	Rédacteur : Stéphane PETIT
	Date : lundi 28 octobre 2019
Dossier 201908-001	53 pages

Analyse de l'évolution latérale de la rivière Allier au
droit du viaduc de la RCEA
RN du Val d'Allier (03)

SOMMAIRE

1.	Introduction	4
1.1.	Contexte et objectifs de l'étude	4
1.2.	Méthode d'investigation	4
2.	Fonctionnement géomorphologique à l'échelle de la réserve naturelle du val d'Allier	6
2.1.	Objectifs	6
2.2.	Méthode.....	6
2.3.	Analyse historique de l'évolution du tracé en plan.....	8
2.4.	Analyse de l'évolution de la bande active	13
3.	Fonctionnement géomorphologique à l'Echelle du pont de la RCEA	17
3.1.	Analyse historique des tracés en plan et dynamique actuelle	17
3.2.	Au droit du banc de rive gauche	24
4.	Régime hydrologique.....	27
4.1.	Méthode.....	27
4.2.	Analyse de l'hydraulicité, des rythmes des crues et des débits interannuels.....	28
5.	Proposition d'évolution morphologique.....	32
5.1.	Evolution morphologique liée à un contrôle amont	32
5.2.	Evolution morphologique liée à un contrôle aval	39
5.3.	Conclusion	42
6.	Quelles stratégies adoptées vis-à-vis de l'ajustement latérale du lit ?.....	43
7.	Mise en place d'un suivi morphologique	45
7.1.	Objectifs	45
7.2.	Emprise du suivi	46
7.3.	Pas de temps de suivi	46
7.4.	Modalités du suivi	46
	Bibliographie	51
8.	Liste des Planches graphiques	52
9.	Liste des annexes	52

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte et objectifs de l'étude

Les travaux d'aménagement de la RCEA (Route Centre-Europe Atlantique) prévoient le doublement et l'élargissement à 2x2 voies du pont sur la rivière Allier et la suppression des enrochements aujourd'hui en place en amont et en aval du pont dont l'objectif est de redonner au cours d'eau un espace de mobilité sur sa rive gauche (Figure 1).

Différentes études (Véodis-3D, 2014, CEREMA 2015, Artélia 2016) mettent en avant les possibilités d'un basculement du lit de l'Allier en rive gauche suite aux travaux de désenrochements, ce qui pourrait, *in fine*, mettre en péril plusieurs enjeux : remblais de franchissement, ferme des Perrons, station d'épuration de la commune de Chemilly, puits de captage d'irrigation).

A la demande de la société EIFFAGE, le cabinet d'études Véodis-3D a été mandaté pour réaliser une étude géomorphologique du fonctionnement de la rivière Allier au droit du viaduc afin :

- d'identifier l'impact de la suppression des enrochements sur la divagation de la rivière Allier au droit du pont de la RCEA,
- les conséquences de l'augmentation de l'espace de mobilité et les potentialités de divagation sur la remobilisation du banc végétalisé situé en arrière de la protection, mais aussi sur l'érodabilité de la berge des Perrons (berge Holocène) de rive gauche,
- les conséquences sur principaux enjeux de protection des biens et des personnes (STEP, bâtiments agricoles et habitations),
- les actions à mettre en place pour accompagner la remobilisation de cet espace voire empêcher l'érosion du rebord de la terrasse holocène.

1.2. Méthode d'investigation

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) permettent de croiser différentes couches et niveaux d'informations géographiques (tracés du lit, topographie Lidar, géologie, enjeux, localisation des enrochements ou affleurement rocheux, etc.). Le croisement de ces différentes couches d'informations associé à des investigations (levé de la ligne d'eau, profils en travers) et une expertise de terrain permet de proposer un diagnostic de fonctionnement actuel et futur.

Le recueil des données nécessaire au renseignement de cette base cartographique a été effectué de plusieurs façons :

- Synthèse des données à l'échelle du secteur d'étude,
- Synthèse des études existantes,
- Visite de terrain et expertise de terrain,

- Levés topographiques **de la ligne d'eau d'étiage** et de profils en travers,
- Production d'**orthophotoplan** à partir des images aériennes anciennes,
- Analyses des tracés anciens et récents de la rivière Allier,
- Calcul d'**indices géomorphologiques**.

La liste des données cartographiques intégrées dans la base de données SIG est fournie en annexe 1.

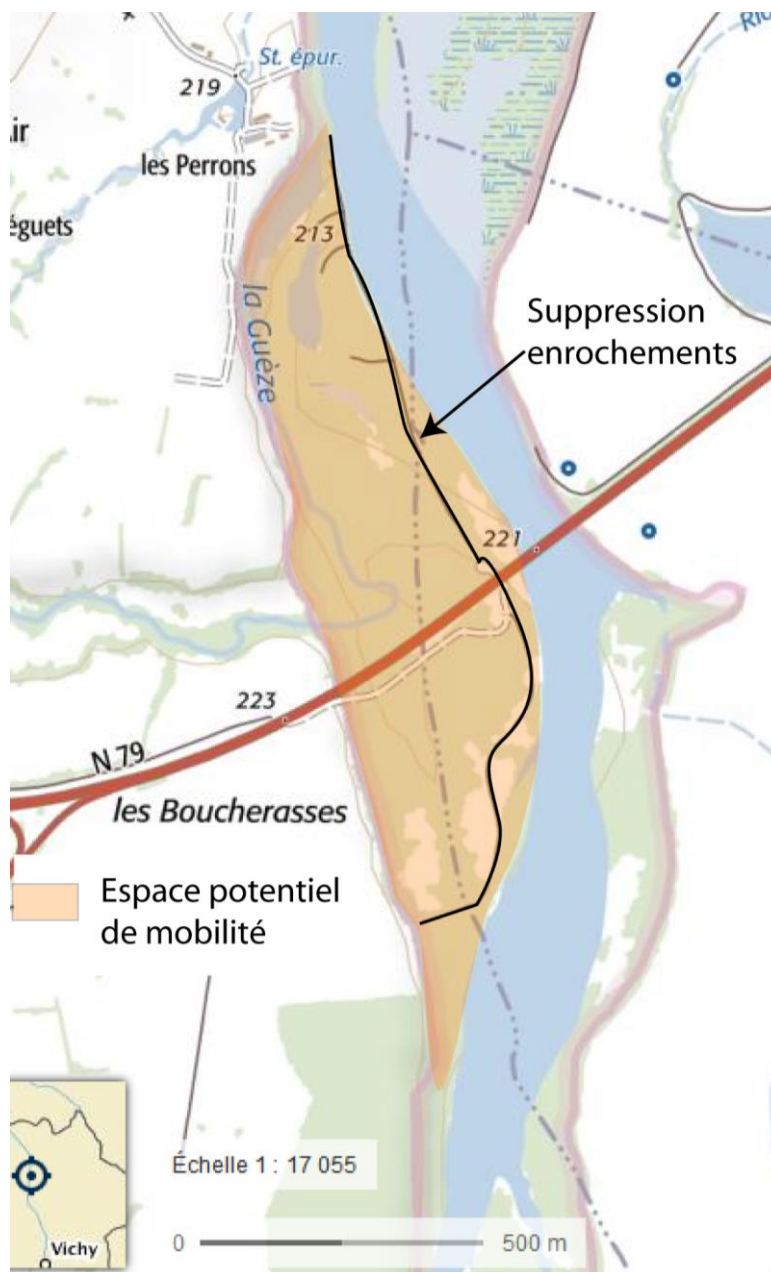


Figure 1 - Plan de situation du pont de la RCEA (03).

2. FONCTIONNEMENT GÉOMORPHOLOGIQUE A L'ECHELLE DE LA RESERVE NATURELLE DU VAL D'ALLIER

2.1. Objectifs

Afin de réaliser une expertise sur le fonctionnement géomorphologique de l'**Allier** au droit du franchissement de la RCEA, une approche historique a été **mise en œuvre**. Elle se fonde sur une analyse diachronique des tracés des chenaux et de la bande active au cours des 70 dernières années.

L'**étude des documents cartographiques** (cartes et photographies aériennes) permet de reconstituer la dynamique spatiale du chenal et de mettre en évidence la tendance évolutive de l'**Allier** au droit du site d'étude.

L'**étude** a été menée à deux échelles :

- A l'échelle du secteur fonctionnel compris entre le pont de Châtel-de-Neuvre et l'amont de la ville de Moulins (22 km de linéaire),
- A l'échelle du tronçon situé au droit du pont de la RCEA (3 km linéaire).

Cette analyse a pour objectif de comprendre le fonctionnement actuel de l'**Allier** au droit du franchissement de la RCEA et l'évolution future du lit suite à l'augmentation de l'espace potentiel de mobilité.

2.2. Méthode

Les analyses de l'évolution du tracé en plan de l'**Allier** ont été menée sur la période 1945-2016, à partir de 11 séries de photographies aériennes : 1946, 1954, 1968, 1975, 1973, 1992, 1997, 2000, 2005, 2009 et 2016.

Elles sont complétées par le calcul d'indices géomorphologiques.

- Le calcul des largeurs de bande active : **L'estimation de la largeur de la** bande active et de son évolution dans le temps permet de quantifier de la morphologie en plan des **cours d'eau** et constitue **un témoin de la dynamique du chenal et de l'importance du** transit de charge de fond.

La bande active **correspond à l'emprise des chenaux en eau et des bancs** de galets, de graviers et de sable **à l'exclusion des îles végétalisées**. L'absence de végétation sur les bancs indique des submersions fréquentes et le remaniement des formes fluviales avec une fréquence approximativement annuelle, voire biennale.

Les largeurs de bande active sont calculées pour les différentes dates (échelle 70 ans) et les résultats sont présentés graphiquement à partir d'une représentation de « boîte à moustache ». La « boîte à moustache » est un moyen rapide de figurer le profil essentiel

d'une série statistique quantitative (Figure 2), ici la distribution, pour chaque date, de toutes les valeurs la largeur de la bande active. Ce graphique permet ainsi de résumer une variable de manière **simple et visuel**, d'identifier la médiane, les quartiles et les valeurs extrêmes et de comprendre la répartition des observations (les largeurs) pour chaque population étudiées (les dates).

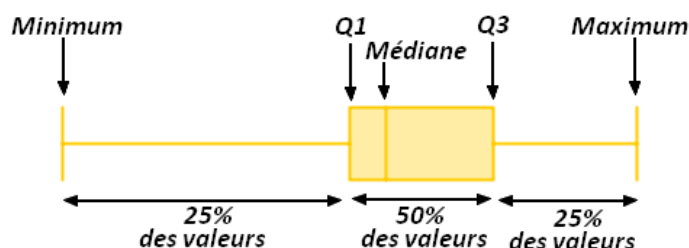


Figure 2 - Clé de lecture d'un graphique de type "boîte à moustache".

- Le calcul du déplacement du chenal qui est un indicateur de l'activité géomorphologique et qui permet d'évaluer la durabilité des phénomènes érosifs au regard de l'analyse diachronique.
- Le calcul de la puissance spécifique à pleins bords. La puissance spécifique à pleins bords est un paramètre déterminant de la dynamique fluviale. Plus la puissance spécifique est élevée **et plus le cours d'eau a** les capacités à éroder ses berges et à transporter des alluvions.

La puissance spécifique est une **mesure de la capacité du cours d'eau à transporter des sédiments**. Elle permet de connaître l'état actuel d'un système et traduit la variabilité des formes fluviales en mettant en évidence le fort caractère dynamique du chenal. Son calcul est utile pour la **prédiction de l'érosion limite, de la migration** du chenal, du transport des sédiments, des dépôts sédimentaires et la forme du lit.

Le calcul de la **puissance spécifique** (ω exprimée en W/m^2) se présente sous la forme suivante : $\omega = (g \rho Q S) / w$

Avec, Q le débit (en $m^3.s^{-1}$), w la largeur du lit (en m), S la pente longitudinale (en $m.m^{-1}$), ρ la masse volumique du fluide (en $kg.m^{-3}$) et g l'**accélération** de la pesanteur (en $m.s^{-2}$).

Afin de réaliser des comparaisons entre différentes rivières, on retient généralement comme débit, le débit à plein bord, auquel cas w est la largeur prise entre les berges au niveau du débordement.

Ces analyses ont été couplées à une expertise de terrain qui a pour objectif de valider la trajectoire d'évolution historique du chenal et de déceler la tendance actuelle et future.

2.3. Analyse historique de l'évolution du tracé en plan

La superposition des tracés des chenaux entre 1945 et 2016 permet d'identifier trois tronçons à dynamique latérale contrastée :

1. Du pont de Châtel-de Neuve à l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier

Sur ce tronçon l'espace de mobilité est large et le chenal est fortement divaguant à l'échelle des 70 dernières années. C'est un secteur mobile dans lequel l'Allier développe son chenal sans contrainte latérale. Le coefficient de sinuosité est l'un des plus fort de l'Allier (1.35, EPTEAU, 1998).

Le chenal est latéralement très instable et peut, à l'occasion des crues, se déplacer de plusieurs dizaines de mètres par an, en moyenne de 10 à près de 40 m, sur l'ensemble de la période étudiée (Tableau 1). Cette forte activité géomorphologique est **l'une** des caractéristiques majeures de la plaine alluviale **de l'Allier** dans le secteur de la Réserve Naturelle du Val d'Allier et **l'une des plus** élevée sur **l'ensemble de l'axe Allier**, de Brioude à la confluence avec la Loire.

La morphométrie du lit est relativement libre de **s'ajuster** aux débits et épisodes de transports de sédiments, en raison de la largeur des alluvions modernes (Fz et Fyz) qui est un paramètre essentiel pour évaluer les potentialités **d'ajustement dynamique de la rivière**. **La largeur des alluvions** Fz et Fyz (les plus anciennes des alluvions modernes) est élevée (2800 m en moyenne).

2. De l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier au Pont RCEA

La superposition des tracés des chenaux montre un chenal stable avec peu de signe d'activité latérale, sauf localement en particulier en amont rive droite du Pont RCEA.

Les potentialités de divagation sont fortement réduites par rapport au tronçon amont en raison :

- de la présence de cordons d'enrochements en rive droite sur un linéaire d'environ 1 200 m. Ces enrochements représentent un fort degré d'artificialisation de la berge puisque près de 26 % de la longueur de la berges rive droite est protégée,
- de la proximité des terrasses quaternaires et de l'affleurement du substratum marneux en rive gauche, mais également en rive droite en aval immédiat du méandre de Bessay-sur-Allier.

En rive gauche, le substratum marneux affleure sur près de 1 000 m (Figure 3).

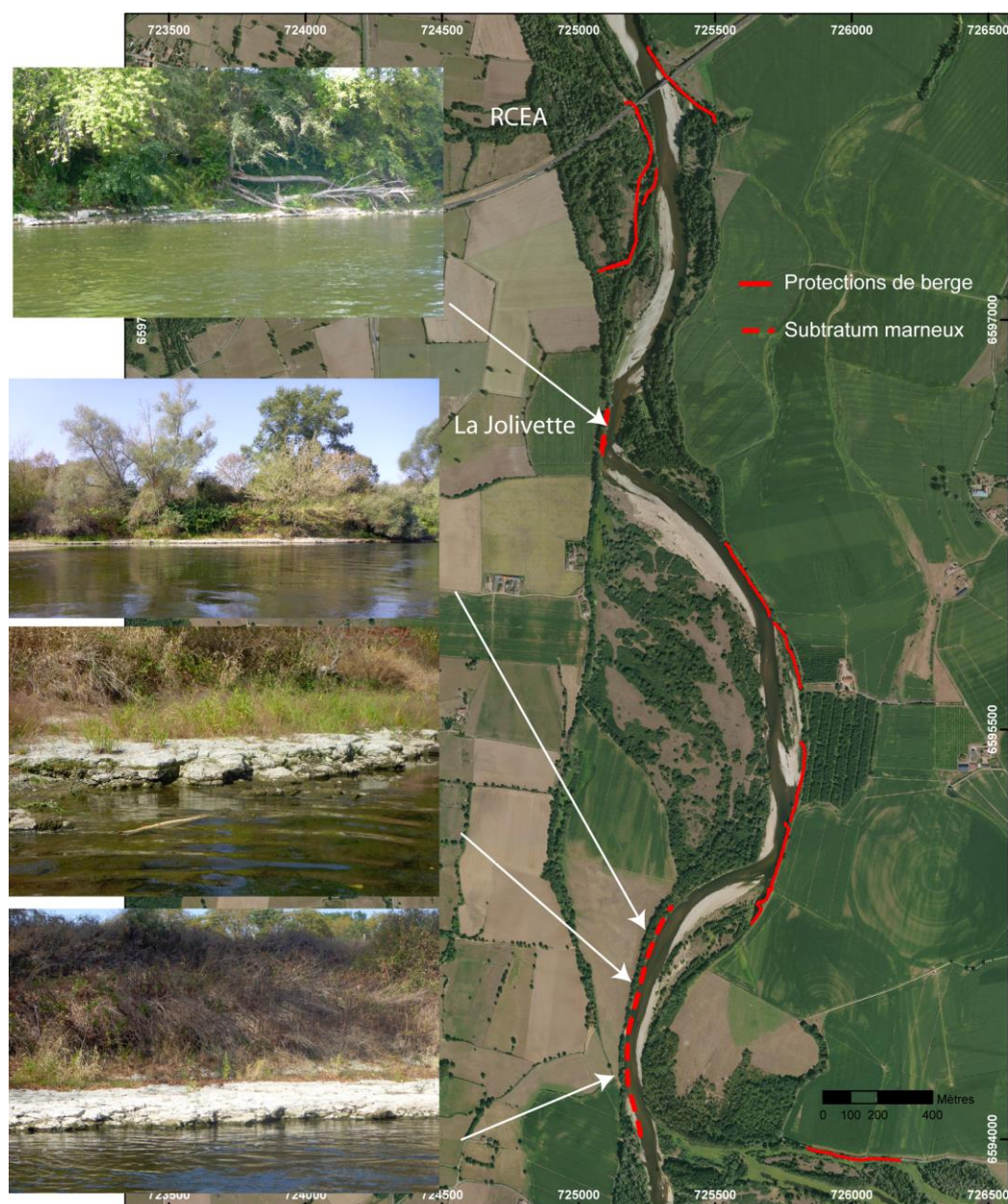


Figure 3 - Présence du substratum marneux affleurant et de protections de berge.

Il existe une corrélation entre la présence de marnes et l'incision du lit, bien que cette relation soit fonction de l'épaisseur de la couche alluviale.

En l'absence de données topo-bathymétriques fiables pour analyser les phénomènes d'incision/exhaussement du lit, deux hypothèses peuvent être avancées sur la présence de ce substratum :

- soit la présence de marnes est liée à l'incision du lit, dans ce cas, nous aurions constaté dans les années 1940/50 voir sur les documents cartographiques anciens, une dynamique latérale plus active,
- soit les marnes affleurent dans ce secteur où l'incision est peu ou faiblement marquée renseignant ainsi sur des remontées du substratum marneux.

La Figure 4 montre un différentiel de 5 m des isophyses du toit des marne d'Ouest en Est qui explique la différence des processus érosif entre un secteur à faible vitesse d'érosion (La Jolivette) et un secteur à forte dynamique latérale comme l'est la berge des Moquets (Artélia 2016).

Cette seconde hypothèse est à retenir pour expliquer la stabilisation du tracé en plan.

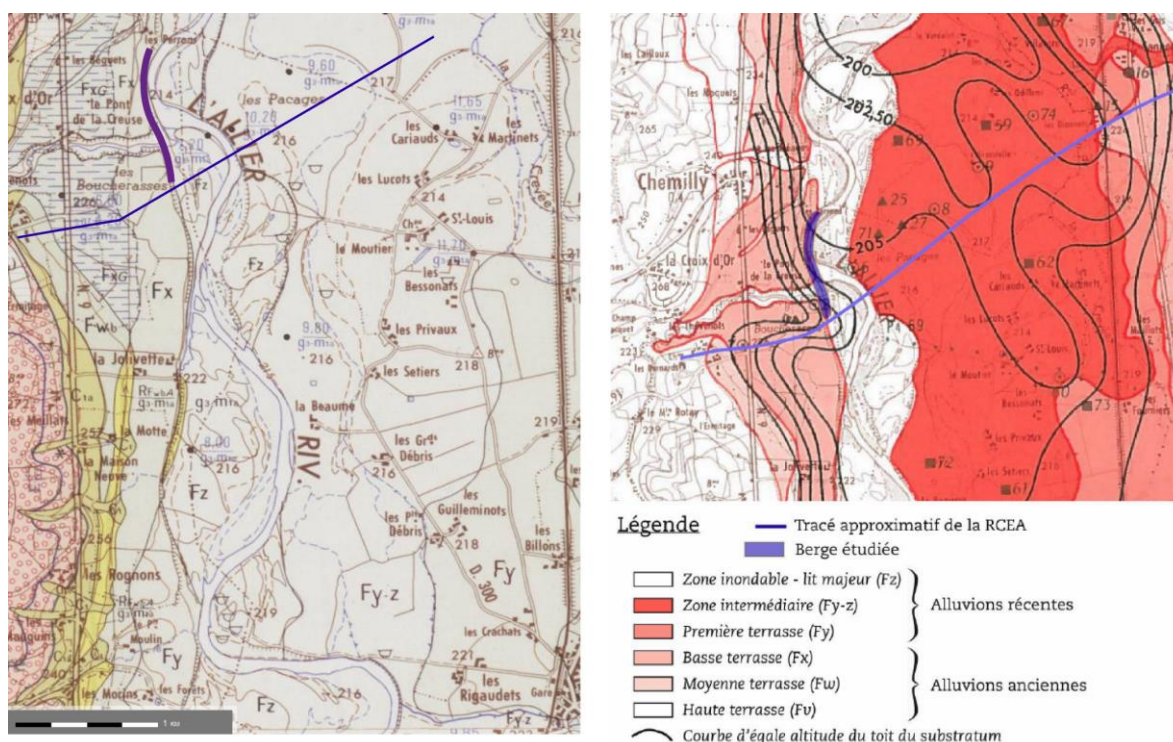


Figure 4 - Carte géologique et isohypses du substratum marneux (source CETE Lyon/BRGM 1975 in Artelia 2016).

En aval de ce tronçon, le pont et les protections de berge viennent contraindre la dynamique latérale sur un linéaire cumulé rive gauche et droite de près de 2 000 m.

3. Du Pont RCEA à la limite aval de la RN du Val d'Allier

Le chenal de l'Allier retrouve une forte mobilité latérale, dans des proportions identiques au tronçon situé en amont du méandre de Bessay-sur-Allier. Ceci s'explique par la largeur des alluvions modernes et de l'absence de contrainte latérale (hormis dans le secteur des Girodeaux et au droit d'un pylône électrique situé en amont rive droite),

La dynamique de déplacement des méandres est sensiblement identique au tronçon amont, mais avec des longueurs d'onde de méandre sensiblement plus élevée (Tableau 2). Le linéaire situé entre Les Perrons (aval immédiat de la berge étudiée) et les Moquets est particulièrement actif et soumis à de nombreux recouvrements successifs durant la période 1946-2016.

Sur la période 1945-2016, le chenal s'est déplacé 8 à 30 m en moyenne par an (Tableau 1).

Tableau 1 - Indices géomorphologiques à l'échelle des trois tronçons étudiés.

	Amont méandre de Besay-sur-Allier	Aval méandre Bessay- sur-Allier / Pont RCEA	Pont RCEA/Aval RN Val d'Allier
Indice de sinuosité	1.32	1.17	1.62
Largeur moyenne de la bande active (m)	176 (min. 74m / max. 316m)	100 (min. 65m / max. 183m)	150 (min. 66m / max. 307m)
amplitude des méandres (m)	300-800 m	150-300 m	500-1000 m
Longueur d'onde des méandres (m)	1000-1500 m	2000 m	1200-1800 m

Tableau 2 - Déplacement du chenal en moyenne annuelle par intervalle de prises de vues aériennes.

	Amont méandre de Besay-sur-Allier		Aval méandre Bessay-sur- Allier / Pont RCEA		Pont RCEA/Aval RN Val d'Allier		Ensemble du secteur d'étude	
Intervalle de prise de vues	moyen annuel (m/an)	max annuel (m/an)	moyen annuel (m/an)	max annuel (m/an)	moyen annuel (m/an)	max annuel (m/an)	moyen annuel (m/an)	max annuel (m/an)
1946/1954	10	50	4	22	8	50	8	51
1954/1968	13	35	4	15	11	51	14	50
1968/1975	12	40	3	9	16	76	7	76
1975/1983	24	88	4	18	30	71	8	88
1983/1992	13	52	5	21	9	43	9	52
1992/1997	37	197	4	16	10	119	5	197
1997/2000	6	23	3	12	4	21	7	23
2000/2005	24	108	7	34	12	133	5	139
2005/2009	17	201	3	35	7	63	4	201
2009/2016	9	54	2	6	5	65	7	65

Nota : tronçon aval méandre de Bessay-sur-Allier / Pont RCEA, les déplacements sont localisés en amont du tronçon.

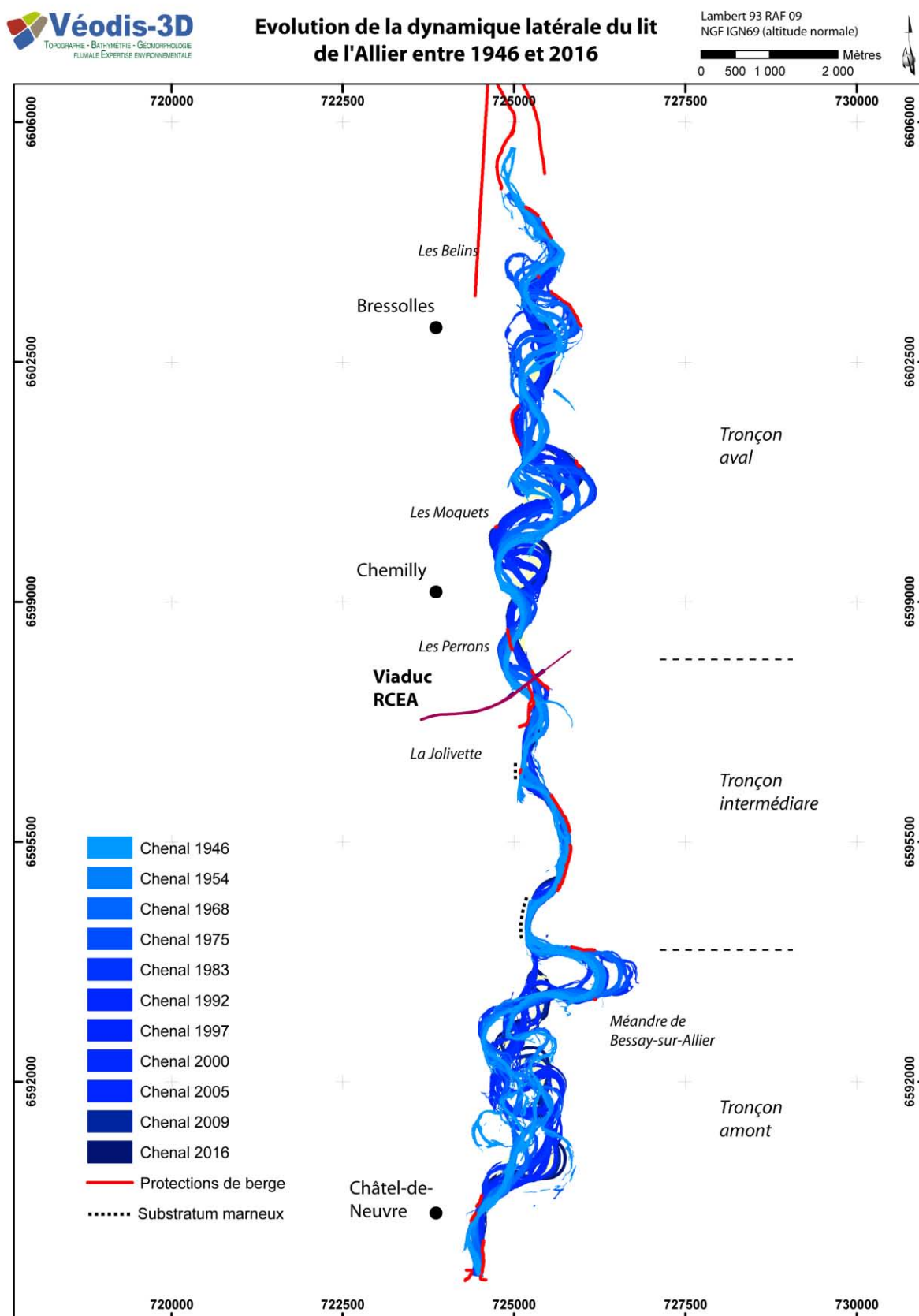


Figure 5 - Cartographie de la position des chenaux et de l'évolution de la largeur de la bande active entre 1945 et 2016 (mesurée tous les 100 m).

2.4. Analyse de l'évolution de la bande active

2.4.1. Etat actuel

La répartition spatiale des largeurs de bande active sur le linéaire compris entre le pont de Châtel-de-Neuvre et la limite aval de la RN du Val d'Allier (Figure 6) permet de discriminer les 3 tronçons précédent cités.

1. Tronçon amont : du pont de Châtel-de Neuvre à l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier

Ce tronçon présente des largeurs de bande active les plus élevées de l'axe Allier, signe d'une dynamique latérale forte et d'une zone de stockage temporaire de la charge solide de fond en transit.

La largeur moyenne de la bande active est d'environ 175 m (± 51 m), sa largeur minimum étant de 74 m et maximum de 316 m (Figure 6).

4. Tronçon intermédiaire : de l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier au Pont RCEA

La bande active se réduit en raison des contraintes latérales (affleurements rocheux ou terrasses plus anciennes) et le lit moyen n'est actif essentiellement dans la partie médiane du tronçon et en amont du pont de la RCEA. La largeur moyenne de la bande active est d'environ 100 m (± 19 m), avec une largeur minimum de 65 m et maximum de 183 m (Figure 6).

Pour autant, l'Allier, au droit du pont RCEA possède des capacités d'ajustement, comme l'indique l'analyse des puissances spécifiques (Figure 7).

L'Allier possède une énergie potentielle d'ajustement liée à la pente du lit mais également à la **présence de cordons d'enrochements**. L'influence de ce contrôle structural ne permet pas le **développement de formes d'ajustement fluvial** type méandres, ce qui se traduit par de plus fortes puissances spécifiques, les forces tractrices étant artificiellement gonflées par les enrochements.

Ceci est confirmé par nos observations de terrain (présences d'encoches d'érosion en rive gauche, voir *infra*).

5. Tronçon aval : du Pont RCEA à la limite aval de la RN du Val d'Allier

L'analyse des largeurs de bande active permet de discriminer le secteur du méandre des Moquets comme ayant une forte dynamique morphologique qui tend toutefois à se réduire au fur et à mesure que l'on descend vers l'aval du tronçon.

Sur ce tronçon, la largeur moyenne de la bande active est d'environ 150 m (± 46 m), sa largeur minimum étant de 66 m et maximum de 307 m ((Figure 6).

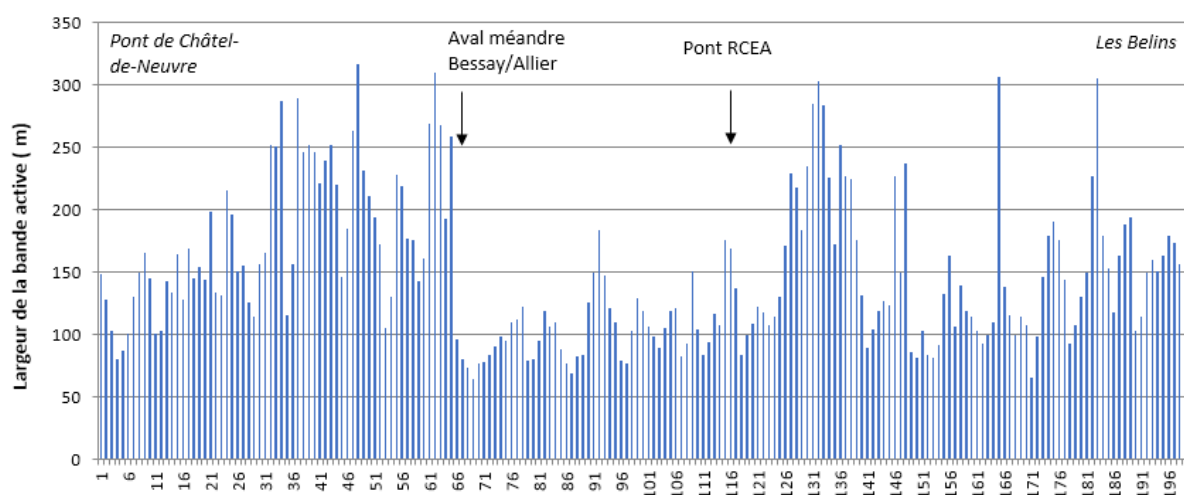


Figure 6 - Répartition des largeurs de la bande active en 2016 à l'échelle du Pont Châtel-de-Neuvre à la limite aval de la RN du Val d'Allier (mesurée tous les 100 m).

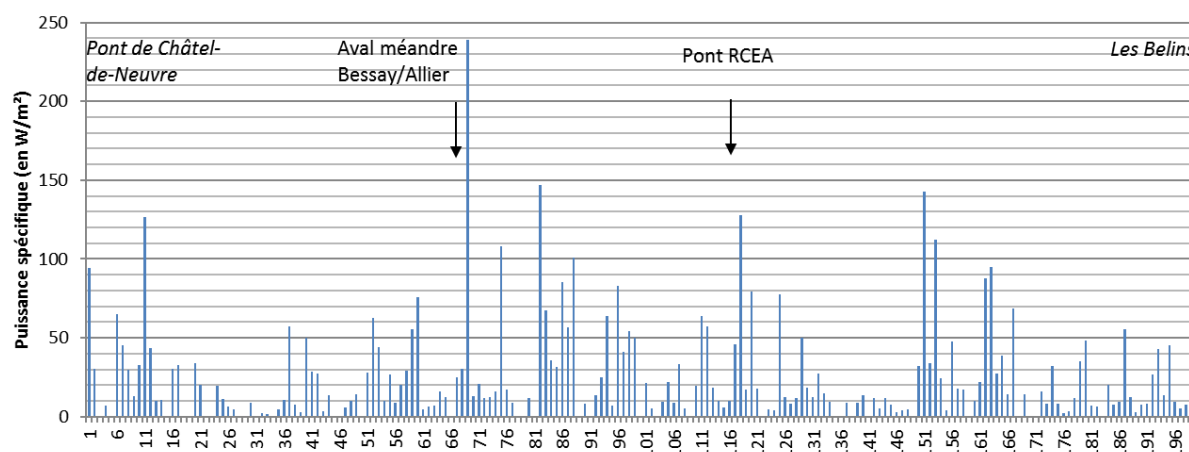


Figure 7 - Répartition des puissances spécifiques en 2016 à l'échelle du Pont Châtel-de-Neuvre à la limite aval de la RN du Val d'Allier (mesurée tous les 100 m).

2.4.2. Evolution depuis 1945

L'analyse de l'évolution de la largeur de la bande active depuis les années 40 indique une tendance à la diminution progressive de l'activité géomorphologique de l'Allier à la fois à l'échelle de la RN du Val d'Allier (Figure 8) et à celles des tronçons identifiés précédemment (Figure 9).

Sur le secteur d'étude, la bande active s'est réduite de près de la moitié de sa surface et est passée de 590 ha en 1946 à 300 ha en 2016. Cette valeur tend toutefois à être relativisée car les dernières crues morphogènes de l'Allier datent de 2003 et 2008.

Cette réduction de la largeur de la bande active est liée à la fois :

- A l'impacts cumulés des activités humaines (extractions de granulats, protections de berges) qui ont pour conséquence un enfoncement généralisé du lit **qui a favorisé l'ancrage de la** végétation dans un lit moyen moins souvent submergé que par le passé, avec pour conséquence une végétation de plus en plus **résistante à l'arrachement** (développement du système racinaire).
Sur la RN du Val d'Allier l'augmentation des surfaces arborées est de plus de 10 % sur les 50 dernières années (PETIT 2006),
- à l'absence de grande crue capable d'arracher ces végétaux de plus en plus profondément enracinés (EPTEAU 1998).

Elle montre, toutefois, une réactivation de l'activité géomorphologique au cours des années 80 et 90 (Figure 8) qui s'explique par le réajustement de la bande d'activité à la suite de recoupements successifs de méandres (secteur amont méandre de Bessay-sur-Allier, secteur aval au droit de la berge des Moquets), une période de plus forte hydraulité et le réajustement du cours d'eau suite aux impacts anthropiques (extractions de granulats).

Ces résultats montrent que :

- L'Allier possède de forte capacité d'ajustement,
- les potentialités d'ajustement de l'Allier, bien qu'elles soient encore élevées, ont tendance à se réduire,
- L'ajustement en plan du chenal, en réponse à l'augmentation de son espace de mobilité, ne devrait donc pas se faire à la même vitesse et la même intensité que ce qui a pu être observé il y a 70 ou 50 ans.

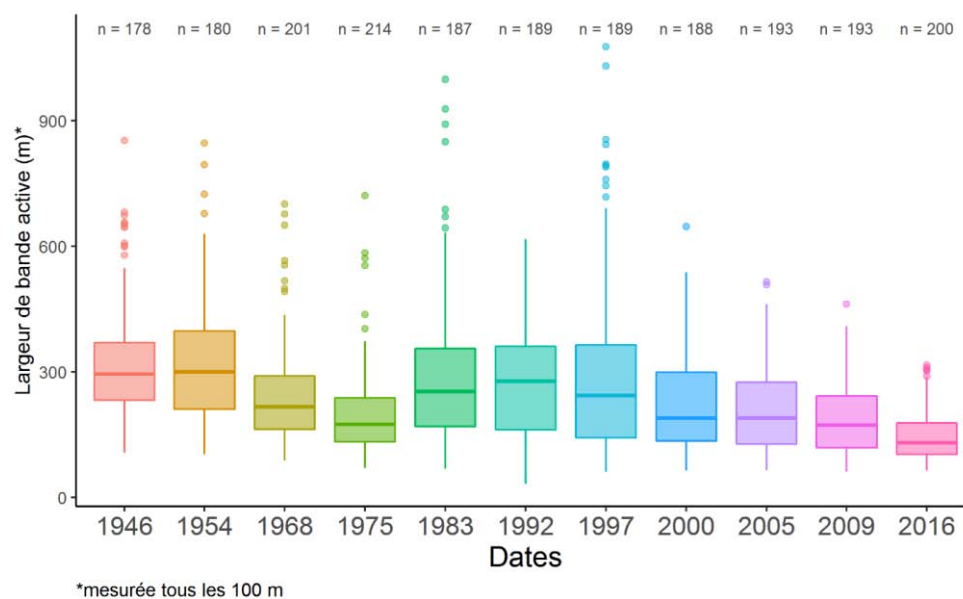
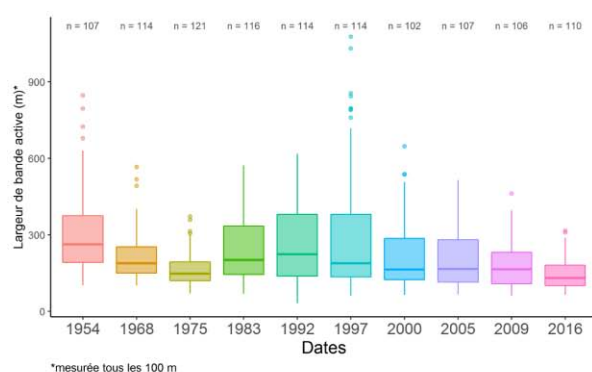
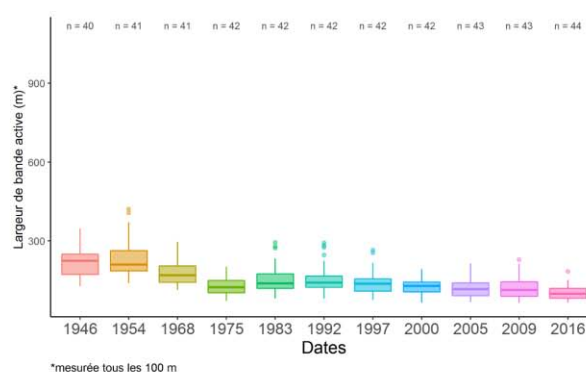


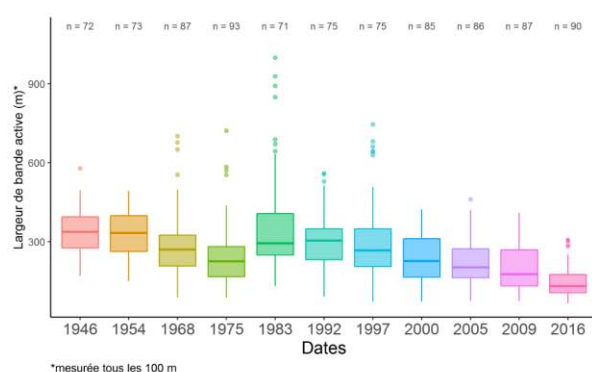
Figure 8 - Evolution de la largeur de la bande active (1945-2016) à l'échelle de la RN du Val d'Allier (Pont de Châtel-de-Neuvre / Moulins). La dispersion des plus fortes valeurs renseigne sur la présence de quelques tronçons à large bande active.



(a) Echelle tronçon amont pont RCEA



(b) Echelle tronçon aval méandre de Bessay-sur-Allier / pont RCEA



(c) Echelle tronçon aval pont RCEA

Figure 9 - Evolution de la largeur de la bande active (1945-2016) à l'échelle des tronçons.

3. FONCTIONNEMENT GEOMORPHOLOGIQUE A L'ECHELLE DU PONT DE LA RCEA

3.1. Analyse historique des tracés en plan et dynamique actuelle

L'analyse des tracés en plan permet d'identifier un espace de divagation latérale historique réduit au droit du pont (500 m de large) en comparaison à une plus large enveloppe de mobilité des tronçons amont et aval (de 1 200 à 1 800 m).

La superposition des tracés pré-construction du franchissement de la RCEA permet de montrer que :

- L'ensemble de cet espace a été parcouru par le chenal depuis les années 1840 (Figure 13)
- L'existence, pré-construction, d'une dynamique de migration latérale et longitudinale (glissement des méandres) au sein de cet espace, attestant d'une capacité du lit à méandrer (Figure 10).

Entre 1946 et 1975, la migration latérale du méandre vers la rive gauche en direction de la berge des Perrons a été de l'ordre de 2 à 9 m / an (Tableau 3). Sur l'ensemble de la période 1946/1975, le retrait cumulé de la berge a été de 135 m environ, soit une dynamique annuelle de recul de 5 m/an.

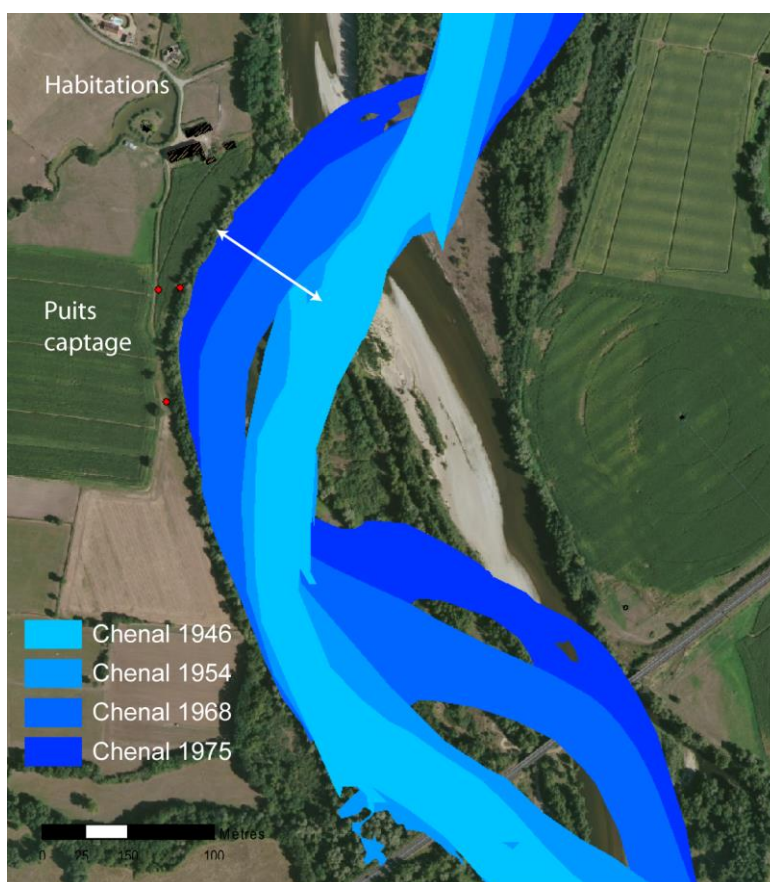


Figure 10 - Ajustement du méandre en aval du pont RCEA sur la période pré-construction 1945-1975.

L'ajustement maximal du méandre s'est établi sur la période 1968/1975 avec à la fois une progression amont et une divagation latérale de l'ordre de 9 m/an.

Durant cette période, 25 événements de crues égale au débit plein bord se sont succédés ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$), 3 crues supérieures au débit Q_5 ($550 \text{ m}^3/\text{s}$) et 2 supérieures au débit Q_{10} ($940 \text{ m}^3/\text{s}$).

Le chapitre 4 est essaie d'établir une relation entre vitesse d'ajustement, modifications géomorphologiques et événements hydrologiques.

Tableau 3 - Mesures de l'ajustement du méandre.

Dates	Sur la période (m)	Moyenne annuelle (m/an)
1946/1954	15	2
1954/1968	60	4
1968/1975	60	9

- La maturité du méandre de 1975 par rapport à celui de 1968, qui est à mettre en relation avec l'augmentation de sa vitesse latérale de divagation.

La maturité du méandre va renseigner sur sa dynamique probable d'érosion. Cette maturité peut être estimée à partir de la mesure de son rayon de courbure.

En général, c'est autour d'une valeur de R_c/W comprise entre 2 et 3 que les taux d'érosion sont les plus forts (Figure 11). Le méandre de 1975 atteignait une valeur de 2.8 indiquant une forte dynamique érosive.

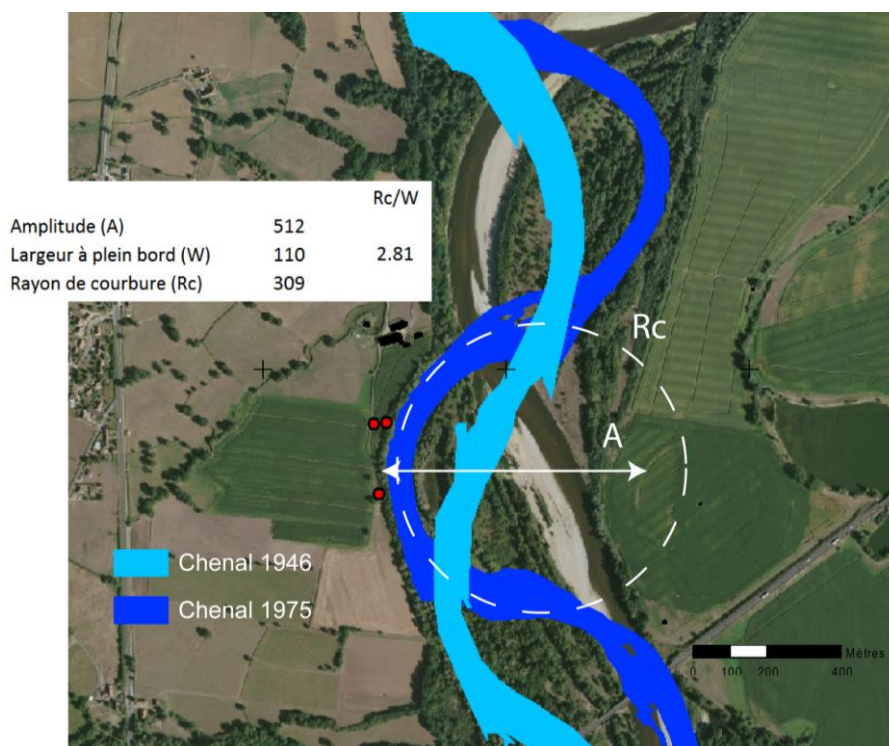


Figure 11 - Mesure du rayon de courbure sur le méandre aval du pont RCEA.

- de la faible cohésion des sédiments des berges favorisant la migration du lit.

Les différents sondages disponibles sur le site (BRGM site infoterre, CEREMA 2015) s'accordent à identifier une structure de berge composée :

- **D'une partie supérieure** (0 à 7 m de profondeur) constituée de sables avec des **inclusions d'argiles** pouvant donner une faible cohésion au sol,
- **D'une partie inférieure** (7 à 10 m de profondeur), constituée de sables plus grossiers, avec des inclusions de gravier, ne présentant pas de cohésion.

Cette structure de berge va **conduire à des processus d'érosions** différents de ceux observés sur une berge « uniforme » (Figure 12).

Du fait de la présence d'une couche plus cohésive en surface qu'en profondeur, les érosions de berges vont se développer en pied de berge : **l'écoulement** va préférentiellement éroder le pied des berges (matériaux non cohésifs), **au-delà d'un certain point, la partie supérieure de la berge va finir par s'effondrer**, conduisant au recul total de la berge (Artélia 2016).

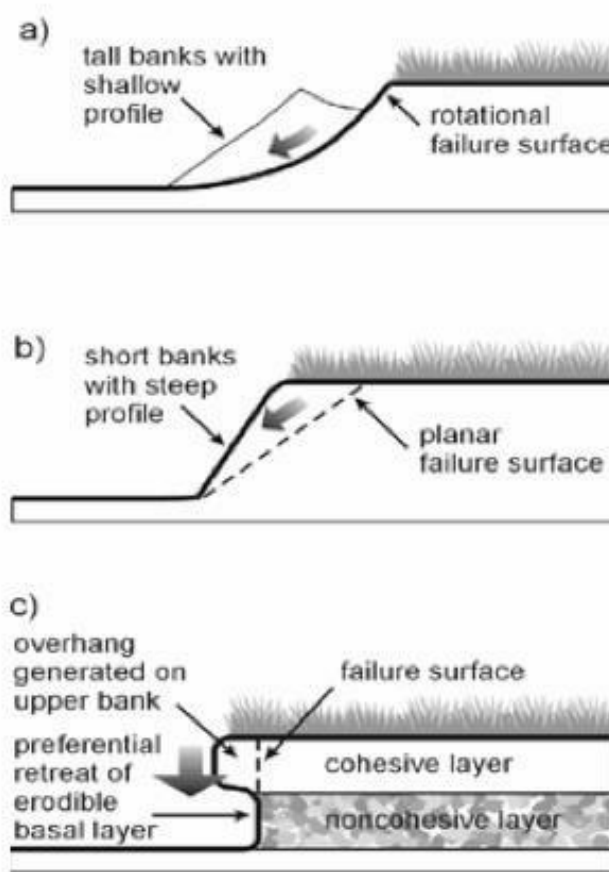


Figure 12 - Processus d'érosion de berges (Simon et al, in Artelia 2016).

L'analyse des tracés en plan (Figure 14) montre qu'à la suite de la mise en place du franchissement de la RCEA et des cordons d'enrochements en rive droite et gauche, le chenal à continuité de s'ajuster jusqu'à dans les années 90, en réponse à ces contraintes anthropiques :

- en amont du franchissement en direction de la rive droite,
- en aval du franchissement en direction de la rive gauche.

Il a donc fallu près de 15 ans pour que le chenal s'ajuste définitivement à ces nouvelles conditions et se stabilise à partir de la fin des années 90 pour ne plus évoluer dans l'emprise des protections.

Néanmoins, les observations de terrain réalisées en août 2019 (Figure 15) montrent :

- Une alternance de points d'érosion de berge rive droite (amont et aval pont) puis rive gauche (aval pont) - point A
- Des encoches d'érosion situées en amont du pont au droit de la bande de dépôts sédimentaire à l'interface entre le chenal actif et le cordon d'enrochements - point B,
- Des blocs d'enrochements déstabilisés à 550/600 m en aval du pont, rive gauche - point C
- La présence de chenaux de crues en rive gauche du banc situé en aval du pont, avec une migration de langues sédimentaires, signes d'un transport solide actif lors des événements de crue.

Ces observations attestent de potentialités de divagation latérales et traduisent des capacités d'ajustement du lit dans sa future enveloppe de mobilité.

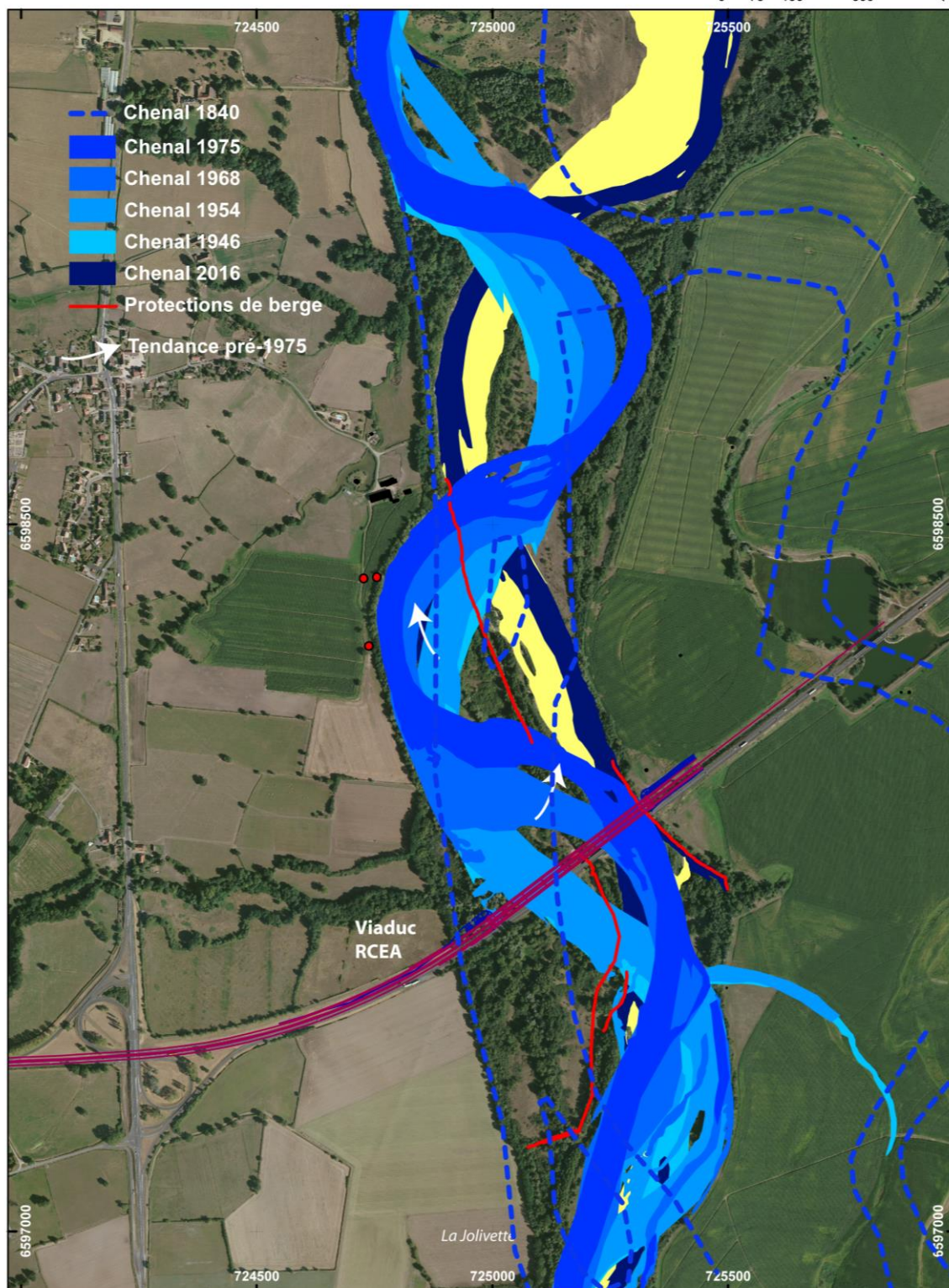


Figure 13 - Evolution des tracés des chenaux près-construction du pont.

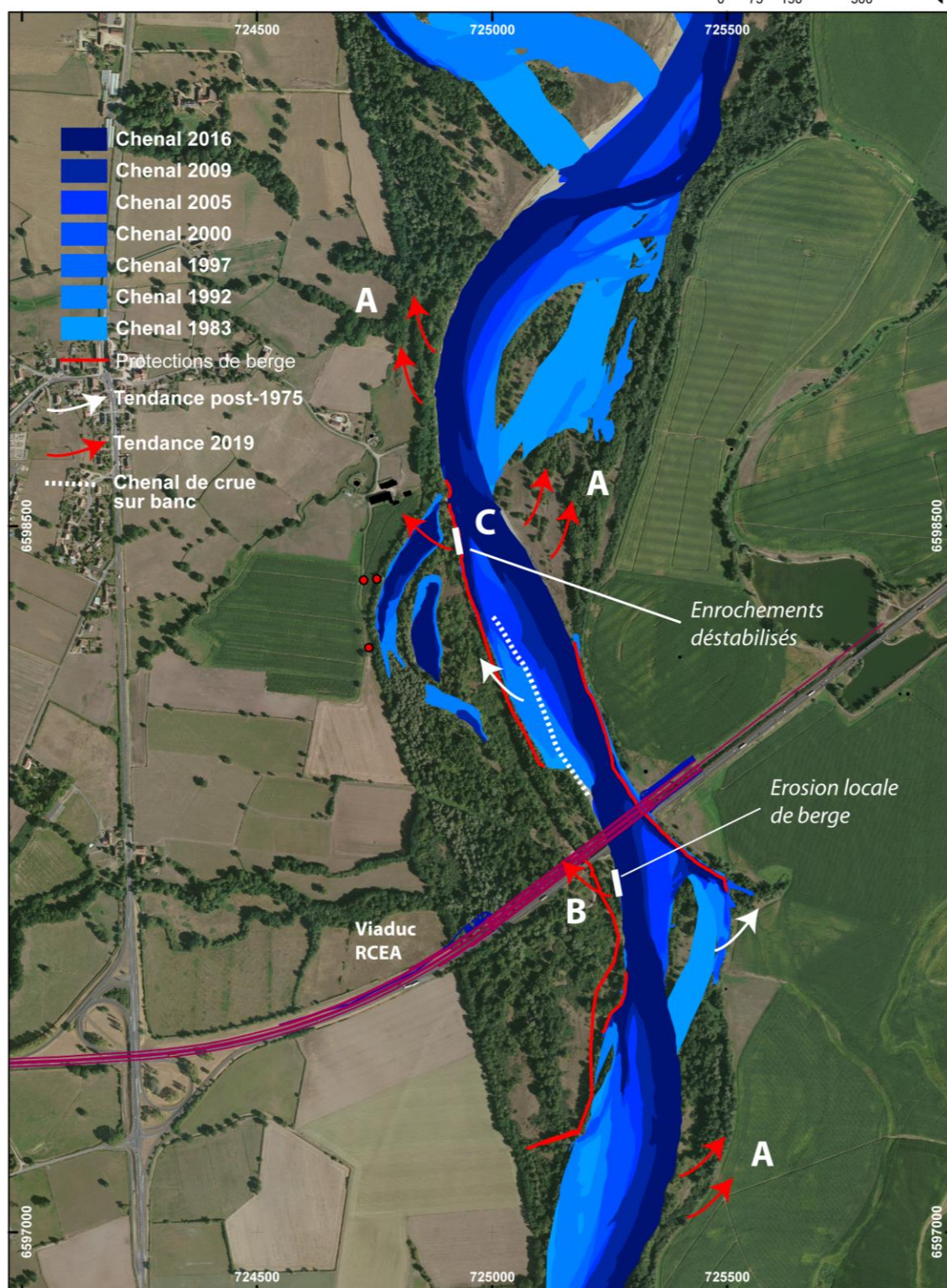


Figure 14 - Evolution des tracés des chenaux post-construction du pont.

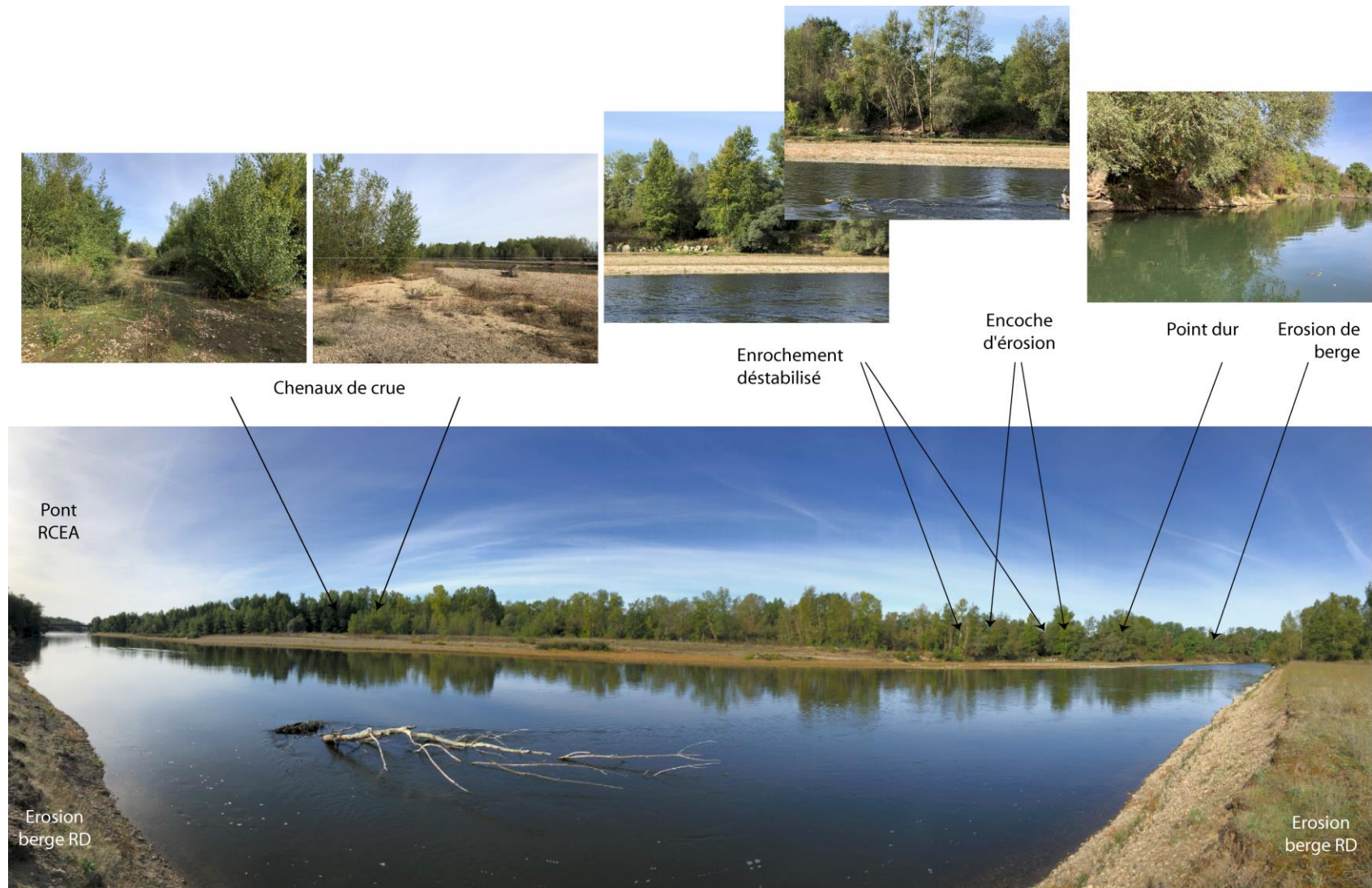


Figure 15 - Eléments morphologiques attestant de potentialités de divagation latérales.

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

3.2. Au droit du banc de rive gauche

3.2.1. Topographie

Les levés topographiques de l'étude Artélia (2016), Véodis-3D (2014, 2019) et l'analyse fine des dalles MNT de la DREAL centre (2009) permet de mettre plusieurs éléments en évidence (Figure 17) :

- Une dépression située en pied de berge des Perrons et formée par le tracé du chenal de 1975, avant la construction du franchissement RCEA,
- **Une fosse présente à proximité de l'ancien bras de l'Allier** de 1975, suite aux extractions réalisées au début des années 1980.

En cas de capture du chenal par ces plans d'eau, il n'existe pas de risque de rupture du transit sédimentaire et des conséquences associées (piégeage de sédiments, érosions progressive et régressive), la cote du fond de ces plans d'eau étant au même niveau que **celui du lit de l'Allier** (Veodis-3D 2014, Cerema 2014, Figure 16).

Toutefois, ces plans d'eau et l'ancien bras constituent encore aujourd'hui, en raison d'un contexte topographique favorable (zone de dépression) un axe préférentiel de passage des écoulements dès lors que les protections de berges seront retirées.

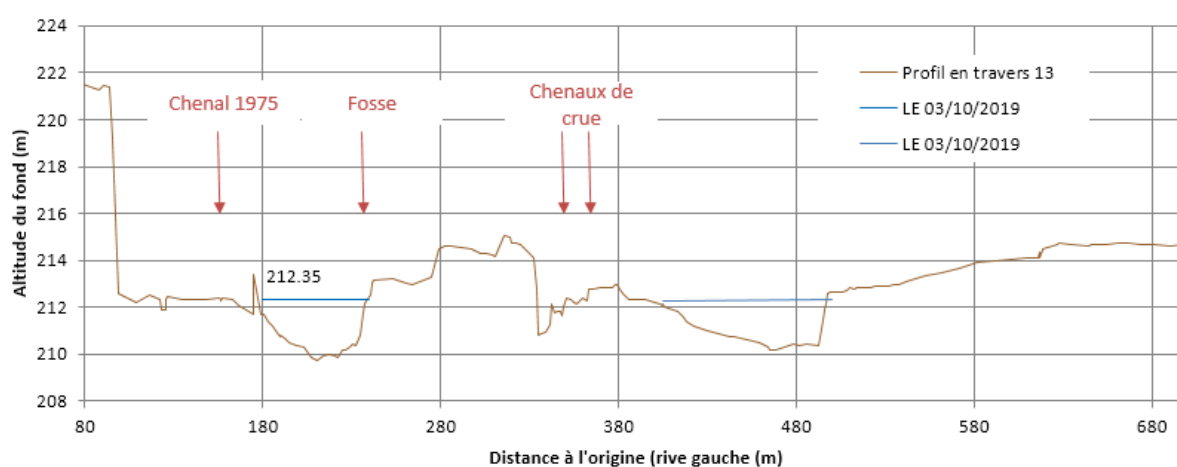


Figure 16 - Profil topographique réalisé perpendiculairement à l'axe longitudinal des plans d'eau.

- La protection de berge en rive gauche du lit de l'**Allier** et en aval du franchissement de la RCEA,
- Une surélévation du banc amont par rapport à l'aval et la présence de nombreuses dépressions correspondant à des traces d'anciens tracés de l'Allier.

La topographie de la partie en aval du banc apparaît ainsi comme la plus favorable au **développement d'un** écoulement, à la fois en raison de la faible hauteur du banc par

rapport au lit de l'Allier, de l'ancienne fosse d'extraction de granulats et les dépressions formés par les anciens tracés de l'Allier.

Le secteur aval du franchissement constitue donc une zone de passage préférentiel des écoulements en crue et représente une zone plus vulnérable vis-à-vis des processus érosifs.

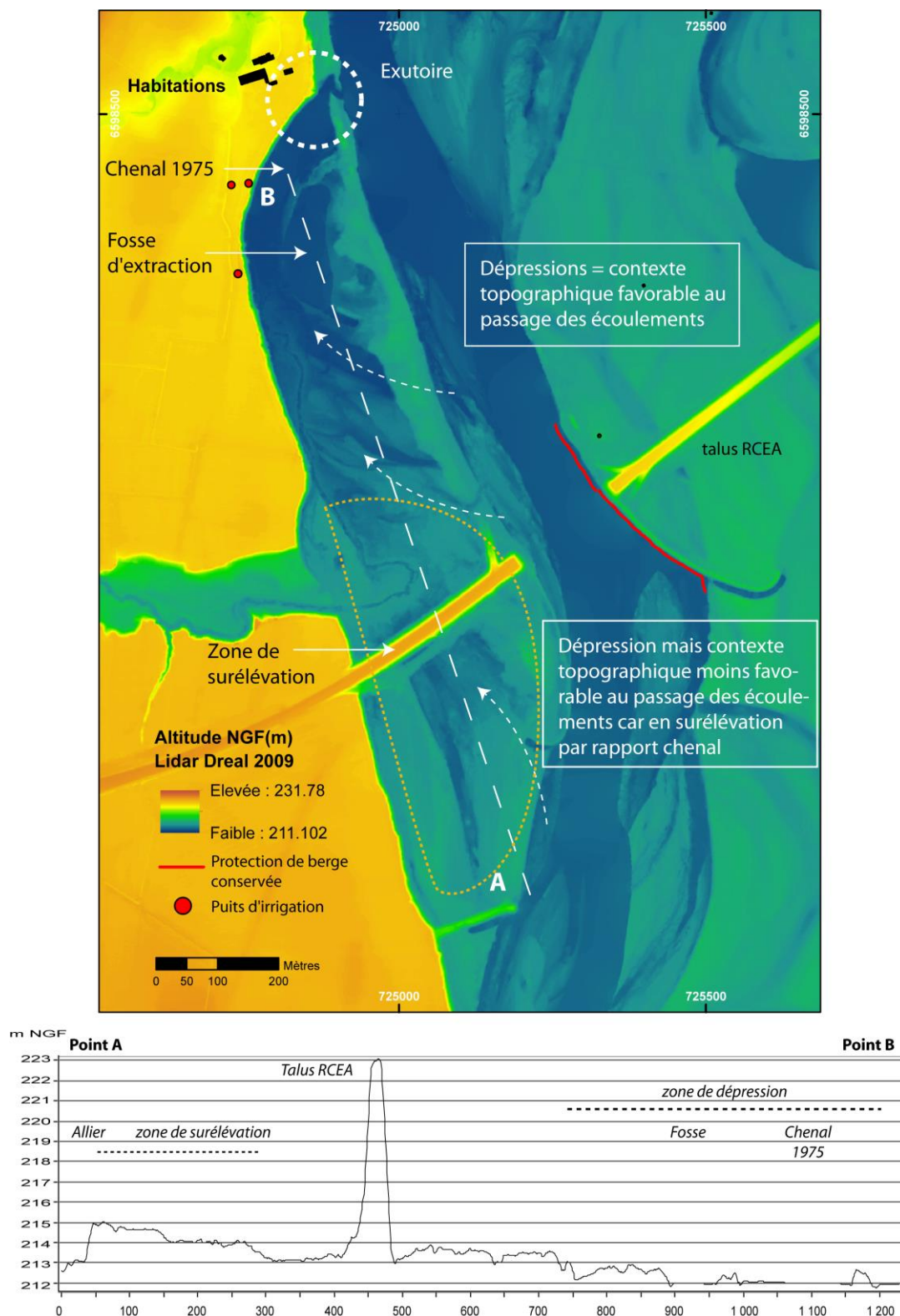


Figure 17 - Modèle Numérique de Terrain issu du Lidar 2009 (Dreal Centre).

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

- Au droit de la partie aval du banc, le Modèle Numérique de Terrain ((Figure 17), montre très clairement la présence de l'exutoire de l'ancienne extraction qui forme un coude prononcé en direction de l'**Allier**.

De par son altitude par rapport au lit actuel de l'**Allier**, sa forme et son positionnement, parallèle aux écoulements, cet espace, à la suite de la suppression des blocs d'enrochements, devrait constituer une zone préférentielle de concentrations des écoulements en crue (Figure 18).

Ceci aura pour effet d'accroître localement les érosions.

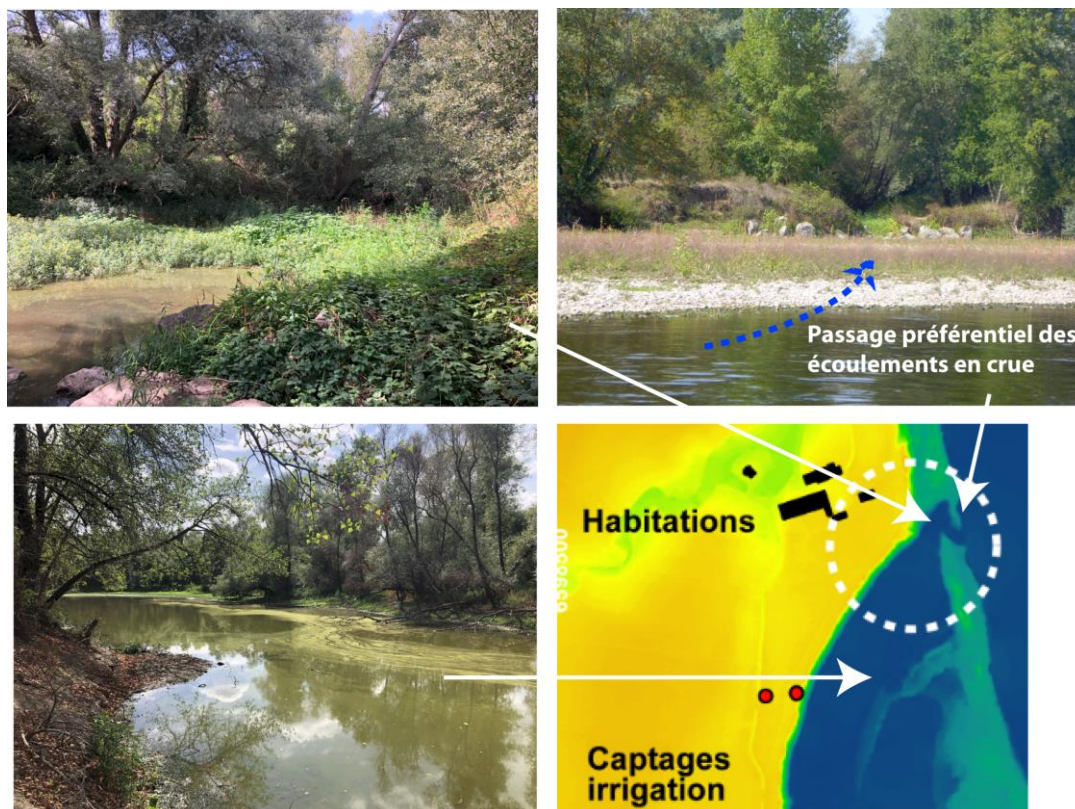


Figure 18 - Photographie de l'exutoire et des blocs d'enrochements.

3.2.2. Granulométrie de surface

A partir d'une série de prélèvements et d'analyses granulométrique, l'étude Artélia (2016) montre que la **composition des sols est favorable aux processus d'érosions, aussi bien du point de vue de la granulométrie que de la structure faiblement cohésive des sols.**

Le banc de rive gauche, de par sa structuration granulométrique peut être progressivement remobilisé par les crues successives.

Les résultats des sondages à la pelle mécanique prévues au cours du mois de novembre 2019 sur les enrochements permettront de fournir des indications complémentaires.

4. RÉGIME HYDROLOGIQUE

Le régime hydrologique est supposé représenter un facteur clé **dans l'évolution** de la dynamique géomorphologique au travers la variabilité des débits interannuels et des dynamiques sédimentaires.

L'objectif de ce paragraphe n'est pas de réaliser une étude statistique fine des chroniques hydrologiques en lien avec les modifications morphologiques mais **d'examiner** et **d'analyser** l'apparition, **l'intensité** et la durée de la crue **afin d'évaluer le** lien entre les évolutions morphologiques constatées, la répétitivité et la durée des événements hydrologiques.

4.1. Méthode

A partir des données hydrologiques collectées à la station de Moulins (1968-2019, Figure 19), la chronique hydrologique a été analysée en calculant :

- le nombre de jours de dépassement du débit égal au débit à plein bord (Q_2 ans) par intervalle de temps entre période de prise de vues aériennes pondéré.

Le débit à plein bord permet **d'analyser l'impact** du régime moyen de perturbation. Il se justifie au regard de **l'hypothèse** que ce débit est morphogène dans les cours **d'eau non** perturbés et représente le point **optimum théorique d'efficacité pour les modifications** géomorphologiques au sein du lit mineur.

Le débit plein bord retenu est celui calculé à partir de la série statistique de la station de Châtel-de-Neuvre ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$) et validé par nos observations de terrain. La valeur du débit plein bord est équivalente au débit caractéristique 5 jours ($DC5 \text{ jours} = 525 \text{ m}^3/\text{s}$).

- le nombre de jours consécutifs durant lesquels le débit caractéristique 5 jours a été atteint ou dépassé, calculé par intervalle de temps entre période de prise de vue.

Les débits **classés sont issus d'un classement** de longues séries de débits moyens journaliers et présentent **l'avantage** de considérer des débits écoulés durant quelques jours consécutifs. Ils permettent de se référer à une valeur indépendante des variations morphologiques. Leur analyse quantitative se justifie au regard du transport solide qui peut se produire plusieurs dizaines de jours par an et qui est lié à la fréquence de reproduction des événements.

Ces débits coïncident avec des périodes où la vitesse de courant est rapide et le transport solide optimal, et sont donc considérés comme des débits morphogènes.

- les débits maximum de chaque année durant la période de référence et la succession **d'évènements dont le débit est** supérieur au Q_{10} ans.

Les débits extrêmes ont tendance à bouleverser la physionomie du chenal contrairement au débit à plein bord qui semble le façonner. Toutefois, comme ces événements extrêmes sont

rare, cela justifie **le choix d'observer des évènements** de plus forte fréquence (débit maximum annuel) mais de **moindre intensité** sachant que **ce n'est pas essentiellement l'intensité qui importe** mais aussi la répétition de la durée de **l'évènement**.

Sur une plaine alluviale de l'Allier au droit de la RN du Val d'Allier, ces crues de fortes intensités sont très rapidement débordantes et leurs effets morphogènes, en raison des pertes de charges, souvent atténués.

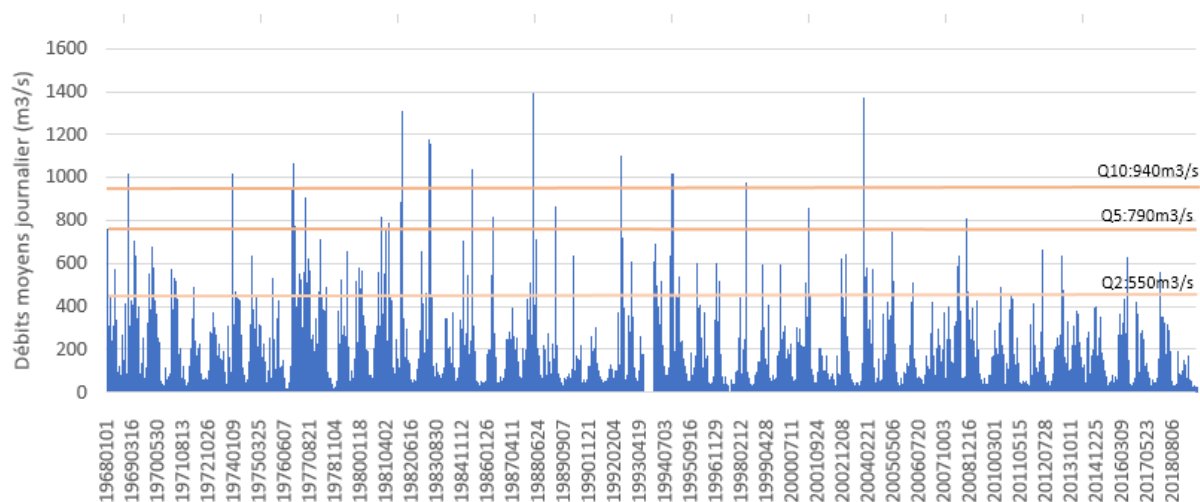


Figure 19 - Chronique des débits moyens journaliers (Station de Moulins 1968-2019).

4.2. Analyse de l'**hydraulicité**, des rythmes des crues et des débits interannuels

Le Tableau 4 présente les caractéristiques hydrologiques au droit des stations hydrologiques situées en amont (Châtel-de-Neuvre) et en aval (Moulins) de la réserve naturelle du Val d'**Allier**.

Débits ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Châtel-de-Neuvre (1986-2019)	Moulins (1968-2019)
Moyen mensuel	115 [103 ; 127]	132 [123 ; 141]
Q_2	550 [500 ; 630]	650 [590 ; 710]
Q_{10}	940 [840 ; 1100]	1100 [970 ; 1200]
Q_{50}	1300 [1100 ; 1600]	1500 [1300 ; 1800]
DC 5 jours	<i>Non calculé</i>	$> 525 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
DC 10 jours	<i>Non calculé</i>	$> 436 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Tableau 4 - Rappels des caractéristiques hydrologiques au droit du **site d'étude**.

4.2.1. Impact sur la dynamique latérale en aval du pont de la RCEA

L'analyse en plan de la divagation du lit indique, qu'entre 1968 et 1975, la progression du méandre en direction de la rive gauche a été d'environ 9 m/an (Figure 10, Tableau 3).

L'analyse de l'hydrologie, indique que durant cette période :

- 25 évènements de crues égale au débit plein bord se sont succédés ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$),
- 3 crues supérieures au débit Q_5 ($790 \text{ m}^3/\text{s}$) et 2 supérieures au débit Q_{10} ($940 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Au niveau des DC5jours (Figure 20) :
 - 3 évènements de temps de base de 1 jour,
 - 1 évènements de temps de base de 2 jours,
 - 2 évènements de temps de base de 3 jours
 - 2 évènements de temps de base de 4 jours.

L'absence de données hydrologiques avant 1968 ne permet pas de comparer la dynamique érosive de la période 1968/1975 avec les périodes antérieurs (1946/1954 et 1954/1968).

4.2.2. Impact sur la dynamique latérale de la berge des Moquets

En posant l'hypothèse que la structure de la berge Holocène est identique à celle des Moquets, cette analyse fournit des éléments de réponse qu'en à la possible vitesse de propagation du chenal au contact de la berge des Perrons.

Au droit du méandre des Moquets, les périodes de plus fortes divagations sont celles de 1983/1992, et 1992/1997, avec respectivement 9 et 10 m de divagation moyenne annuelle (Tableau 5), puis la période 2000/2005.

Durant la période 1983/1992 :

- 41 évènements de crues égale au débit plein bord se sont succédés ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$),
- 10 crues supérieures au débit Q_5 ($790 \text{ m}^3/\text{s}$) et 7 supérieures au débit Q_{10} ($940 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Au niveau des DC5jours, la Figure 20 montre que jusqu'à 4 évènements de temps de base de 6 à 7 jours se sont succédés, et ceci sur une période de 2 ans,

Durant la période 1992/1997 :

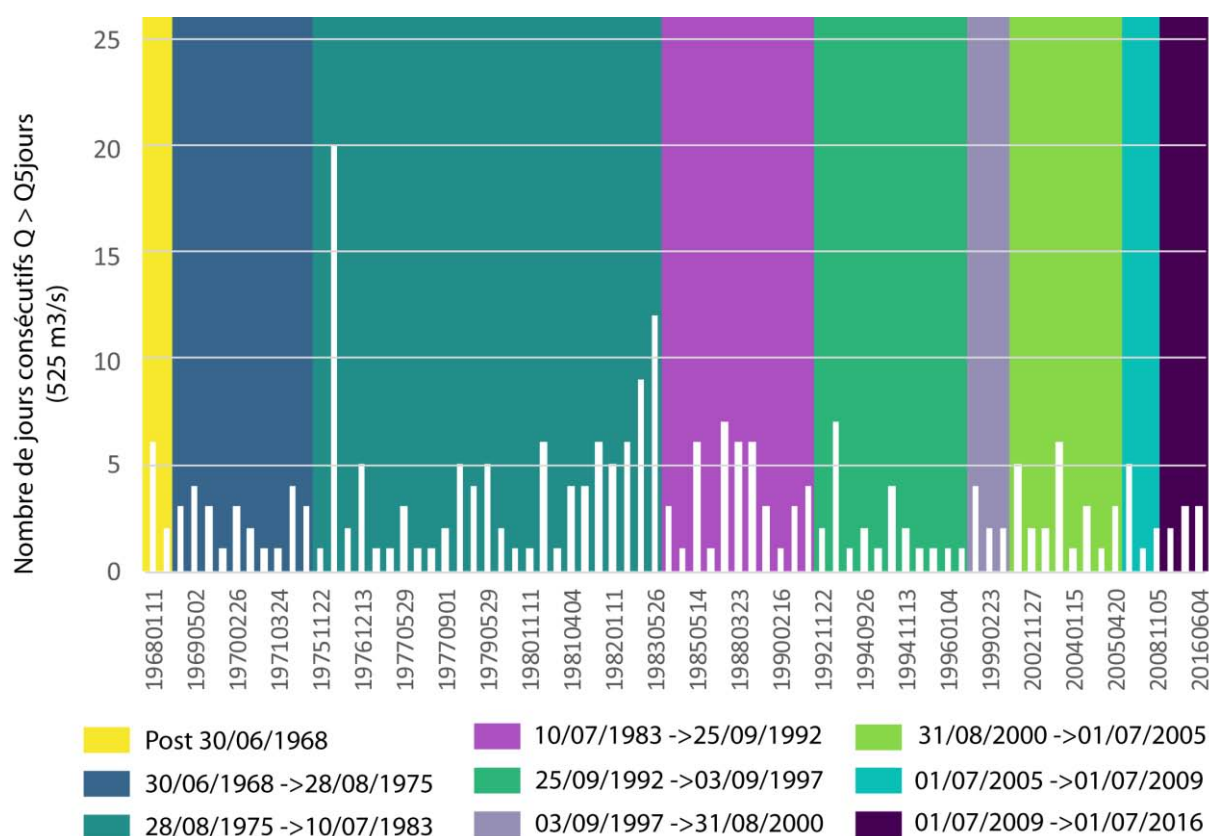
- 23 évènements de crues égale au débit plein bord se sont succédés ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$),
- 2 crues supérieures au débit Q_5 ($790 \text{ m}^3/\text{s}$) et 2 supérieures au débit Q_{10} ($940 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Au niveau des DC5jours, la Figure 20 montre 1 évènement de temps de base de 7 jours suivi de plusieurs évènements de temps de base de 1 à 4 jours, et ceci sur une période d'un an (1994),

Durant la période 2000/2005 :

- 23 évènements de crues égale au débit plein bord se sont succédés ($Q_2=550 \text{ m}^3/\text{s}$),
- 6 crues supérieures au débit Q_5 ($790 \text{ m}^3/\text{s}$) et 2 supérieures au débit Q_{10} ($940 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Au niveau des DC5jours, la Figure 20 montre 2 évènements de temps de base de 5 à 6 jours suivi de plusieurs évènements de temps de base de 2 à 3 jours, et ceci sur une période de deux ans (2003/2004),

Tableau 5 - Déplacement de la berge des Moquets et hydrologie.

Dates	Sur la période (m)	Moyenne annuelle (m/an)	Nb crue > Q2 (550 m ³ /s)	Nb crue > Q5 (790 m ³ /s)	Nb crue > Q10 (940 m ³ /s)
1983/1992	80	9	41	10	7
1992/1997	50	10	23	2	2
1997/2000	10	1	8	2	1
2000/2005	30	6	23	6	2
2005/2009	5	1	8	1	0
2009/2016	15	2	8	0	0



Ces résultats confirment ceux de la littérature à savoir que les plus forts débits (Q5, Q10) ainsi que des plus longues périodes de débits à plein bord (Q2) contribuent à façonner les berges.

Ils montrent que la succession de débits morphogènes et de débits extrêmes pourront au droit du viaduc de la RCEA permettre **l'ajustement morphologique du lit**.

Toutefois, cette approche reste très limitée en matière de prédiction de **l'ajustement** morphologique et ne permet pas d'**identifier** clairement la relation entre vitesse d'ajustement et hydrologie : à évènement et durée de crue presque identique les déplacements du lit sont différents et fonction du contexte locale : maturité du méandre, fréquence de recoupement, etc.

5. PROPOSITION D'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE

En rive gauche, le retrait des cordons d'enrochements **couplé à l'élargissement du pont de 180 à 416 m (+236 m)** va potentiellement redonner un espace de mobilité au lit et une capacité plus forte de divagation.

Malgré une baisse générale de la dynamique géomorphologique depuis 1945, l'Allier présente encore de forte capacité d'**ajustement** latérale, les méandres les plus actifs pouvant se déplacer de plusieurs dizaines de mètres par an. Ainsi, en l'absence de contrainte latérale, la morphométrie du lit est relativement **libre de s'ajuster aux débits et** épisodes de transports de sédiments.

Au droit du pont de la RCEA, les différentes analyses mettent en évidence que le lit de l'Allier devrait retrouver des potentialités d'ajustement latérale dans son espace de divagation historique et ainsi remanier le banc de rive gauche dont il convient désormais d'analyser les modalités et les facteurs de contrôles.

5.1. Evolution morphologique liée à un contrôle amont

5.1.1. Impact de la dynamique de méandrage du tronçon amont

L'**analyse des dynamiques** latérales contemporaines sur ce tronçon amont montre que les effets des ajustements latéraux **n'ont pas débordés** au-delà de **l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier** en raison de la présence de points de contrôle (affleurement marneux, enrochements).

De nombreuses explications **sur l'occurrence** des recoupements de méandres sont proposées dans la littérature et théoriquement, de nombreuses combinaisons de réponses au recoupement sont possibles.

La Figure 21 illustre la dynamique de méandrage liée à la présence de points durs (affleurement marneux, terrasses holocènes et **cordons d'enrochements**). Ces contraintes influent à la fois sur la morphologie et le comportement du chenal. Le point dur provoque la fixation aval du bras tandis **qu'à l'amont** le méandre se déforme et continue à migrer.

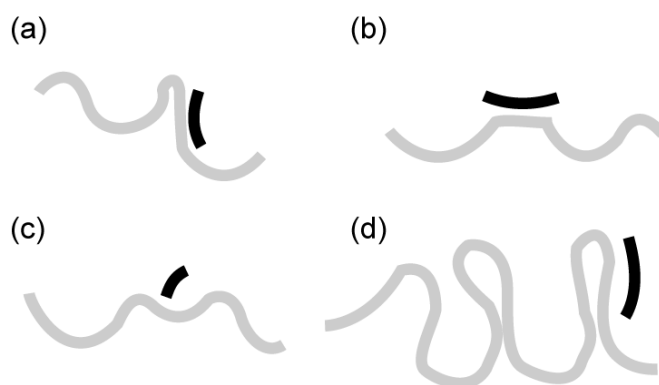


Figure 21 - Effets des obstructions (affleurement rocheux, affleurement marneux, enrochements) **sur l'évolution** des méandres (Schumm 2005).

(a) la partie aval est fixe alors que **l'amont continue** à migrer, déformant le méandre, (b) et (c) le méandre augmentant son amplitude va développer un apex plat ou de multiples coudes à la rencontre des matériaux résistants, (d) un train de méandres peut être déformé lorsqu'**ils divaguent** vers un point de contrôle.

La réaction du chenal à la suppression des cordons d'enrochements ne sera donc pas dépendante de **l'évolution morphologique** de ce tronçon.

5.1.2. Impact de la dynamique latérale du tronçon intermédiaire

Bien que le fuseau de mobilité potentiel soit réduit, les analyses ont montrées que le chenal avait, dans son espace de divagation historique, des capacités d'**ajustement** et devrait réagir à la suppression des points durs constitués par les enrochements de rive gauche.

Au regard de l'analyse historique des tracés en plan et comme l'illustre la Figure 21, le chenal aura la possibilité d'augmenter son amplitude et développer un lit plat, au droit du substratum marneux, et une succession de coudes en aval des zones d'affleurement du substratum jusqu'à atteindre une amplitude d'équilibre qui pourrait être proche de celle des tracés de la période 1946-1975.

La Figure 24 présente les points de sensibilité à **l'érosion** issus de notre expertise de terrain.

Après le retrait des protections de berge et en raison du sol remanié, il est probable, à la faveur de crues morphogènes (Q2), que les processus érosifs s'accroissent.

Lors du suivi morphologique, une attention particulière doit être apportée à ces secteurs.

Ces zones sont confirmées par les modélisations hydrauliques et **l'analyse des contraintes de cisaillement** de **l'étude Artélia** (2016). Ces analyses montrent que la partie médiane et aval du banc apparaissent davantage sollicitées pour une crue de période de retour 5 ans alors que l'amont commence à être sollicité et des amorces potentielles d'**érosion** sont décelées par le modèle pour la crue de période de retour 10 ans (Figure 22).

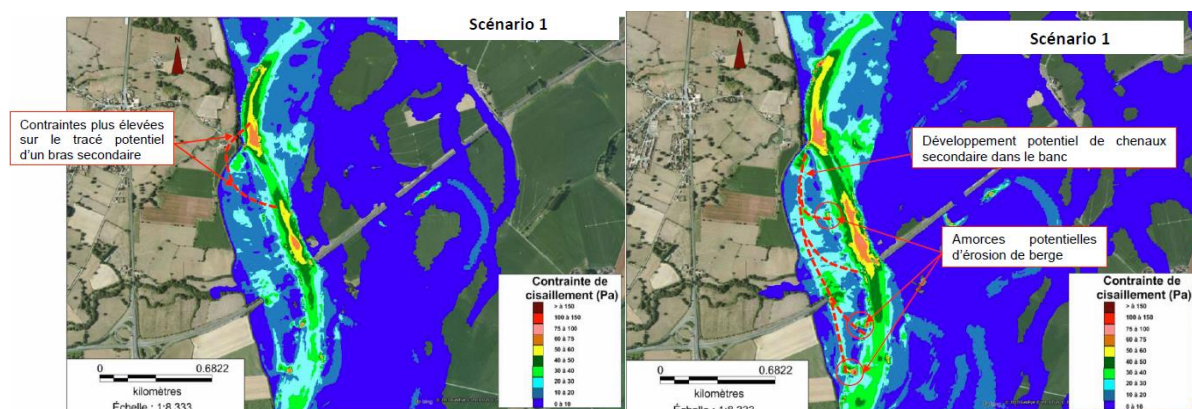


Figure 22 - Contraintes de cisaillement pour une crue de période de retour 5 et 10 ans (Artélia 2016).

Deux hypothèses d'évolution à court terme (< 10 ans) sont possibles mais sont toutefois fortement dépendantes des conditions hydrologiques.

1. La plus probable est une reprise de l'activité érosive dans la partie médiane et en aval du banc, en rive gauche (zone A) - Figure 24

En raison de contrôle structurale de l'enrochement de rive droite, les écoulements auront tendance à se diriger vers la rive gauche, en direction de la partie médiane et aval du banc.

Cet axe prioritaire d'écoulement est renforcé par le point dur que constitue la berge de rive gauche (point B) et dont l'impact devrait progressivement se réduire.

L'évolution de la morphologie de la partie médiane et aval du banc devrait être progressive et davantage dépendante de la succession et de la durée des crues de plein bord que des événements de crues supérieures (Q5 voir Q10).

A contrario, si une crue de temps de retour 5 ans ne semble pas en mesure de remodeler profondément la morphologie du banc (Artélia 2016), elle peut conduire à amorcer des chenaux de crues à l'intérieur du banc de rive gauche, en priorité, au droit des dépressions topographiques (anciens tracés, fosse), ce qui pourrait avoir comme conséquence :

- de créer un chenal de crue en pied de berge Holocène,
- de donner la possibilité au lit de l'Allier de reprendre son tracé de 1975.

La zone de l'exutoire (point A) présente une forte sensibilité à l'érosion (Figure 18, Figure 24), en raison :

- de sa situation par rapport aux écoulements,
- de la présence d'un radier qui participe à augmenter les vitesses d'écoulement (Figure 29),
- de sa morphologie.

Sur ce secteur, il est probable que les écoulements, dès les crues d'occurrence plein bord, s'engagent dans l'exutoire et viennent accentuer les phénomènes érosifs en pied de talus.

Dès lors, les érosions concerneront, dans un premier temps, le talus inférieur (Figure 23) qui devrait jouer le rôle de fusible vis-à-vis de l'extrémité aval de la berge des Perrons.

Lors des travaux de désenrochements, l'ensemble des blocs et les anciennes conduites servant d'exutoire à l'ancienne extraction de granulats, doivent être extraits en totalité afin de ne pas augmenter localement les phénomènes érosifs.

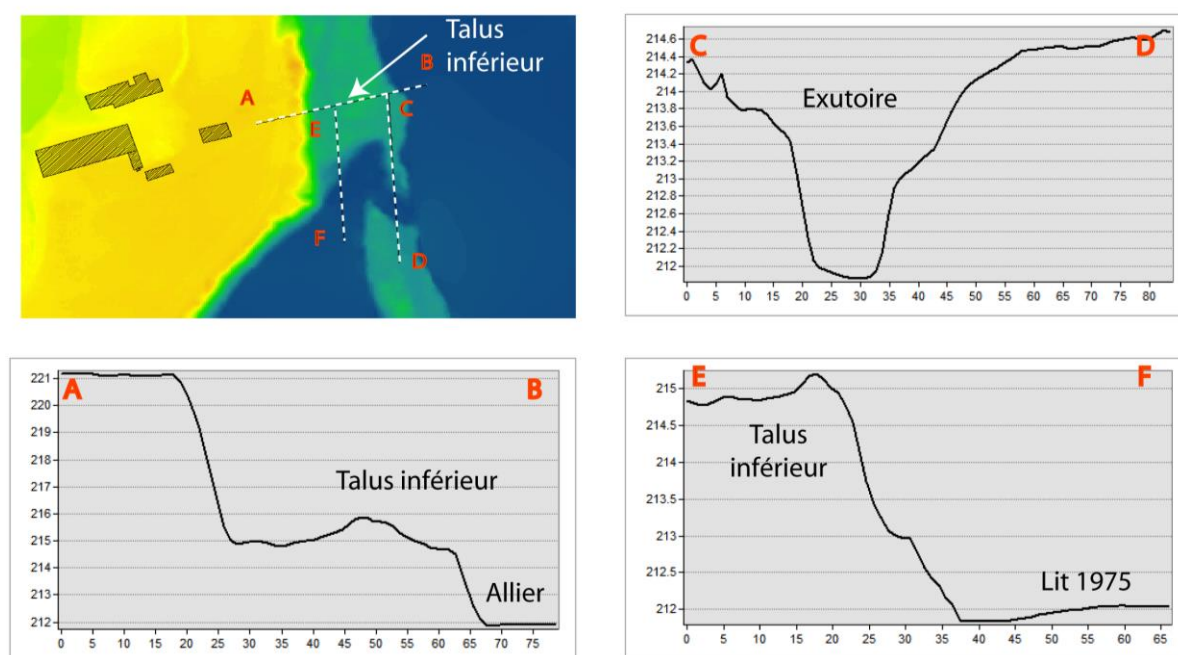


Figure 23 - Topographie de la zone de l'exutoire.

Dans ce contexte, le lit de l'Allier devrait progressivement glisser en direction de la berge des Perrons dans l'axe et à l'aplomb des habitations.

Compte tenu de l'orientation de la berge holocène qui tend à renvoyer l'écoulement en direction du lit de l'Allier, de la présence du talus inférieur, qui constitue un point dur, ce secteur apparaît fortement sensible aux érosions. Ces éléments sont confirmés par les modélisations hydrauliques réalisées dans le cadre de l'étude Artélia (2016).

2. Dans les premiers temps après la suppression des enrochements, la permanence d'un glissement du chenal en direction de la rive droite n'est pas à exclure (zone C).
Cette hypothèse se justifie au regard d'un possible compactage des sédiments du banc mais surtout d'une position plus élevée par rapport au lit actuel.

A plus long terme, deux hypothèses d'évolution sont envisageables :

- Hypothèse 1 : l'Allier retrouve son tracé des années 70 à la faveur d'un contexte topographique favorable (présence de la zone d'extraction et de son ancien bras).

Une fois la berge holocène atteinte, le méandre poursuivra sa progression latérale et aval, contre la berge facilement érodable car constituée de matériaux meubles et indurés (Artélia 2016).

Par comparaison avec la dynamique du méandre pré-1975 et avec l'évolution du méandre de la berge des Moquets (Figure 18), la vitesse de progression du méandre devrait être de 5 à 10 m/an sur la base d'une hydrologie « moyenne ».

La vitesse de propagation vers la rive gauche devrait diminuer au fur et à mesure de l'ajustement du méandre c'est-à-dire de l'augmentation de son amplitude qui devrait légèrement excéder celle de 1975.

En d'autres termes, l'intensité et la vitesse du recul de berge devraient être inférieure à ce qui a été observé au droit du méandre des Moquets.

Comme le précise l'étude Artelia (2016), le seul facteur susceptible de ralentir voire stopper ce processus serait la rencontre du substratum marneux ayant pour effet de limiter le mécanisme de sapement du pied de talus et donc de recul de berge.

Tableau 6 - Déplacement latéral du chenal au droit de la berge des Moquets (1983-2016).

Dates	Sur la période (m)	Moyenne annuelle (m/an)
1983/1992	80	9
1992/1997	50	10
1997/2000	10	1
2000/2005	30	6
2005/2009	5	1
2009/2016	15	2

- Hypothèse 2 : les érosions de berge en amont du viaduc (zone B Figure 24) se poursuivent et le chenal empreinte l'ancien tracé des années 50.

Le basculement complet du lit de l'Allier apparaît peu probable en raison d'un contexte topographique plus défavorable qu'en aval du viaduc.

L'ajustement du lit sur l'ancien tracé des années 50 devrait être progressif.

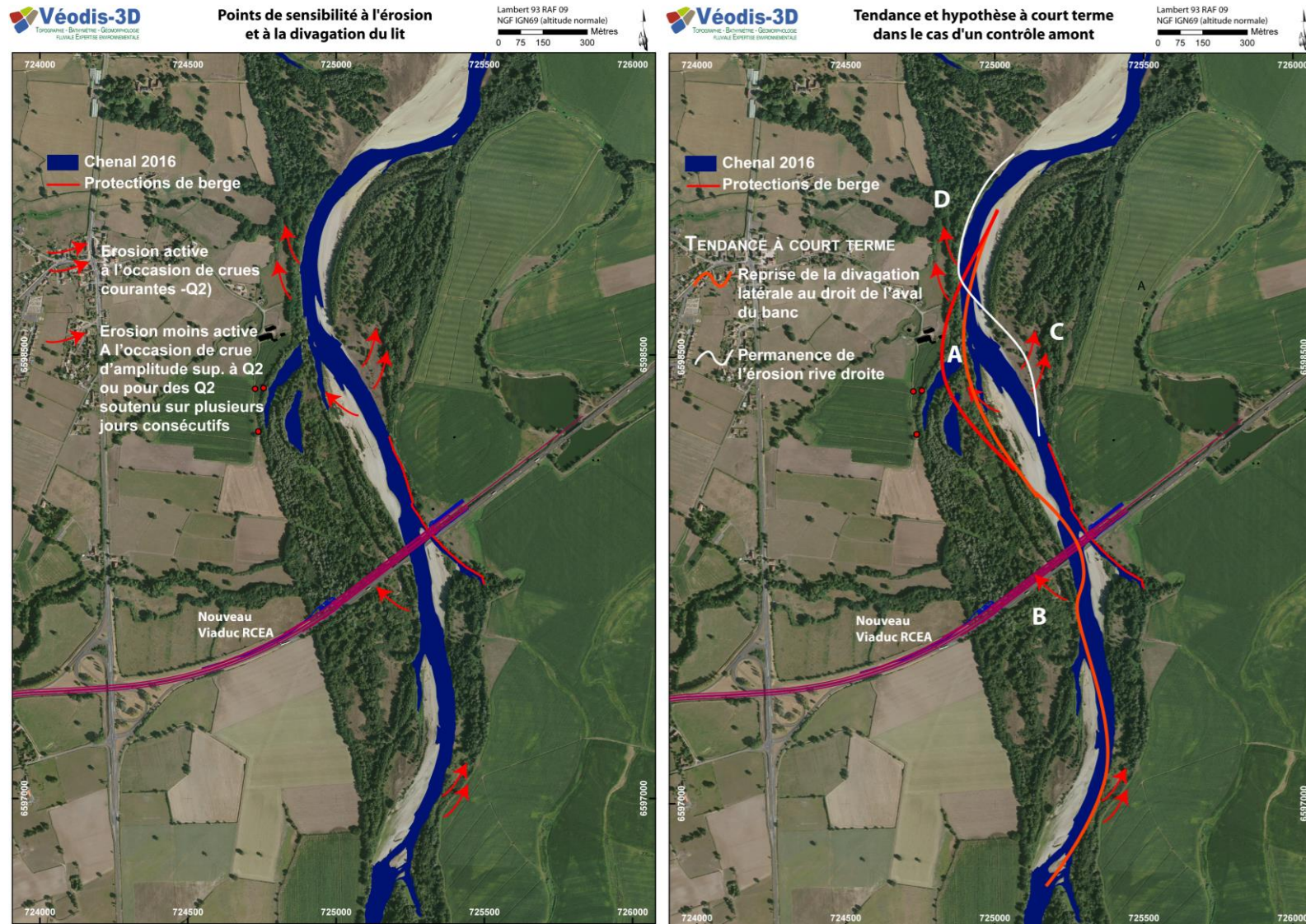


Figure 24 - Points de sensibilité à l'érosion et tendances et hypothèses d'évolution du chenal à court terme.

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

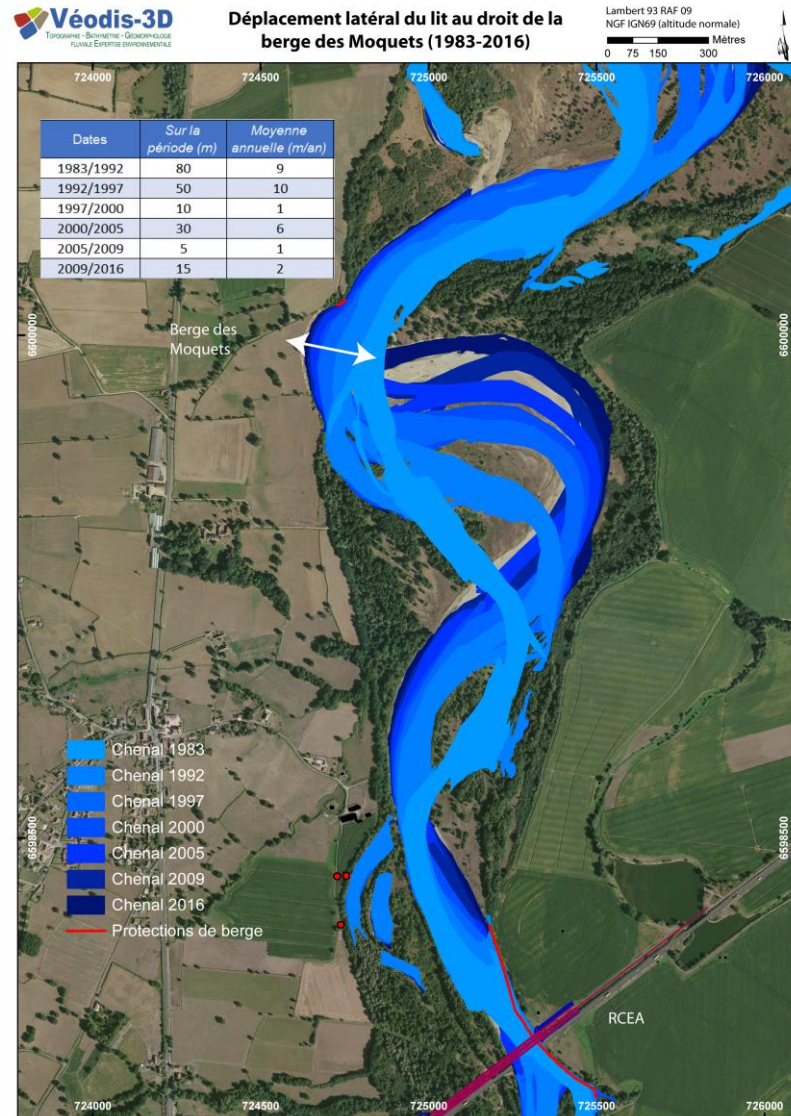
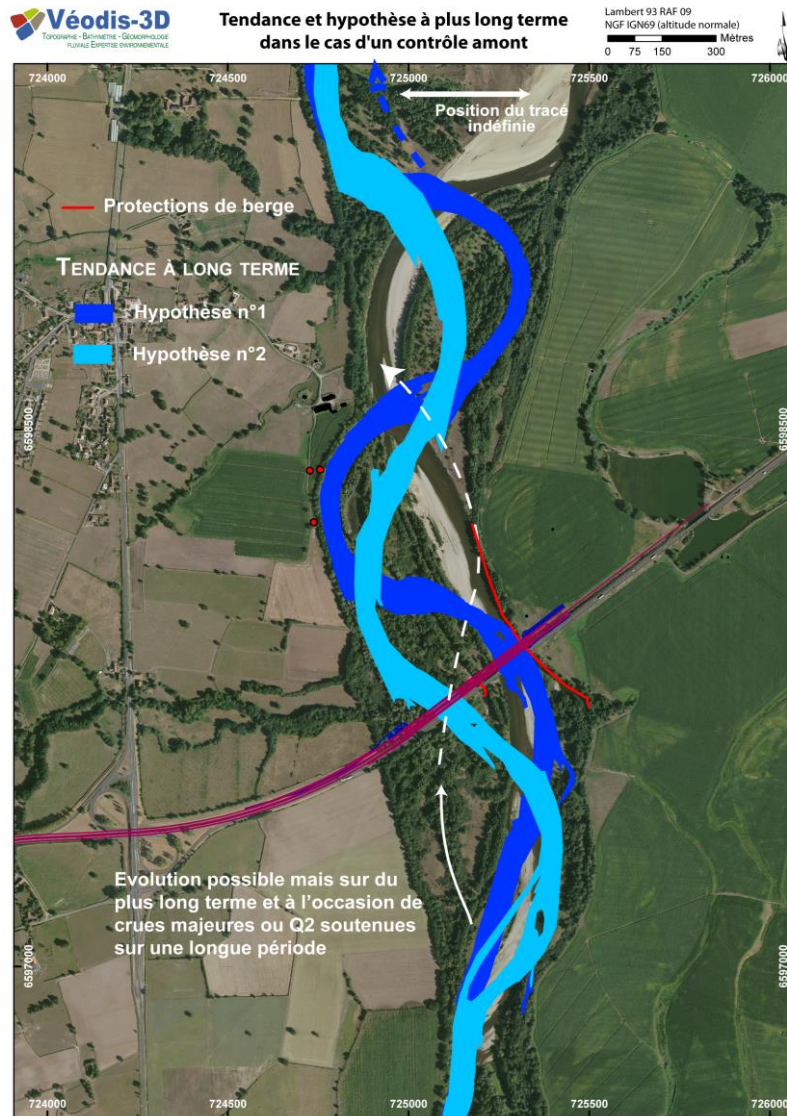


Figure 25 - Tendances et hypothèses d'évolution à plus long terme. Figure 26 - Déplacement latéral du lit au droit de la berge des Moquets (1983-2016).

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

5.2. Evolution morphologique liée à un contrôle aval

A la vue du fonctionnement morphologique du tronçon aval, il est possible que la divagation du lit puisse être également contrôlée par la dynamique latérale du méandre des Moquets situé à environ 1 300 m de l'extrémité aval de la berge des Perrons.

En aval des Perrons, l'Allier présente une forte capacité d'ajustement en raison principalement des recoupements successifs du méandre des Moquets, moteur de l'évolution morphologique (Figure 28).

L'évolution latérale du méandre et surtout son recoupement (Figure 27), peut occasionner une réactivation morphologique du chenal amont en raison de la rupture **du profil d'équilibre** de la pente du lit liée au recoupement et de la création d'une dénivellation conjointement à la diminution de la longueur du chenal.

A titre d'exemple, sur le tronçon amont, les deux recoupements successifs du méandre de Bessay-sur-Allier (1985 et 1994) ont entraîné une réactivation de la dynamique latérale sur près de 2 800 m de linéaire (PETIT, 2006).

L'impact d'un recoupement sur le tronçon amont sera d'autant plus fort et les réajustements du chenal élevés que le méandre a atteint un degré de maturité élevé.

La dénivellation provoquée par le recoupement et la diminution de la longueur du chenal (estimée entre 500 et 1 100 m selon le point de recoupement) pourrait se transmettre par érosion régressive en direction de l'amont (Figure 29) et favoriser l'ajustement latéral du lit sur une longueur plus ou moins égale (Figure 28).

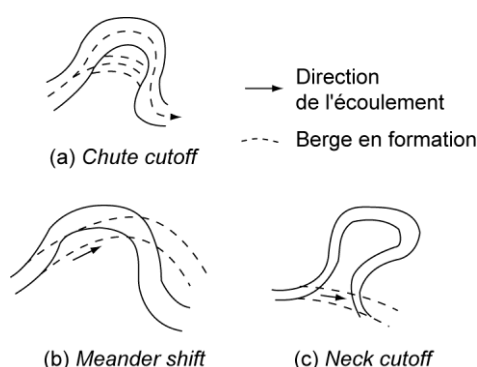


Figure 27 - Evolution naturelle des méandres (Schumm 2005 modifié).

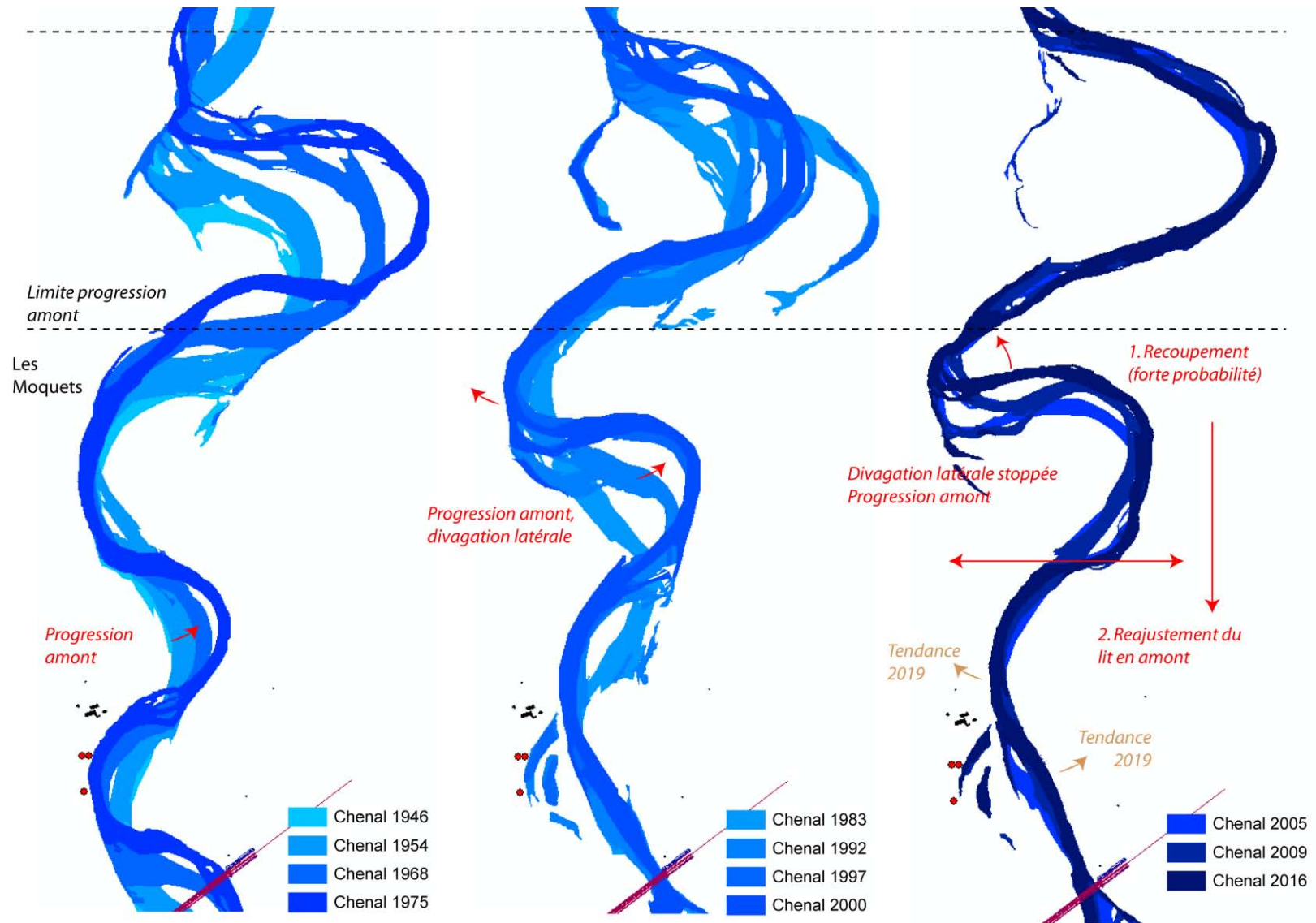


Figure 28 - Evolution de lit de l'Allier au droit de la berge des Moquets (aval viaduc RCEA) 1946-2016.

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

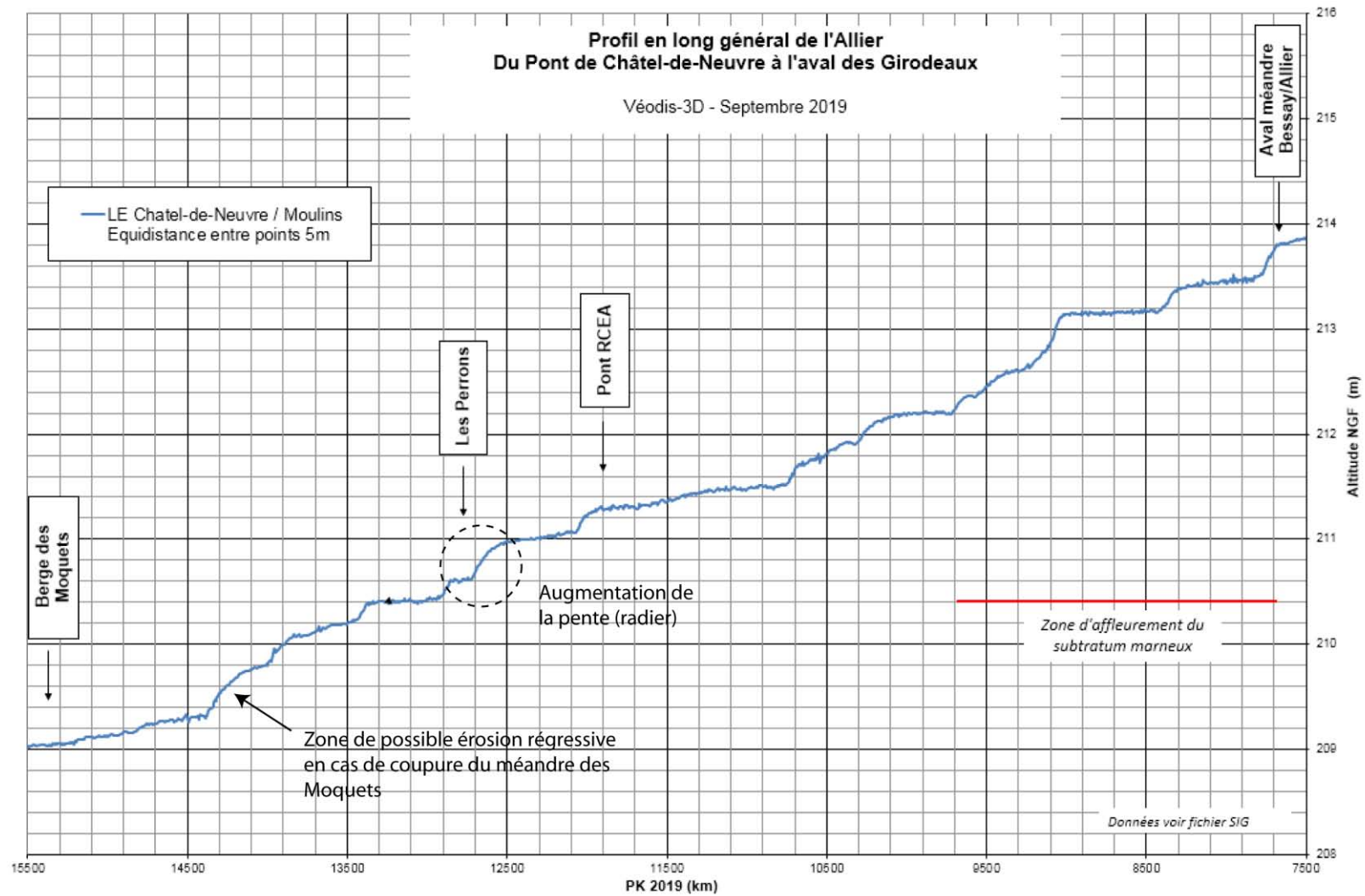


Figure 29 - Profil en long de la ligne d'eau entre l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier et l'aval des Moquets (Véodis-3D 2019).

Analyse de l'évolution morphologique de l'Allier au droit du viaduc de la RCEA.

5.3. Conclusion

- Si différents scénarii d'**évolution** latérale du lit sont envisageables tous s'**accordent** vers une évolution commune : l'**élargissement** du viaduc et la suppression des points durs de rive gauche devrait permettre une divagation du lit vers la rive gauche à plus ou moins long terme.
L'Allier devrait ainsi pouvoir divaguer dans son espace de mobilité historique.
- La berge holocène à la faveur d'**un contexte** topographique favorable devrait être soumise à plus ou moins long terme aux processus érosifs, par ordre chronologique et d'intensité :
 - Sur la partie aval, au droit et à l'aplomb des Perrons,
 - Sur le tiers aval, aux grés du glissement du lit sur le banc, de l'action de la forme de la berge holocène et du point dur aval, constitué par le talus de la terrasse et l'exutoire,
 - Sur les 2/3 de son linéaire aval aux grés du basculement du lit sur ses tracés anciens des années 50/60 et à la faveur d'un contexte topographique favorable.
- Au regard des dynamiques amont et aval et des caractéristiques morphologiques du tronçon au droit de la RCEA, il se peut que les modifications du tracé en plan, en aval du viaduc, **s'opèrent** à moyen terme (10 /20 ans) alors que la section transversale devrait **s'ajuster** à une échelle de temps plus courte (< 10 ans).
- Il apparaît toutefois difficile de faire des pronostics d'**ajustement** en raison :
 - du contexte général de la diminution de l'activité géomorphologique de l'Allier dans la RN du Val d'Allier,
 - de la difficulté de lier, dans un système comme celui de la RN du Val d'Allier, les évènements hydrologiques avec l'évolution morphologique,
 - parce que la réponse du chenal à la suppression des enrochements et à l'**augmentation de son espace** de divagation ne devrait pas être linéaire mais évolutive dans le temps,
 - parce **qu'une intervention** sur le chenal **n'engendre jamais** un impact simple, mais un enchaînement de réponses qui se mettent en place sur plusieurs années, voire plusieurs décennies.
- Il convient ainsi de réfléchir à des moyens de protections des enjeux situés en rive gauche au droit des Perrons : habitations, STEP, puits de captage pour l'irrigation.

6. QUELLES STRATÉGIES ADOPTÉES VIS-À-VIS DE **L'AJUSTEMENT LATÉRALE DU LIT** ?

Deux stratégies peuvent être envisagées vis-à-vis de **l'ajustement du lit de l'Allier** en direction de la rive gauche et de la possible réactivation des érosions de la berge Holocène.

Une stratégie foncière qui viserait à acquérir une partie des terrains (dont il conviendrait de préciser la surface) en rive gauche, dans un objectif de maintenir une enveloppe de mobilité et un espace de bon fonctionnement afin de **favoriser l'apport de charge solide**.

Cette solution foncière ne nous apparaît pas réaliste parce que :

- la suppression des enrochements permet de garantir des potentialités de divagation et de restaurer la dynamique fluviale à **l'échelle de l'enveloppe de mobilité** du XXème siècle (1840 / fin Petit Age glaciaire).
- la suppression des enrochements permet de fournir une zone potentiellement érodable à 20 ans.
- ce tronçon n'apparaît pas être un secteur à enjeu pour la fourniture de sédiments : **l'enveloppe de mobilité** est réduite au regard des tronçons amont et aval et ne constitue pas une zone de forte mobilité latérale (Figure 5, Figure 13) susceptible de fournir de fort apports de charge solide.
- ce secteur de l'Allier **n'apparaît pas, en l'état des connaissances, être** à fort enjeu vis-à-vis de la stabilisation voire de la réhausse du plancher alluvial.
- cette solution n'apparaît pas compatible avec **l'aléa d'érosion et les enjeux liés** à la présence de la ferme des Perrons et de la STEP.

Une stratégie de protection de berge au cas où le chenal venait à s'ajuster au droit de la rive gauche, dans un objectif de protection des biens et des personnes, ceux-ci étant situés en limite extérieure de l'espace de mobilité optimal (EOPT).

Les limites spatiales de la protection restent encore à définir, mais celle-ci pourrait couvrir :

- l'aplomb des Perrons,
- ou être plus étendue et couvrir l'aval du viaduc jusqu'à l'aplomb des Perrons.

Malgré la hauteur élevée de **berge, il n'est pas nécessaire** de la protéger sur la totalité de sa hauteur, dans la mesure où les processus d'érosion ne se manifestent qu'en pied de talus.

L'étude Artélia (2016) montre qu'**au maximum, au cours d'une crue centennale**, seuls les premiers mètres en pied de berge sont sollicités et nécessitent **d'être réellement** protégés afin de stopper les processus érosifs.

En cas de protection de berge sur la partie aval, il convient de ne pas créer un point dur qui initierait, à la manière du processus de déformation des méandres illustré en Figure 21 (d) des érosions de berge en amont de celui-ci.

En l'état des connaissances, il ne nous apparaît pas souhaitable de positionner dès un présent une protection de berge au regard :

- Des incertitudes liées à la dynamique latérale et à l'adaptation du lit de l'Allier à la suppression des enrochements
- De la méconnaissance du linéaire de berge à enrocher
- Des difficultés d'accès qui nécessiteraient un déboisement du talus et dont les processus de ruissellement peuvent localement le déstabiliser.

7. MISE EN PLACE D'UN SUIVI MORPHOLOGIQUE

L'analyse réalisée offre l'**opportunité** de comprendre la chronologie des changements **et d'identifier** les facteurs de contrôle les plus marquants qui seront responsables des changements futurs mais les conséquences restent encore complexes, multiples et difficiles à pronostiquer car elles devraient agir de manières combinées.

La mise en place d'un suivi morphologique de l'ajustement du lit suite aux travaux de suppression des enrochements permettrait de préciser la dynamique d'évolution du lit et les interventions à réaliser.

Il se justifie au regard :

- de la difficulté de prédire précisément l'évolution latérale du lit dans l'espace et dans le temps,
- de la difficulté d'anticiper les modalités de protection de la berge des Perrons qui pourra à terme être soumise aux processus érosifs.

Dans ce contexte, nous proposons la mise en place d'un suivi morphologique post-travaux.

L'état initial sera réalisé après la suppression des enrochements, à l'échelle de l'ensemble du banc et pour toutes les modalités décrites dans le paragraphe ci-dessous (6.4) et le Tableau 7.

Cette approche permettra d'adapter les actions au fonctionnement morphologique de l'Allier et de proposer des interventions réfléchies et adaptées en cas de basculement du lit au droit de la berge des Perrons et de mise en dangers des biens et des personnes.

7.1. Objectifs

Le niveau de suivi devra permettre de répondre à la plupart des questions concrètes posées par la maîtrise d'**œuvre** et les gestionnaires de l'**Allier** :

- **D'identifier** la réaction du chenal à la suppression des enrochements,
- D'identifier les changements de tracés probables,
- D'identifier la tendance future et les rythmes d'évolution du chenal.

Le suivi géomorphologique **s'appuiera sur** des comparaisons de relevés de terrain.

La fréquence du suivi et les travaux réalisés devront impérativement s'adapter aux évolutions morphologiques constatées.

7.2. Emprise du suivi

Ce suivi doit couvrir l'ensemble du banc dont l'emprise est définie dans la Figure 30.

Afin de préciser la tendance d'évolution latérale future du chenal, une attention particulière doit être apportée à 3 secteurs. Par ordre d'importance, ces secteurs sont :

1. Le secteur de l'exutoire de l'ancienne fosse d'extraction, situé à l'extrémité aval du banc, qui peut constituer une zone préférentielle de concentration des écoulements qui pourraient, de fait, initier des processus d'érosion en pied de berge.
2. La berge située en amont de l'exutoire qui fera l'objet du retrait des protections d'enrochements mais dont quelque uns sont déjà déstabilisés et soumis aux processus érosifs.
3. En amont du viaduc, un linéaire d'environ 100 m situé en rive gauche et dont les observations de terrain indiquent que ce secteur est un point de concentration des écoulements. Si les processus érosifs s'intensifient, il se peut qu'ils puissent initier un basculement du lit dans l'axe de celui de 1968.

7.3. Pas de temps de suivi

Le pas de temps de suivi peut être amené à évoluer dans le temps en fonction des modifications décelées.

Le suivi sera engagé dès la fin des travaux.

7.4. Modalités du suivi

7.4.1. Observations de terrain

Des observations de terrain, en particulier, des points sensibles à l'érosion seront à réaliser, avec une fréquence annuelle (Figure 24) et/ou après chaque évènement de crue, au minimum de temps de retour 1 an.

Une attention particulière sera également apportée :

- A l'évolution générale de la berge au droit des zones de retrait d'enrochements,
- A la présence de dépôts sédimentaires (sables, graviers grossiers) au niveau du banc à la suite de crue,
- A la présence de chenaux de crue au droit du banc et de végétation remaniée par la crue.

En compléments, à ces observations de terrain, un suivi morphologique devra être mis en place afin d'apporter de permettre une analyse quantitative de l'évolution du lit de l'Allier.

7.4.2. Analyse de l'évolution latérale de la position des berges

Les résultats attendus sont une cartographie diachronique de la position des berges analysées au regard des débits observés à la station de Châtel-de-Neuvre.

Le pas de temps du suivi sera au minima annuel ou après chaque crue de fréquence de retour 1 an, puis 2 ans si aucune modification n'est constatée.

Sur l'**ensemble** du secteur d'**étude** défini sur la Figure 30, le suivi de l'évolution latérale des berges peut être réalisé par deux techniques, qui peuvent être combinées :

Par photographies aériennes (drone) : à partir des images aériennes, le chargé d'**étude** digitalisera la position des berges (lit de l'**Allier**, berge holocène, banc),
par levés GPS les hauts de berges (lit de l'**Allier**, berge holocène, banc).

Les données seront intégrées, sous forme de polyligne, dans un SIG au format shape avec une base de données associées renseignant de la date du levé.

La comparaison des différents tracés permettra de comprendre la dynamique de changement tant sur le plan quantitatif que temporel.

7.4.3. Comparaison de profils en travers

Le résultat attendu est une analyse de l'évolution latérale du lit dans son espace de mobilité.

Les profils en travers seront levés perpendiculairement au lit mineur. Dans le cadre du suivi, l'**opérateur** devra scrupuleusement respecter l'**axe du levé afin** de retranscrire précisément l'**évolution** de la section d'**écoulement**.

Le pas de temps du suivi sera au minima de 4 ans ou après une crue de fréquence de retour 2 ans ou si des modifications sont constatées à partir de la comparaison des images aériennes.

Les profils en travers comporteront impérativement les cotes suivantes :

- En rive gauche, cote du haut de berge holocène
- cote rupture de pente de talus
- cote pied de berge
- cote en lit mineur, un point tous les mètres et cotes de toutes autres ruptures de pentes
- cotes haut de berge
- cote bas de berge
- cote dans le chenal, 1 point tous les mètres, et toutes autres ruptures de pentes dans le chenal
- Cote de la ligne **d'eau**
- La **date et l'heure du levé**.

Les données seront intégrées dans un tableur Excel, sous format SIG (shape, points) et sous format autocad (points 3D).

7.4.4. Comparaison de profils en long

Le résultat attendu est la comparaison de profils en long des lignes d'**eau d'étiage afin d'évaluer** le comportement du lit verticalement et les valeurs et les taux d'**incision** ou d'**exhaussement**.

Le pas de temps du suivi sera au minima de 5 ans.

Les profils en long de la ligne d'**eau d'étiage** seront levés à l'**axe principale d'écoulement**, 1 point tous les 5/10 m sera levé y compris toutes les ruptures de pentes (radier, seuil, mouille, etc.).

Les données seront intégrées sous forme de points dans un SIG au format shape.

7.4.5. Prise de vues et analyse d'images aériennes

L'IGN réalise une mission de prise de vue aérienne tous les 4 ans environ.

L'exploitation des images aériennes de l'**IGN** aura pour objectif de suivre l'**évolution** globale du tronçon comprise entre l'aval du méandre de Bessay-sur-Allier et l'aval du méandre des Moquets. Il s'agira d'analyser l'**extension spatiale** des affleurements amont, la modification générale du tracé en plan, la dynamique des méandres et des rythmes d'érosion.

Le résultat attendu est une information sur la dynamique générale du tronçon qui aura un impact direct sur la dynamique locale de méandrage au droit du viaduc et, *in fine*, de la berge des Perrons. Le chargé d'**étude digitalisera le tracé** du lit mineur y compris les bancs d'**alluvionnement**). 3 couches SIG au format shape (polygones) seront produites : chenal, banc et bande active (chenal + bancs).

7.4.6. Analyse vidéos

En complément deux caméras peuvent être installées de façon à filmer le lit en amont et en aval du pont.

Les vidéos permettront de mieux comprendre, à un pas de temps plus fin, les interactions et rétroactions entre la dynamique fluviale et les débits mais également de déclencher les suivis.



Figure 30 - Emprise du suivi post-travaux.

Tableau 7 - Fréquence du suivi au droit du viaduc de la RCEA.

	Description	Echelle	Suite aux travaux	Pas de temps	Fréquence minimale	Critère d'augmentation de la fréquence	Fournisseurs
Observations de terrain	Analyses des zones d'érosion, Comportement zone de retrait des enrochements, Présence zones de dépôts (sables, graviers) au droit du banc, Présence de chenaux de crue au droit du banc	Banc (Figure 30)		Annuelle ou après crue période de retour 1 an	annuelle ou après Q2 si pas de changement constaté en Q1	Après crue Q2 ou supérieure	Prestataire
Photographies drone	Analyses évolution latérales des berges (Allier, banc , Holocène)	Banc (Figure 30)	A réaliser	Annuelle ou après crue période de retour 1 an	annuelle ou après Q2 si pas de changement constaté en Q1	Après crue Q2 ou supérieure	Prestataire
Levés des limites de berge	Analyses de l'évolution latérale des berges (Allier, banc , Holocène)	Banc (Figure 30)	A réaliser	Fonction des résultats de l'analyse des images aériennes	4 ans		Prestataire
profils en travers	Analyses de l'évolution latérale et verticale Modification de la section d'écoulement		A réaliser	Fonction des résultats de l'analyse des images aériennes	4 ans		Prestataire
profil en long	Analyses évolution verticlae du lit de l'Allier	Banc (Figure 30)		Fonction des résultats de l'analyse des images aériennes	5 ans		Prestataire
vidéos	Analyse au temps court / événementiel : la crue Permet de déclencher un suivi	Banc (Figure 30)		Temps réel			
Photographies aériennes	Analyses de l'évolution latérale du lit de l'Allier	RN val d'Allier		4 ans			IGN

BIBLIOGRAPHIE

Artélia, 2016. Mise à 2x2 voies de la RCEA - franchissement du val d'Allier. Analyse de l'évolution prévisible de l'érosion suite à la suppression des enrochements en rive gauche de l'Allier. Phase préliminaire, 35p.

Artélia, 2016. Mise à 2x2 voies de la RCEA - franchissement du val d'Allier. Analyse de l'évolution prévisible de l'érosion suite à la suppression des enrochements en rive gauche de l'Allier. Etude du banc de gravier, 62p.

Artélia, 2016. Mise à 2x2 voies de la RCEA - franchissement du val d'Allier. Analyse de l'évolution prévisible de l'érosion suite à la suppression des enrochements en rive gauche de l'Allier. Modélisation hydraulique, 73p.

Eiffage, Egis, 2019. Dossier de demande d'autorisation environnementale, Autoroute A79, section Sazeret -Digoïn - Annexe Pièce D, volet eau et milieux aquatiques, 62p.

Eiffage, Egis, 2019. Dossier de demande d'autorisation environnementale, Autoroute A79, section Sazeret -Digoïn -Dossier de demande d'autorisation de travaux dans la RN du val d'Allier, 89p.

EPTEAU, 1998. « Etude **de l'Allier** entre Vieille-Brioude et Villeneuve » EPTEAU Horizons CEPA LPO 1998.

PETIT S., 2006. Reconstitution de la dynamique du paysage alluvial des trois secteurs fonctionnels de la rivière Allier (1946-2000), Massif-Central, France. Géographie physique et Quaternaire, vol 60, n°3, p.277-297.

Véodis-3D, 2014. Avis d'expert sur les impacts prévisibles du projet de 2x2 voies de la RCEA sur la dynamique alluviale de l'Allier, 11p.

8. LISTE DES PLANCHES GRAPHIQUES

9. LISTE DES ANNEXES

Numéro	Format	Titre	Echelle
1	-	Annexe 1 - liste des données cartographiques intégrées dans la base de données SIG	-

Annexe 1 - Liste des données cartographiques intégrées dans la base de données SIG

Photographies aériennes rectifiées et géoréférencées : 1946, 1965, 1968, 1975, 1992 - Source Véodis-3D

Photographies aériennes : 1983, 2000, 2005, 2009 - source DREAL Auvergne

Couches	
<input type="checkbox"/> RCEA_PTS_2019	Source Véodis-3D
<input type="checkbox"/> PROFIL_TRAVERS	
<input type="checkbox"/> PT_2015_L93	
<input type="checkbox"/> SUTVI_HAUT_BERGE	
<input type="checkbox"/> PT - EROSION ACTIVE	
<input type="checkbox"/> NOUVEAU VIADUC	
<input type="checkbox"/> PONT ACTUEL	Source Eiffage
<input type="checkbox"/> NI119081-001_RCEA_1000_POLYLIGNES	
<input type="checkbox"/> NI119081-001_RCEA_1000_TALUS	
<input type="checkbox"/> GEOLOGIE	Source BRGM InfoTerre
<input type="checkbox"/> FX13_L93_point	
<input type="checkbox"/> FYZ3_L93_polyline	
<input type="checkbox"/> FW13_L93_region	
<input type="checkbox"/> FX13_L93_region	
<input type="checkbox"/> FYZ1_L93_region	
<input type="checkbox"/> FYZ_L93_region	
<input type="checkbox"/> FZ_L93_region	
<input type="checkbox"/> LE_CHATEL_MOULIN_150919_L93_Reduce5	Source Véodis-3D
<input checked="" type="checkbox"/> ENJEUX	
<input checked="" type="checkbox"/> CAPTAGES_L93	
<input checked="" type="checkbox"/> NI119081-001_RCEA_ALLIER_BATI	Source CEN Auvergne / Véodis-3D 2011
<input checked="" type="checkbox"/> Protections_berge_Allier_2018	
<input checked="" type="checkbox"/> CHENAUX	Source Véodis-3D
<input type="checkbox"/> 1946	
<input type="checkbox"/> 1954	
<input type="checkbox"/> 1968	
<input type="checkbox"/> 1975	
<input type="checkbox"/> 1983	
<input type="checkbox"/> 1992	
<input type="checkbox"/> 1997	
<input type="checkbox"/> 2000	
<input type="checkbox"/> 2005	
<input type="checkbox"/> 2009	
<input type="checkbox"/> 2016	
<input type="checkbox"/> CHENAL_1840_region	Source Suez
<input type="checkbox"/> HYDARULIQUE EA	
<input type="checkbox"/> HYDRAULIQUE EI	
<input type="checkbox"/> HYDRAULIQUE RN7	Source Suez
<input type="checkbox"/> ALTI EIFFAGE	Source Suez
<input type="checkbox"/> LIDAR 2009	Source Dreal Auvergne