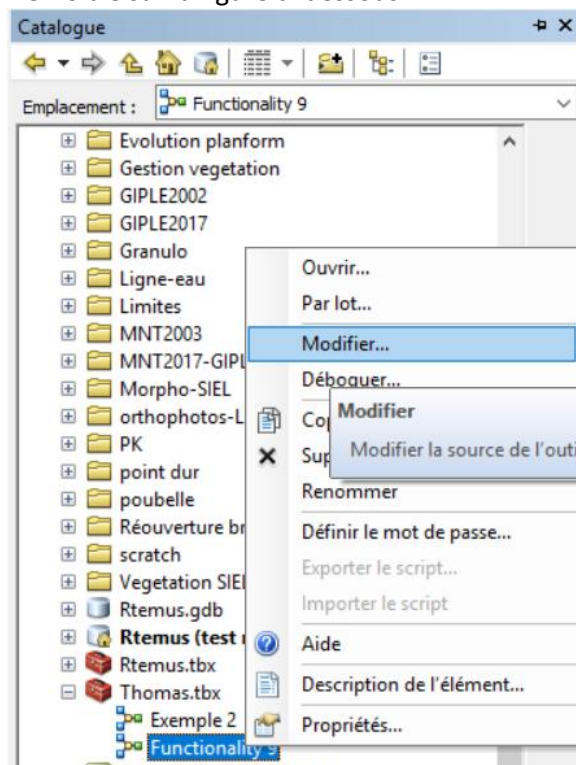
Wintenberger C., Non titré, 52p, Université de Tours 2018.

Annexes

Annexe 1 : Rappel - Bases communes aux modèles Builder sous SIG

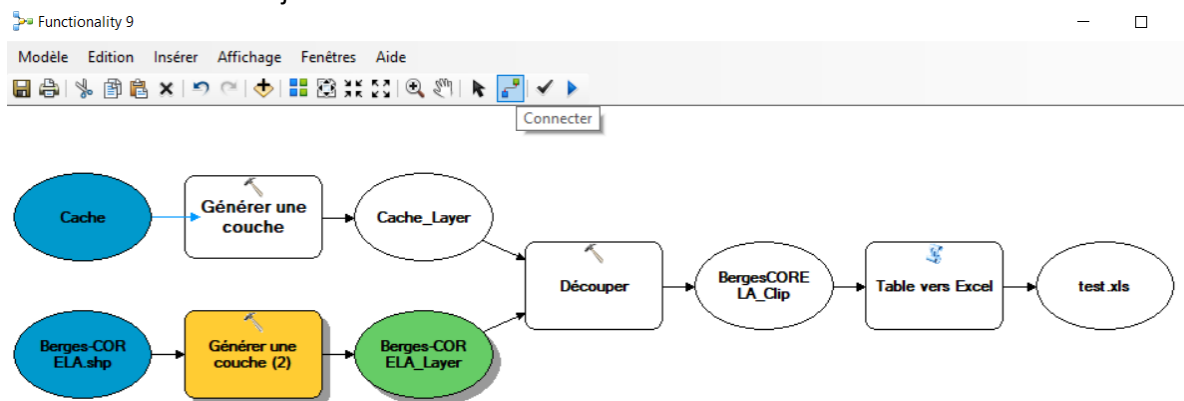
Etape 1 : Ouvrir le modèle

Sélectionner le modèle souhaité, mettre la souris dessus et faire un clic droit. Sélectionner ensuite l'option « modifier », comme visible sur la figure ci-dessous.



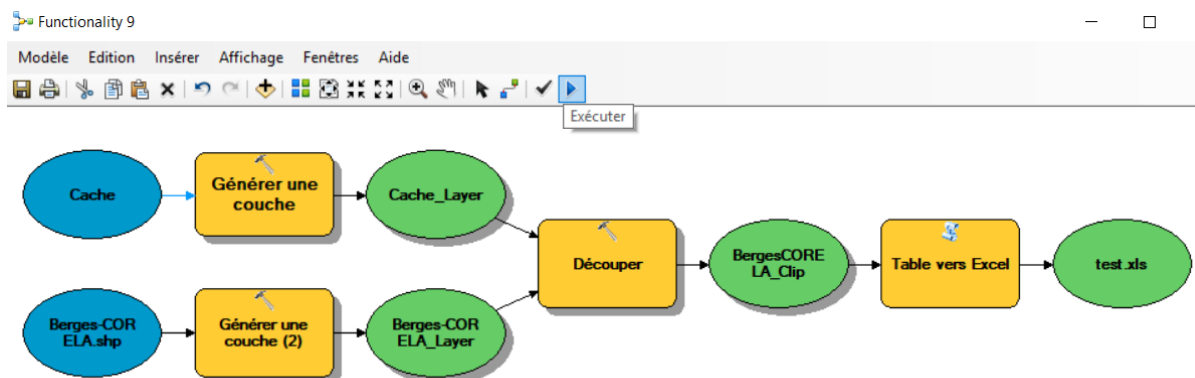
Etape 2 : Recréer le modèle

Pour ajouter une couche au modèle, il suffit de la sélectionner et de la faire glisser dans le modèle. Elles apparaissent en bleu. La même démarche est à effectuer pour ajouter des traitements. Ensuite, l'outil « connecter » est utilisé pour relier les différentes fonctions entre elles. Les outils de traitement deviennent jaune.



Etape 3 : lancer l'exécution du modèle

Une fois le modèle prêt, utiliser la touche « exécuter » pour le lancer, les outils de traitement (jaune) possèdent alors un ombrage une fois leur exécution réalisée, comme visible sur la figure 3.



Annexe 2 : Fiche méthodologique – Paramètre F9

Functionality

F9

Objectif
Connaître la variabilité de la section étudiée

Paramètres à analyser	
Profondeur	La couche « Morphology », permet d’obtenir des informations sur ce paramètre, puisqu’elle renseigne la diversité des variabilités des unités morphologiques (barres sédimentaires, îles et chenaux secondaires) par sections transversales sur le secteur de la basse Loire.
Largeur	Elle vient en complément. Elle donne des informations sur la capacité de la Loire à se mouvoir, à divaguer. Pour cela, une analyse de la couche « berges » du CORELA permet d’obtenir des informations sur la nature des berges (érodables ou non).

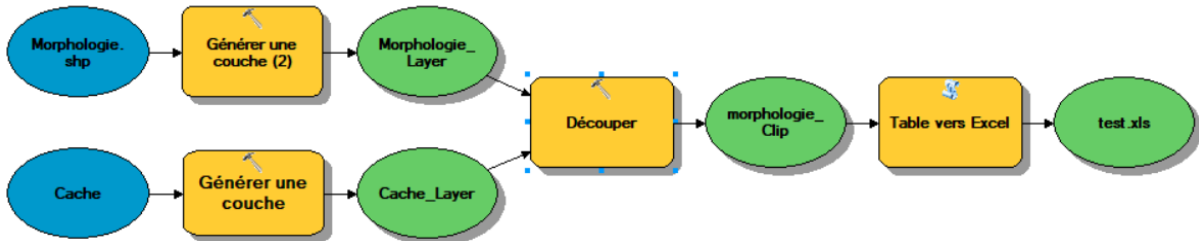
Classes de résultats	
Notes	Caractéristiques
A	Absence d’altération (<5%) de la variabilité naturelle de la section (longueurs et profondeurs)
B	Présence d’altération (homogénéisation de la section) pour une portion limitée du tronçon (≤33%)
C	Présence d’altération (homogénéisation de la section) pour une portion significative du tronçon (>33%)

Incertitudes
Aucune

Démarche sous SIG
Lancer deux modèles : un premier nommé « F9_prof » puis un deuxième nommé « F9_larg »

F9_prof : Modèle pour le paramètre « Profondeur »

Un ensemble de 4 traitements va être effectué. A partir des couches **Cache** et **Morphologie**, les informations sur la nature des berges pour un tronçon choisi vont être transférées dans un fichier Excel.



1. Outil « Générer une couche » avec la couche *Berges*

Le premier traitement va permettre de générer une couche à partir de la couche *Morphologie*. Il va permettre **de sélectionner les informations** de la table attributaire qui sont intéressantes **pour attribuer la note** à savoir : « **libelle** ». Ce champ doit donc être coché.

Générer une couche (2)

Entités en entrée
Morphologie.shp

Couche en sortie
Morphologie_Layer

Expression (facultatif)

espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
FID	FID	☐	☐
Shape	Shape	☐	☐
ID	ID	☐	☐
CODE_TYP	CODE_TYP	☐	☐
CODE_STYP	CODE_STYP	☐	☐
LIBELLE	LIBELLE	☒	☐
PROBA	PROBA	☐	☐
SURFACE	SURFACE	☐	☐
COORDX	COORDX	☐	☐

2. Outil « Générer une couche » avec la couche *Cache*

Le même traitement est effectué pour la couche *Cache*. Dans ce cas-là, tous les champs vont rester cochés. Une expression doit être mise en place. Elle permet de **sélectionner le tronçon** que l'on étudie, par exemple ici le tronçon correspondant est le 1_1. L'expression doit avoir la forme suivante Nom = 'numéro du tronçon étudié'.

 Générer une couche

Entités en entrée
Cache

Couche en sortie
Cache_Layer

Expression (facultatif)
Nom = '1_1'

espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
OBJECTID	OBJECTID	☒	☐
SHAPE	SHAPE	☒	☐
SHAPE_Length	SHAPE_Length	☒	☐
SHAPE_Area	SHAPE_Area	☒	☐
Tronçon	Tronçon	☒	☐
Nom	Nom	☒	☐

3. Outil « Découpage »

Ensuite, une étape de découpage permet de **coupler** les deux couches et donc de garder **les informations sur la variabilité de la profondeur du tronçon choisi**. Si l'on souhaite garder un enregistrement de la couche créée, il est nécessaire de lui attribuer un nom spécifique et un lieu d'enregistrement. Sinon, la couche créée sera enregistrée dans la géodatabase par défaut, et elle sera écrasée lors de la prochaine exécution du modèle. Attention, il n'est pas obligatoire de conserver la couche.

4. Outil « Table vers Excel »

Enfin, les données sont envoyées vers un tableau Excel. Comme précédemment, il est nécessaire de nommer la table et de configurer l'emplacement de sa sauvegarde. Elle sera sinon supprimée lors de l'exécution du prochain modèle.

 Table vers Excel

Table en entrée
morphologie_Clip

Fichier Excel en sortie
C:\Users\thomas\Desktop\test4.xls

☒ Utiliser l'alias de champ comme en-tête de colonne (facultatif)

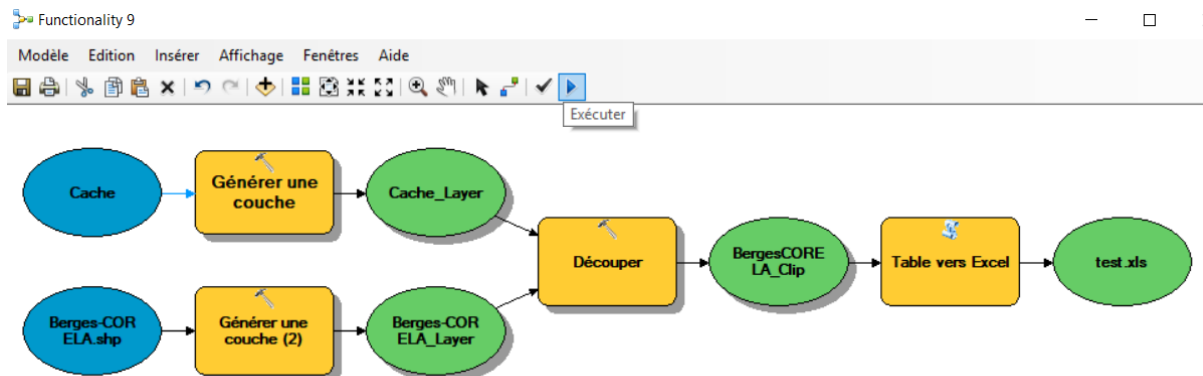
☐ Utiliser la description des domaines et des sous-types (facultatif)

Enfin, les données sont disponibles sur un tableau Excel pour le tronçon étudié ; le calcul de la note est donc directement réalisable sur Excel.

	A	B	C	D
1	FID	LIBELLE	Shape_Length	Shape_Area
2	1	Chenal d'étiage du bras secondaire	4643,836777212	110362,529725106
3	2	Chenal déconnecté	1222,719180948	15568,4509784829
4	3	Etang, mare	1270,5354286046	19964,9589249659
5	4	Grève ou banc de sable	1086,2123695009	2117,6127249245
6	5	Grève ou banc de sable	49,4900651394	100,3435499966
7	6	Grève ou banc de sable	459,8705217871	2357,4602249879

F9_larg : Modèle pour le paramètre « Largeur »

Un ensemble de 4 traitements va être effectué. A partir des couches **Cache** et **Berges CORELA**, les informations sur la nature des berges pour un tronçon choisi vont être transférées dans un fichier Excel.



1. Outil « Générer une couche » avec la couche *Berges*

Le premier traitement va permettre de générer une couche à partir de la couche *Berges du CORELA*. Il va permettre de **sélectionner les informations** de la table attributaire qui sont intéressantes **pour attribuer la note** à savoir : « **sub_pied ; sub_talus, sub_haut ; artif_nat** ». Ces 4 champs doivent donc être cochés.

Générer une couche (2)

Entités en entrée			
Berges-CORELA.shp			
Couche en sortie			
Berges-CORELA_Layer			
Expression (facultatif)			
espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)			
Informations de champ (facultatif)			
Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
ORIENTATIO	ORIENTATIO	☐	☐
TOPO_PENTE	TOPO_PENTE	☐	☐
TOPO_HAUT	TOPO_HAUT	☐	☐
TOPO_LARGE	TOPO_LARGE	☐	☐
TOPO_TYPE	TOPO_TYPE	☐	☐
SUB_PIED	SUB_PIED	☒	☐
SUB_TALUS	SUB_TALUS	☒	☐
SUB_HAUT	SUB_HAUT	☒	☐
DATE	DATE	☐	☐

2. Outil « Générer une couche » avec la couche *Cache*

Le même traitement est effectué pour la couche *Cache*. Dans ce cas-là, tous les champs vont rester cochés. Une expression doit être mise en place. Elle permet de **sélectionner le tronçon** que l'on étudie, par exemple ici le tronçon correspondant est le 1_1. L'expression doit avoir la forme suivante Nom = 'numéro du tronçon étudié'.

 Générer une couche

Entités en entrée
 

Couche en sortie

Expression (facultatif)
 

Espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)
 

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
OBJECTID	OBJECTID	☒	☐
SHAPE	SHAPE	☒	☐
SHAPE_Length	SHAPE_Length	☒	☐
SHAPE_Area	SHAPE_Area	☒	☐
Tronçon	Tronçon	☒	☐
Nom	Nom	☒	☐

3. Outil « Découpage »

Ensuite, une étape de découpage permet de **coupler** les deux couches et donc de garder **les informations sur la nature des berges pour le secteur choisi**. Si l'on souhaite garder un enregistrement de la couche créée, il est nécessaire de lui attribuer un nom spécifique et un lieu d'enregistrement. Sinon, la couche créée sera enregistrée dans la géodatabase par défaut, et elle sera écrasée lors de la prochaine exécution du modèle. Attention, il n'est pas obligatoire de conserver la couche.

4. Outil « Table vers Excel »

Enfin, les données sont envoyées vers un tableau Excel. Comme précédemment, il est nécessaire de nommer la table et de configurer l'emplacement de sa sauvegarde. Elle sera sinon supprimée lors de l'exécution du prochain modèle.

Table vers Excel

Table en entrée
 

Fichier Excel en sortie
 

☒ Utiliser l'alias de champ comme en-tête de colonne (facultatif)

☐ Utiliser la description des domaines et des sous-types (facultatif)

Enfin, les données sont disponibles sur un tableau Excel pour le tronçon étudié ; le calcul de la note est donc directement réalisable sur Excel.

Annexe 3 : Fiche méthodologique – Paramètre F1

Functionality

F1

Objectif
Etudier la continuité longitudinale du flux sédimentaire et des débris ligneux

Paramètres à analyser
Regarder la présence potentielle d'obstacles d'origines anthropiques (exemple : barrages) pouvant altérer cette continuité longitudinale sur les tronçons
Attention : pour cette étude, prendre en compte les barrages de Villerest et Grangent à l'amont. La note « A » n'est pas accessible. S'il n'y a pas d'ouvrages sur le tronçon, la note sera « B ». Si des ouvrages sont présents, noter « C ».

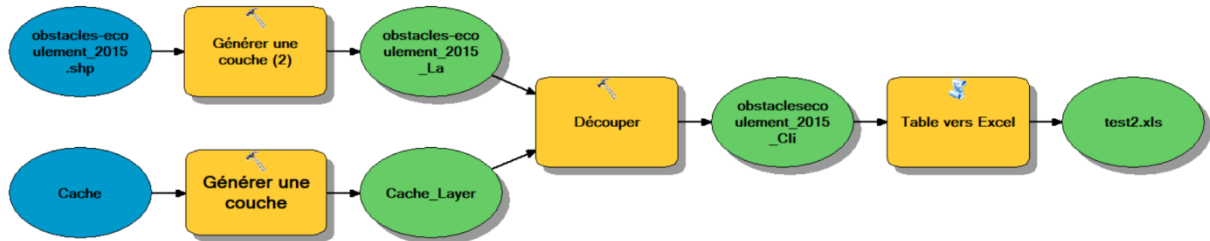
Classes de résultats	
Notes	Caractéristiques
A	Absence d'altérations dans la continuité des sédiments et des débris ligneux
B	Légère altération : obstacles sans interception
C	Forte altération : discontinuité du chenal et interception des sédiments et débris ligneux

Incertitudes
Aucune

Démarche sous SIG
Lancer un seul modèle nommé « F1_Obst »

F1_Obst : Modèle pour le paramètre « Obstacles »

Un ensemble de 4 traitements va être effectué. A partir des couches **Cache** et **obstacles-ecoulement_2015**, les informations sur les obstacles à la continuité longitudinale pour un tronçon choisi vont être transférées dans un fichier Excel.



1. Outil « Générer une couche » avec la couche *Berges*

Le premier traitement va permettre de générer une couche à partir de la couche **obstacles-ecoulement_2015**. Il va permettre de **sélectionner les informations** de la table attributaire qui sont intéressantes **pour attribuer la note** à savoir : « **typenom** ». Ce champ doit donc être coché.

Générer une couche (2)

Entités en entrée
obstacles-ecoulement_2015.shp

Couche en sortie
obstacles-ecoulement_2015_La

Expression (facultatif)

espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
nom	nom	☐	☐
typecd	typecd	☐	☐
typenom	typenom	☒	☐
stypecd	stypecd	☐	☐
stypenom	stypenom	☐	☐
stypemcd1	stypemcd1	☐	☐
stypemnom1	stypemnom1	☐	☐
stypemcd2	stypemcd2	☐	☐
stypemnom2	stypemnom2	☐	☐

2. Outil « Générer une couche » avec la couche *Cache*

Le même traitement est effectué pour la couche *Cache*. Dans ce cas-là, tous les champs vont rester cochés. Une expression doit être mise en place. Elle permet de **sélectionner le tronçon** que l'on étudie, par exemple ici le tronçon correspondant est le 1_1. L'expression doit avoir la forme suivante **Nom = 'numéro du tronçon étudié'**.

Générer une couche

Entités en entrée

Couche en sortie

Expression (facultatif)

Espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
OBJECTID	OBJECTID	☒	☐
SHAPE	SHAPE	☒	☐
SHAPE_Length	SHAPE_Length	☒	☐
SHAPE_Area	SHAPE_Area	☒	☐
Tronçon	Tronçon	☒	☐
Nom	Nom	☒	☐

3. Outil « Découpage »

Ensuite, une étape de découpage permet de **coupler** les deux couches et donc de garder **les informations la présence d'ouvrages pour le secteur choisi**. Si l'on souhaite garder un enregistrement de la couche créée, il est nécessaire de lui attribuer un nom spécifique et un lieu d'enregistrement. Sinon, la couche créée sera enregistrée dans la géodatabase par défaut, et elle sera écrasée lors de la prochaine exécution du modèle. Attention, il n'est pas obligatoire de conserver la couche.

4. Outil « Table vers Excel »

Enfin, les données sont envoyées vers un tableau Excel. Comme précédemment, il est nécessaire de nommer la table et de configurer l'emplacement de sa sauvegarde. Elle sera sinon supprimée lors de l'exécution du prochain modèle.

Table vers Excel

Table en entrée

Fichier Excel en sortie

☒ Utiliser l'alias de champ comme en-tête de colonne (facultatif)

☐ Utiliser la description des domaines et des sous-types (facultatif)

Enfin, les données sont disponibles sur un tableau Excel pour le tronçon étudié. Regarder si un barrage ou un seuil est présent sur le tronçon d'étude et mettre alors la note C, sinon (aucun ouvrage présent ou seulement des épis) mettre la note B.

	A	B
1	FID	typenom
2	1	Seuil en rivière

Annexe 4 : Fiche méthodologique – Paramètre A6

Artificiality

A6

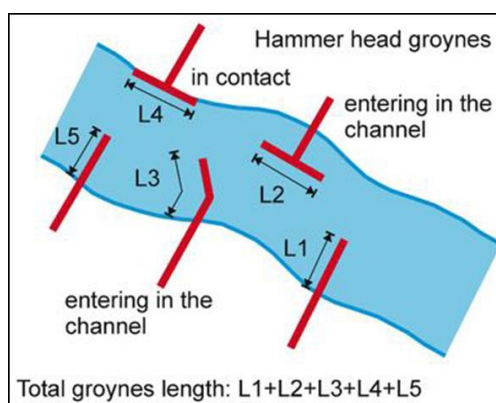
Objectif
Déterminer le pourcentage de berges protégées

Paramètres à analyser
Regarder le pourcentage de longueur de berges protégées par rapport à la longueur totale de berge
Attention : un mode de calcul spécifique doit être ajouté afin de prendre en compte les épis (voir la figure dans la partie « démarche sous SIG »)

Classes de résultats	
Notes	Caractéristiques
A	Absence ou protection très localisée, $\leq 5\%$
B	Protection sur une longueur $\leq 33\%$ de la longueur totale
C	Protection sur une longueur $> 33\%$ de la longueur totale (si $> 80\%$: pénalité → doubler le score)

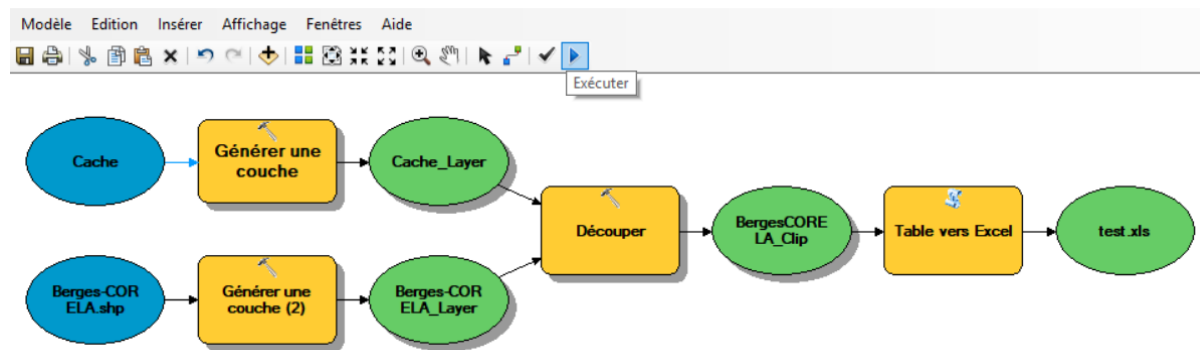
Incertitudes
Aucune

Démarche sous SIG
Dans un premier temps, lancer un seul modèle nommé « A6_larg », il permettra d'obtenir la longueur de berge protégée par rapport à la longueur totale de berges.
Dans un second temps, ajouter la longueur des épis (déterminée par photo-interprétation) dans la longueur totale des berges protégées. La longueur des épis se calcule grâce à la figure suivante (source : outil MQI).



A6_larg : Modèle pour le paramètre « Largeur »

Un ensemble de 4 traitements va être effectué. A partir des couches **Cache** et **Berges CORELA**, les informations sur la nature des berges pour un tronçon choisi vont être transférées dans un fichier Excel.



1. Outil « Générer une couche » avec la couche *Berges*

Le premier traitement va permettre de générer une couche à partir de la couche *Berges* du *CORELA*. Il va permettre **de sélectionner les informations** de la table attributaire qui sont intéressantes **pour attribuer la note** à savoir : « **sub_pied ; sub_talus, sub_haut ; artif_nat** ». Ces 4 champs doivent donc être cochés.

Générer une couche (2)

Entités en entrée			
Berges-CORELA.shp			
Couche en sortie			
Berges-CORELA_Layer			
Expression (facultatif)			
espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)			
Informations de champ (facultatif)			
Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
ORIENTATIO	ORIENTATIO	☐	☐
TOPO_PENTE	TOPO_PENTE	☐	☐
TOPO_HAUT	TOPO_HAUT	☐	☐
TOPO_LARGE	TOPO_LARGE	☐	☐
TOPO_TYPE	TOPO_TYPE	☐	☐
SUB_PIED	SUB_PIED	☒	☐
SUB_TALUS	SUB_TALUS	☒	☐
SUB_HAUT	SUB_HAUT	☒	☐
DATE	DATE	☐	☐

2. Outil « Générer une couche » avec la couche *Cache*

Le même traitement est effectué pour la couche *Cache*. Dans ce cas-là, tous les champs vont rester cochés. Une expression doit être mise en place. Elle permet de **sélectionner le tronçon** que l'on étudie, par exemple ici le tronçon correspondant est le 1_1. L'expression doit avoir la forme suivante Nom = 'numéro du tronçon étudié'.

 Générer une couche

Entités en entrée
Cache

Couche en sortie
Cache_Layer

Expression (facultatif)
Nom = '1_1'

Espace de travail ou jeu de classes d'entités (facultatif)

Informations de champ (facultatif)

Nom de champ	NewFieldName	Visible	Règle de division
OBJECTID	OBJECTID	☒	☐
SHAPE	SHAPE	☒	☐
SHAPE_Length	SHAPE_Length	☒	☐
SHAPE_Area	SHAPE_Area	☒	☐
Tronçon	Tronçon	☒	☐
Nom	Nom	☒	☐

3. Outil « Découpage »

Ensuite, une étape de découpage permet de **coupler** les deux couches et donc de garder **les informations sur la nature des berges pour le secteur choisi**. Si l'on souhaite garder un enregistrement de la couche créée, il est nécessaire de lui attribuer un nom spécifique et un lieu d'enregistrement. Sinon, la couche créée sera enregistrée dans la géodatabase par défaut, et elle sera écrasée lors de la prochaine exécution du modèle. Attention, il n'est pas obligatoire de conserver la couche.

4. Outil « Table vers Excel »

Enfin, les données sont envoyées vers un tableau Excel. Comme précédemment, il est nécessaire de nommer la table et de configurer l'emplacement de sa sauvegarde. Elle sera sinon supprimée lors de l'exécution du prochain modèle.

 Table vers Excel

Table en entrée
BergesCORELA_Clip

Fichier Excel en sortie
C:\Users\thomas\Desktop\test.xls

☒ Utiliser l'alias de champ comme en-tête de colonne (facultatif)

☐ Utiliser la description des domaines et des sous-types (facultatif)

Enfin, les données sont disponibles sur un tableau Excel pour le tronçon étudié ; le calcul de la note est donc directement réalisable sur Excel.

Directrice de recherche :

Thomas Bonnafox

Coraline Wintenberger

PFE/DAE5

Ingénierie des milieux aquatiques

2018-2019

Optimisation des temps de traitement d'un outil de détermination de l'état hydrogéomorphologique (outil MQI) : application à un secteur de la Loire dans le cadre du projet d'étude R-TEMUS

Résumé :

Afin de déterminer de manière précise l'hydromorphologie d'un site, des protocoles ont été développés et testés au niveau européen, à l'exemple de la méthodologie Morphological Quality Index (MQI). Pour cela, le secteur étudié est divisé en tronçons de petites tailles puis une liste prédéfinie de paramètres doit être testée pour l'ensemble de ces tronçons, avant de déterminer une note globale.

Ainsi, dans le cadre d'un programme de recherche nommé Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'USages en Basse Loire (R-Temus), cet outil a été utilisé afin de qualifier l'hydromorphologie de la basse Loire. L'objectif est de déterminer précisément l'hydromorphologie du site étudié afin d'optimiser par la suite le programme d'actions. Ce rapport s'intéresse à ce cas d'étude et plus spécifiquement à la problématique suivante : « comment réduire les temps de traitements des différentes paramètres à analyser via l'outil MQI ? ».

Ainsi, les paramètres à tester dans le cadre du protocole MQI ont été classés en trois catégories : ceux qui sont fixes pour l'ensemble du secteur étudié, ceux qui ne sont pas fixes mais pour lesquels une automatisation est impossible, et ceux pour lesquels des étapes d'automatisation ont pu être mises en place pour réduire le temps de traitement de ces paramètres. Pour cette dernière catégorie de paramètres, des modèles builder ont été mis en place sous SIG afin d'automatiser une partie du traitement des données et ainsi gagner du temps dans la mise en place du protocole MQI.

Mots Clés : Morphological Quality Index (MQI), Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'USages en Basse Loire (projet R-Temus), Hydrogéomorphologie, Loire, Automatisation SIG