

Guide méthodologique

Gravières du Val d'Allier

Méthodologie d'analyse du risque de
dysfonctionnement sédimentaire en
cas de capture



Crédit photo : © J. Saillard (CEN Auv.)

Guide méthodologique

Gravières du Val d'Allier

Méthodologie d'analyse du risque de dysfonctionnement sédimentaire en cas de capture

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Août 2017	Rev1	Version initiale

Coordination du document :

M. David Bachellerie - DLCF – Unité GREI / HCF
Tél. : 04 73 42 10 20 / Fax : +33 (0)4 73 42 10 01
Courriel : david.bachellerie@cerema.fr
Avec la participation de : <ul style="list-style-type: none">– M. Justin Lecomte, chargé d'études en hydromorphologie– M. David Goutaland, chargé d'études en hydromorphologie– Mme Catherine Franck-Néel, chargée de missions Eau Sol Déchets
Cerema Centre-Est ZI du Brézet - 8 à 10, rue Bernard-Palissy - 63 017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2

Références

N° C13LC0046

Contact DREAL Auvergne-Rhône-Alpes : M. Dominique Barthélémy

Document	Nom	Date	Visa
Établi par	M. David Bachellerie, chargé d'études en hydromorphologie		
Contrôlé par	M. David Goutaland, responsable de l'unité Hydrologie et Corridors Fluviaux		
Validé par	M. Sylvain Moreira, responsable du groupe Risques Environnement Infrastructures		

Résumé :

Ce guide a pour objet de présenter la méthodologie d'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire en cas de capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière, proposée pour l'axe Allier.

Sommaire

1- Contexte et objectif	5
Contexte hydromorphologique.....	5
Contexte réglementaire.....	9
Objectif et organisation du guide.....	11
2- Définitions et scénarios considérés	12
3- Méthodologie d'évaluation du risque	17
Définition du risque.....	17
Méthodologie de caractérisation de l'aléa.....	18
Méthodologie de caractérisation des enjeux.....	21
Méthodologie d'évaluation du risque.....	27
4- Description des facteurs déterminants	29
Facteurs déterminants communs aux deux scénarios.....	30
Facteurs déterminants propres au scénario A.....	35
Facteurs déterminants propres au scénario B.....	42
5- Données d'entrée	47
Les archives administratives.....	47
Les photographies.....	51
Les observations et levés de terrain.....	53
Les levés bathymétriques.....	58
Les témoignages des acteurs.....	59
6 - Références	60

1- Contexte et objectif

Contexte hydromorphologique

La rivière Allier : une rivière mobile

La rivière Allier est une **rivière mobile qui ajuste sans cesse son cours et sa morphologie au sein de son espace de mobilité**.

Cette dynamique fluviale se traduit par une oscillation permanente visant à équilibrer le taux de sa charge alluviale (sédiments) avec son débit liquide.

La dynamique fluviale

La dynamique fluviale peut ainsi être présentée comme l'oscillation permanente des aiguilles d'une balance dont l'un des plateaux représente la charge solide – ou volume de sédiments transitant par unité de temps – et l'autre le débit liquide – ou volume d'eau transitant par unité de temps (Illustration 1).

La rivière ajuste son cours entre des points amont et aval fixes qui contrôlent sa pente. Le méandrage ou la divagation des chenaux se traduit par la translation des zones d'érosion et de dépôt et dépend de l'érodabilité des matériaux de berges et du fond du lit. Ainsi, **l'espace latéral de mobilité du cours d'eau résulte de l'équilibre entre la capacité de transport (débit liquide) et le volume potentiel de matériaux transportables (granulométrie)**. Il s'agit toutefois d'un équilibre dynamique, c'est-à-dire d'un état d'équilibre en constante évolution, (référentiel qui n'est pas fixe et qui évolue dans le temps), tenant compte des tendances d'évolution naturelles de l'hydrosystème.

L'espace de mobilité

L'espace de mobilité se définit comme *l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales pour permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres* (Piegay et al., 1996). Dans cet espace, le chenal du lit mineur n'est pas fixe dans le temps. Les écosystèmes associés sont régulièrement renouvelés (annexes hydrauliques, frayères, berges, iscles...).

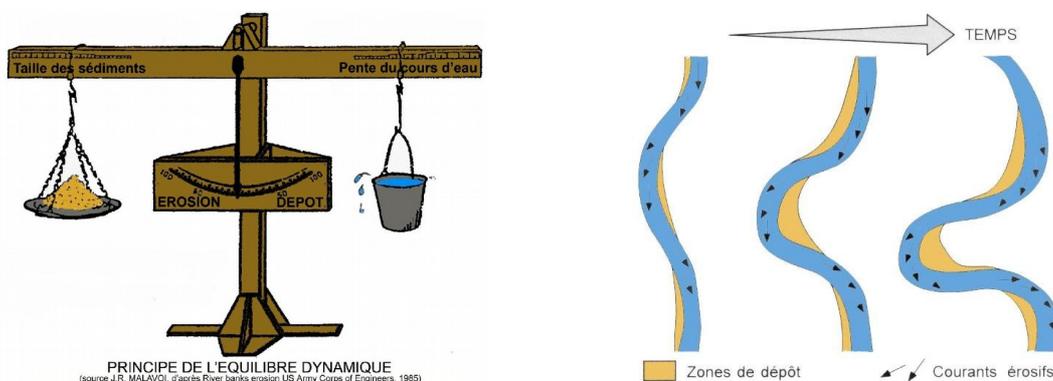


Illustration 1 – Principe de l'équilibre dynamique (Malavoi et Bravard, 2010)

Les gravières présentes dans l'espace de mobilité de l'Allier : un risque pour le fonctionnement du cours d'eau

Nombreuses gravières dans les formations alluvionnaires de l'Allier

Au cours du dernier siècle, **l'espace de mobilité de la rivière Allier a subi des perturbations d'origine anthropique de nature diverse**, dont notamment le blocage de la dynamique latérale associé à la création de différents types d'ouvrages (ouvrages d'art et leur système d'entonnement, digues, protections de berge), ainsi que **l'exploitation alluvionnaire de granulats (ou gravières)** ayant conduit à la réalisation de zones d'excavation au sein de l'espace de mobilité.

Dans le val d'Allier, le nombre d'exploitations alluvionnaires anciennes ou en exploitation est élevé.

Au sein d'un périmètre correspondant à l'espace maximal regroupant l'espace de mobilité maximale de l'Allier défini par EPTEAU (1996), la zone inondable (AZI) et les formations géologiques alluviales, le Cerema (2014) a recensé 279 gravières, sur un linéaire d'environ 270 km entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier (périmètre correspondant à celui du SAGE Allier-Aval).

Des gravières proches du cours d'eau pouvant engendrer une capture du lit mineur

Du fait du caractère mobile de l'Allier, **certaines de ces gravières, situées à proximité du cours d'eau, peuvent être à l'origine d'un phénomène de capture du lit mineur.**

En effet, les « *gravières volumineuses et profondes [installées en lit majeur à proximité immédiate de cours d'eau à dynamique active] peuvent piéger une grande partie de la charge solide en charriage si elles capturent le cours d'eau à l'occasion d'une crue. [...] Ce processus peut conduire à des impacts identiques à ceux provoqués par les exploitations en lit mineur.* » (Malavoi et al., 2011).

Ainsi, il a été recensé **entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier 130 gravières présentant un risque de capture de l'Allier**, du fait de leur proximité par rapport au lit mineur (Cerema, 2014).

Cette capture de cours d'eau peut entraîner une interception de la charge de fond, interrompant ainsi le transport de sédiments grossiers provenant de l'amont sur plusieurs années et pouvant conduire à des impacts forts (DREAL Centre, 2015).

Un phénomène de capture pouvant impacter le fonctionnement hydromorphologique ...

Le bon fonctionnement hydromorphologique d'un cours d'eau requiert en effet le **charriage des sédiments grossiers** (charge de fond).

La **charge de fond** est une composante structurelle du cours d'eau, et le transport participe à sa dynamique. La pérennisation de ce flux solide garantit l'**équilibre sédimentaire** du cours d'eau (Charrais, 2013).

Une rupture de la continuité sédimentaire, pouvant être notamment lié à la capture par une gravière du lit mineur d'un cours d'eau, provoque une **modification des processus d'érosion et de dépôt** pouvant se traduire par une **interception de la charge de fond**, des phénomènes d'**incision du lit** dus aux **érosions régressives et progressives**, ou une **disparition du substrat alluvionnaire** et de ses fonctions biologiques (Charrais, 2013).

Une phénomène de capture pouvant impacter le fonctionnement hydromorphologique ... (suite)

L'illustration 2 présente l'évolution d'un cours d'eau suite à la capture de son lit par une gravière plus profonde que celui-ci. Il convient de noter qu'une gravière dont le fond est proche de celui du cours d'eau, si elle présente une forte sur-largeur, peut également impacter le fonctionnement sédimentaire du cours d'eau en cas de capture : les conditions hydrauliques locales favorisent dans ce cas la réduction de la capacité de charriage et le dépôt des alluvions grossières (DREAL Centre, 2015).

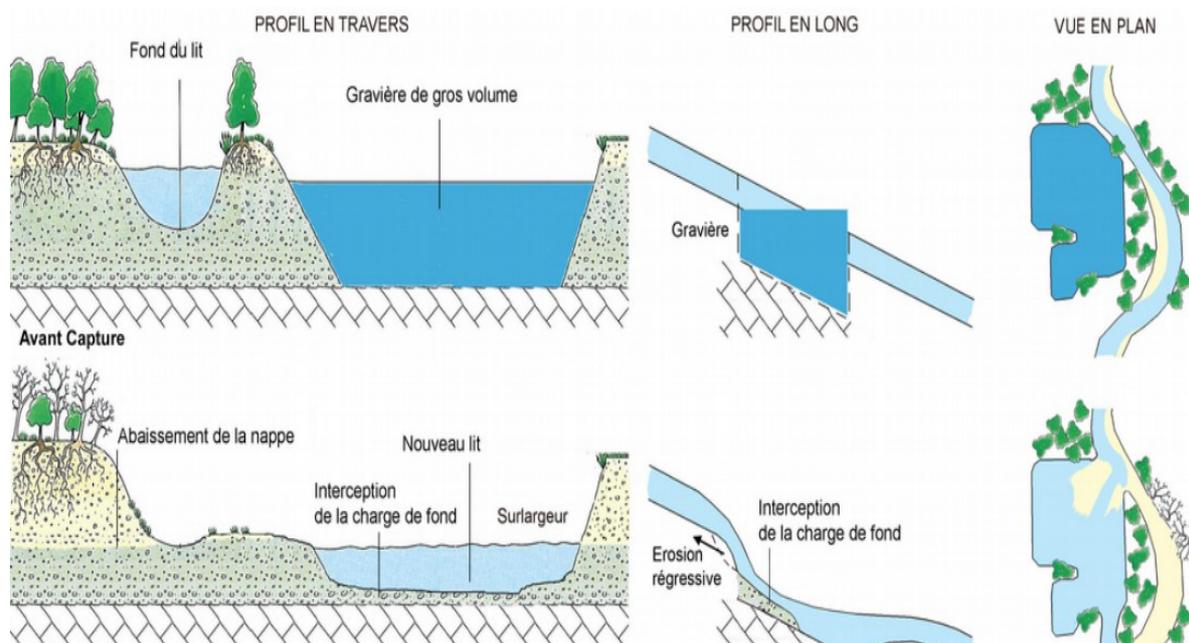


Illustration 2 – Schéma d'évolution d'un cours d'eau suite à la capture de son lit par une gravière (extrait de DREAL Centre (2015), adapté de FRANE (2008))

... ainsi que le fonctionnement écologique

Les alluvions grossières transportées par les cours d'eau, qu'elles soient submergées ou exondées selon les débits, sont également essentielles au **bon fonctionnement des biocénoses tant aquatiques que terrestres**. Le substrat alluvial assure plusieurs fonctions (**habitat** des organismes aquatiques et ripariaux, **support de pont** sur les substrats submergés et émergés, **abri** vis-à-vis des conditions hydrauliques et des prédateurs), chacune étant liée aux **caractéristiques particulières du sédiment** (granulométrie, porosité, conductivité hydraulique, mobilité) et aux conditions hydrodynamiques qui prévalent à sa surface (vitesse d'écoulement et hauteur d'eau).

... ainsi que le fonctionnement écologique (suite)

Par ailleurs, c'est à la surface (biofilm) et au sein même du substrat submergé que se déroulent la très grande majorité des **processus biologiques de dégradation de la matière organique** et donc des cycles biogéochimiques qui y sont associés (cycle de l'azote et du phosphore notamment). Le substrat alluvial submergé est donc un élément important des **processus d'auto-épuration dans les cours d'eau** (Malavoi et al., 2011).

La préservation du transport des éléments grossiers est par conséquent indispensable au maintien du bon fonctionnement écologique des cours d'eau.

Des situations déjà connues sur l'Allier

De nombreuses gravières sont situées au sein du lit majeur de l'Allier et certaines ont déjà été capturées. Entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier, il a été recensé 8 gravières ayant déjà capturé le lit mineur de l'Allier (Cerema, 2014).

L'illustration 3 présente l'exemple de la capture d'une gravière au lieu-dit du pont Lamothe à Brioude (43).



Illustration 3 – Capture du lit mineur de l'Allier par une gravière au lieu-dit pont Lamothe à Brioude (Haute-Loire) suite à la crue de 1994

Contexte réglementaire

Textes réglementaires

Le bon fonctionnement du transport sédimentaire est inscrit comme un objectif fort dans les textes réglementaires encadrant la gestion de l'eau et de milieux aquatiques (Malavoi et al., 2011).

Directive Cadre sur l'Eau (2000)

La **Directive Cadre sur l'Eau** (2000), dans son annexe 5, fait de la **continuité écologique l'un des éléments de qualité hydromorphologique pour la classification de l'état écologique d'un cours d'eau**. Le « très bon état » ne peut être atteint que si « la continuité de la rivière n'est pas perturbée par des activités anthropogéniques et permet une migration non perturbée des organismes aquatiques et le transport de sédiments » (Malavoi et al., 2011).

Article L. 214-17 du Code de l'Environnement

L'article L. 214-17 du Code de l'Environnement relatif au classement de cours d'eau prévoit que soit établie pour chaque bassin ou sous-bassin « une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans lesquels il est nécessaire d'assurer le **transport suffisant des sédiments** et la circulation des poissons migrateurs » (Malavoi et al., 2011).

Le SDAGE Loire-Bretagne

Aujourd'hui, les SDAGE (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux) sont tenus de **protéger l'hydromorphologie et l'intégrité du lit des cours d'eau** (Lecomte et Neel, 2013).

La rivière Allier fait partie du bassin hydrographique Loire Bretagne : ses principes de gestion sont donc définis par le SDAGE Loire-Bretagne. Le SDAGE Loire-Bretagne a été adopté par le comité de bassin Loire-Bretagne le 4 novembre 2015 et publié par arrêté préfectoral du 18 novembre 2015. Il est en vigueur pour une durée de 6 ans (2016-2021).

La disposition 1C-3 du SDAGE-LB relative à l'espace de mobilité d'un cours d'eau

Le SDAGE Loire-Bretagne traite de la thématique du maintien et de la restauration de l'intégrité morphologique et de la dynamique fluviale des cours d'eau, éléments essentiels à l'atteinte du très bon état écologique, définis par la Directive Cadre sur l'Eau.

Dans sa disposition 1C-3, le SDAGE précise que « *les hydrosystèmes fluviaux sont des milieux complexes qui ont besoin d'espace latéral pour que soit assurée leur qualité physique et fonctionnelle. Lorsque l'atteinte du bon état dépend du bon fonctionnement de l'espace de mobilité du cours d'eau, le Sage identifie les espaces de mobilité à préserver ou à restaurer et les principes d'action à mettre en œuvre pour la bonne gestion de ces espaces.* »

Les actions à mettre en œuvre peuvent être élaborées pour « *préserver l'espace de mobilité d'interventions de protection contre l'érosion et de fixation du lit mineur, voire pour supprimer des protections ou des points de fixation existants afin de restaurer la mobilité nécessaire.* »

Le SAGE Allier aval Le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) concerné par la définition et la gestion de l'espace de mobilité de la rivière Allier est le SAGE Allier aval, approuvé par la Commission Locale de l'Eau (CLE) le 3 juillet 2015. Le périmètre du SAGE Allier aval est donné sur l'illustration 4.

Un SAGE qui définit l'espace de mobilité optimal La CLE (Commission Locale de l'Eau) du SAGE Allier aval a défini l'**espace de mobilité optimal** comme l'espace de mobilité à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement en plan et en long et de se recharger en sédiments.

Cet espace représente une surface de 186 km² (18 630 ha).

La définition de cet espace est basée sur des critères hydrologiques, sédimentologiques ou écologiques.

Les contraintes socio-économiques majeures (zones habitées, grosses infrastructures routières, ouvrages de franchissements, champ captant pour l'alimentation d'eau potable, groupement de gravières importants), sont exclues de l'espace de mobilité optimal et pourront être protégées. Les contraintes socio-économiques secondaires (axes de communication communaux, puits de captages isolés, **certaines gravières**, habitations isolées) sont parfois intégrées.

Disposition du SAGE Allier aval concernant la gestion des anciennes gravières Le SAGE Allier aval comprend une disposition 8.3.1 recommandant la « **réalisation d'études détaillées sur les sites à risques identifiés** » de capture du lit mineur de l'Allier.

Il convient donc d'identifier les gravières présentant ce risque de dysfonctionnement sédimentaire.

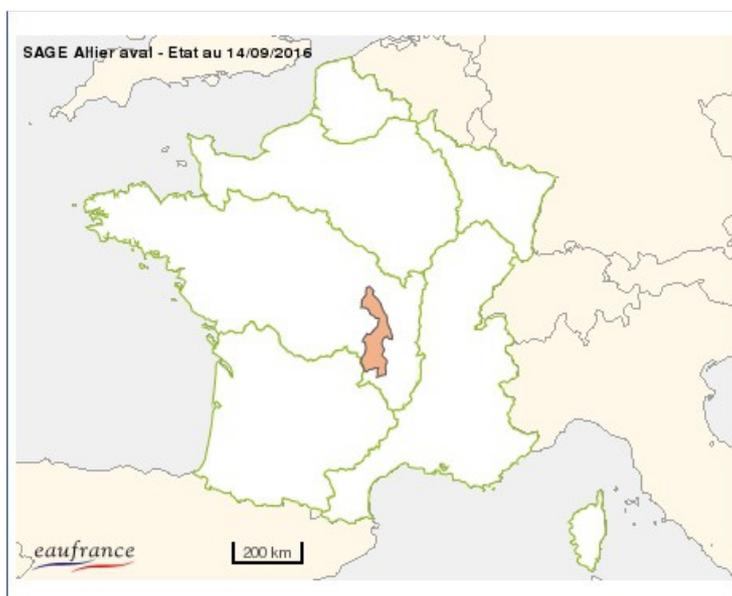


Illustration 4 – périmètre du SAGE Allier aval et localisation au sein du SDAGE Loire-Bretagne
(source <http://www.gesteau.eaufrance.fr/sage/allier-aval>)

Objectif et organisation du guide

Objectif du guide

Ce guide, élaboré par le Cerema à la demande de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, a pour objectif de présenter une **méthodologie d'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire lié à la capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière**, adapté au contexte de l'axe Allier. Cette méthodologie a été élaborée à partir de l'analyse de quatre groupes de gravières à risque identifiés dans le val d'Allier.

Organisation du document

Ce guide est composé de 6 parties, dont le contenu est décrit ci-dessous.

- 1- Contexte et objectif** Le présent chapitre :
- présente le contexte hydromorphologique de l'Allier, ainsi que le contexte réglementaire associé,
 - rappelle l'objectif du guide.
- 2- Définitions et scénarios considérés** Cette partie rappelle dans un premier temps les définitions des phénomènes considérés (capture du lit mineur, érosions régressive et progressive). Elle présente dans un deuxième temps les deux scénarios de capture considérés.
- 3- Méthodologie d'évaluation du risque** Après avoir présenté la notion de risque de dysfonctionnement sédimentaire lié à la capture d'un cours d'eau par une gravière, cette partie expose de façon détaillée les méthodologies de caractérisation de l'aléa de capture et des enjeux considérés.
- 4- Description des facteurs déterminants** La caractérisation de l'aléa de capture nécessite d'apprécier différents facteurs déterminants, constituant les paramètres fondamentaux favorisant le phénomène de capture. Cette partie présente ces facteurs déterminants.
- 5- Données d'entrée** Cette partie détaille les données d'entrée utilisées pour l'évaluation des niveaux d'aléa et d'enjeux.
- 6- Références** Les références bibliographiques sont listées dans une dernière partie.

2- Définitions et scénarios considérés

Définitions

La **capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière** en lit majeur peut entraîner un **dysfonctionnement sédimentaire** qui peut se traduire par le **piégeage de la charge alluviale en transit, ainsi que par des phénomènes d'érosions régressive et progressive.**

Capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière

Selon le BRGM (1998), la capture du lit mineur par une gravière à l'occasion d'une crue constitue un cas extrême où le **trajet de l'écoulement est définitivement modifié.** La capture survient quand il se produit **une connexion en un point amont et en un point aval entre la gravière et le cours d'eau**, associée à un **déplacement du lit mineur dans la gravière.** Les connexions amont et aval entre la gravière et le cours d'eau peuvent se produire plus ou moins rapidement et de façon différée dans le temps. Elles sont dues à une érosion de la berge séparant le cours d'eau de la gravière, et peuvent être favorisées par l'exploitation de la gravière. Les connexions sont notamment favorisées par (Hydratec, 1998) :

- l'absence d'ouvrage d'alimentation (déversoirs) permettant le remplissage du bassin avant le débordement généralisé du cours d'eau,
- le grand volume de la gravière, allongeant le temps de remplissage et donc la durée de la chute et de l'érosion,
- la longueur excessive de la gravière parallèlement à la rivière, entraînant la permanence de la chute pendant la crue.

Le déplacement du lit mineur dans la gravière s'accompagne d'un phénomène de **sédimentation de la charge alluviale** en transit (par charriage, voire en suspension), entraînant par voie de conséquence un **déficit sédimentaire à l'aval.**

Si le fond de la gravière est plus profond que celui du cours d'eau, le piégeage de la charge alluviale se produit dans le creux correspondant à la fosse d'extraction créée par l'exploitation de la gravière (celle-ci agit comme un décanteur). Dans ce cas, la capture peut s'accompagner d'érosions régressive et progressive.

Si le fond de la gravière est situé au niveau du fond du cours d'eau, le phénomène de sédimentation de la charge alluviale peut également se produire du fait de l'élargissement brutal du nouveau lit.

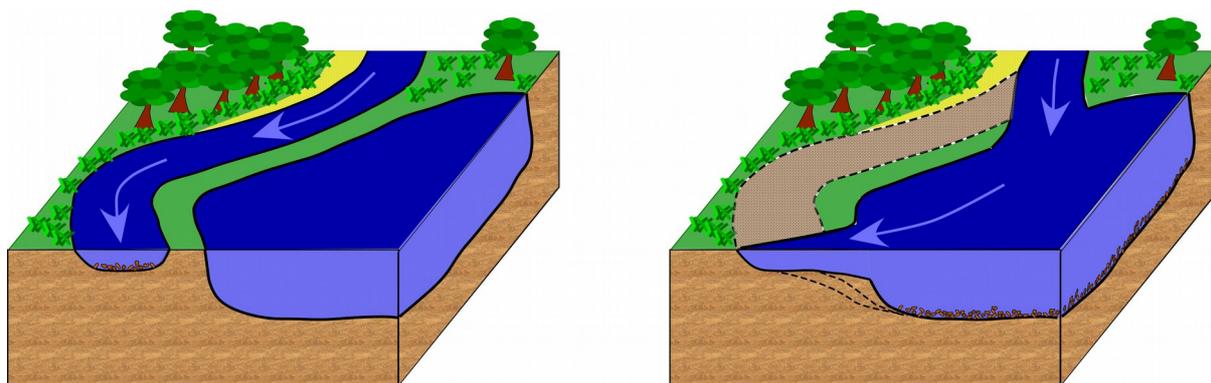


Illustration 5 – Schéma de capture du lit mineur par une gravière

Érosion régressive D'après EPTEAU (1998), l'**érosion régressive** correspond au **processus d'enfoncement du lit mineur** d'un cours d'eau se propageant depuis le site d'extraction vers l'amont par un phénomène de grignotage du talus amont de l'exploitation jusqu'à l'obtention d'une nouvelle pente d'équilibre.

Ce type d'érosion peut se propager sur une distance variable vers l'amont en fonction de la pente locale du lit, de la taille de l'extraction, du type d'exploitation...

Érosion progressive D'après EPTEAU (1998), l'**érosion progressive** correspond au **processus d'enfoncement du lit mineur** d'un cours d'eau se propageant depuis le site d'extraction vers l'aval, en raison du déficit de charge alluviale provoqué par le brusque piégeage d'une grande part de la charge solide en charriage, saltation et même suspension.

À débit égal, la rivière transportant moins de matériaux dissipe son énergie excédentaire en remobilisant une charge de substitution, en aval de l'exploitation, et ce en théorie jusqu'à obtenir un débit solide égal à sa capacité de transport ou à aboutir à une nouvelle capacité de transport adaptée à sa charge alluviale (par réduction de sa pente notamment).

Cette recharge en sédiments se fait en premier lieu au détriment de la partie du lit la plus « érodable », le fond du lit en général (forces tractrices plus élevées) mais aussi les berges selon les cas (fonction de la granulométrie du fond ou des berges, de la présence de végétation ou de structures empêchant l'érosion latérale, etc...).

Deux scénarios possibles

Comme proposé par la DREAL Centre Val de Loire (2015), deux familles de scénarios peuvent être retenus. Ces scénarios, « **avec digue** » (**scénario A**) ou « **sans digue** » (**scénario B**), évoluent différemment selon la position de la gravière par rapport au cours d'eau (Illustration 6).

Les deux familles de scénarios sont décrites en détails dans l'étude de la DREAL Centre Val de Loire (2015). Il n'en est rappelé ici que brièvement les principales caractéristiques.

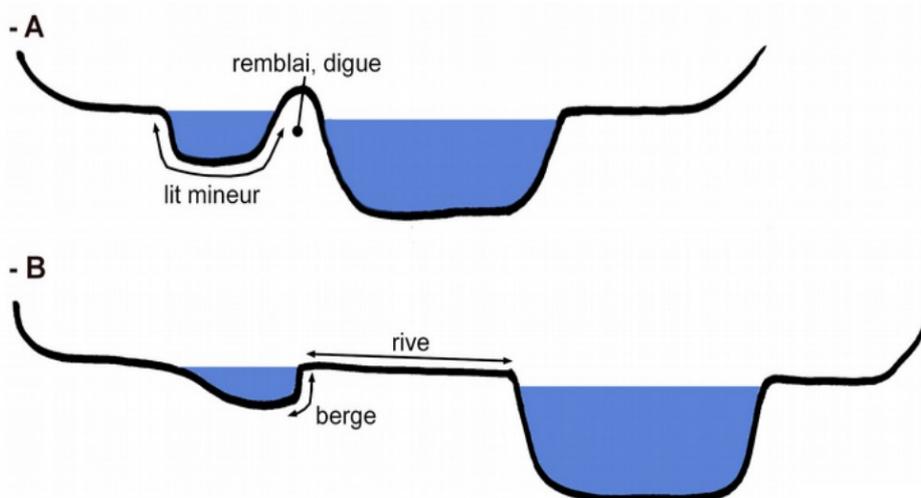


Illustration 6 – Scénarios de capture du lit mineur par une gravière en fonction de la position de la gravière par rapport au lit mineur. Source : DREAL Centre Val de Loire (2015)

Scénario A : « avec digue » Pour ce scénario, la gravière considérée est **proche du lit mineur** du cours d'eau. Le fonctionnement en crue de la berge séparant la gravière du cours d'eau est dans ce cas **similaire à celui d'une digue**.

La connexion peut être engendrée par deux phénomènes, concomitants ou non (Illustration 7) :

- **érosion externe par affouillement du pied de digue**, pouvant conduire à une rupture par érosion externe de la bande séparant la gravière du cours d'eau ;
- **érosion régressive de surface par surverse**, pouvant conduire à une rupture par surverse de la bande séparant la gravière du cours d'eau.

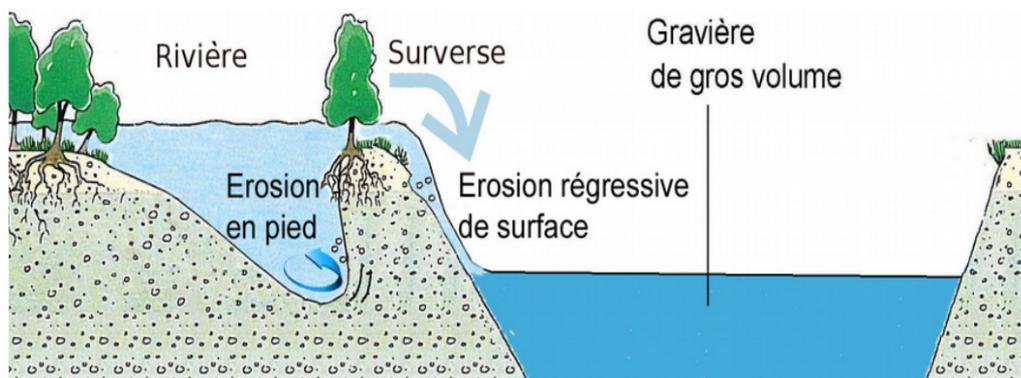


Illustration 7 – Mécanismes de capture du lit mineur dans le cas du scénario A « avec digue ».
Illustration extraite de l'étude de la DREAL Centre Val de Loire (2015), et réalisée à partir d'un schéma de l'enfoncement du lit extrait de « L'Allier rivière sauvage » (FRANE 2008)

Définition du terme « digue » utilisé dans le cadre de la méthodologie proposée

Par la suite, le terme « digue » sera associé à la définition spécifiquement adoptée dans le cadre de la méthodologie proposée.

Le terme « digue » fera référence aux **matériaux naturels en place** (alluvions), éventuellement renforcés ou surmontés par des matériaux d'apport, **formant une bande séparant la gravière du lit mineur de l'Allier**. Une « digue » correspond généralement à la **bande de terrain naturelle restant en place après extraction des matériaux alluvionnaires dans la gravière**.

Une « digue » ne correspond pas à une digue de protection contre les crues, formée par un remblai anthropique. Elle a toutefois un fonctionnement similaire : en crue, elle subit une **mise en charge hydraulique** du côté du cours d'eau.

Scénario B : « sans digue »

Pour ce scénario, la gravière considérée est **éloignée du lit mineur** du cours d'eau. Dans ce cas, la connexion entre la gravière et le cours d'eau peut se produire par érosion de la rive (Illustration 8) :

- érosion d'une berge concave, engendrant une translation progressive du méandre ;
- érosion régressive du chenal de chute, entraînant une réduction progressive de la largeur de la rive.

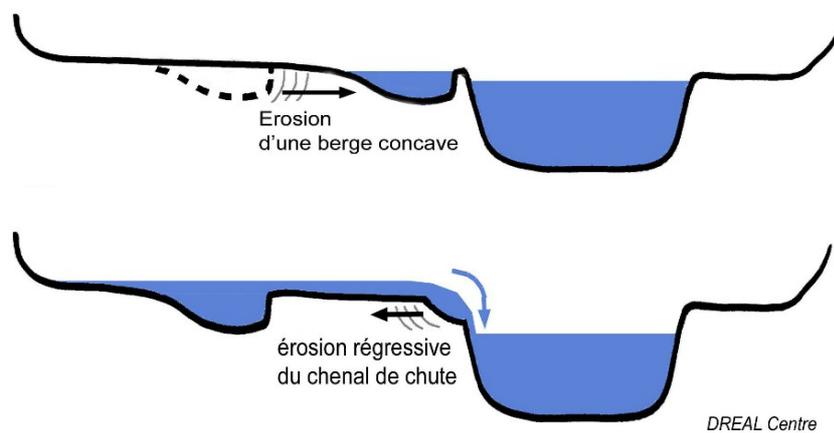


Illustration 8 – Mécanismes de capture du lit mineur dans le cas du scénario B « sans digue ».
Source : DREAL Centre Val de Loire (2015)

3- Méthodologie d'évaluation du risque

Définition du risque

Une méthodologie d'évaluation du risque adaptée de celle de la DREAL Centre (2015)

La méthode d'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire lié à la capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière est adaptée de celle définie par la DREAL Centre (2015). L'approche considère le risque comme le croisement :

- d'un **aléa de capture**, plus ou moins probable et à plus ou moins long terme,
- d'un **enjeu correspondant au piégeage de sédiments grossiers**, plus ou moins important selon le contexte sédimentaire, pondéré éventuellement par des enjeux complémentaires liés au dysfonctionnement sédimentaire induit par la capture.

La méthode d'évaluation du risque est présentée de façon schématique sur l'illustration 9, et décrite de façon détaillée ci-dessous.

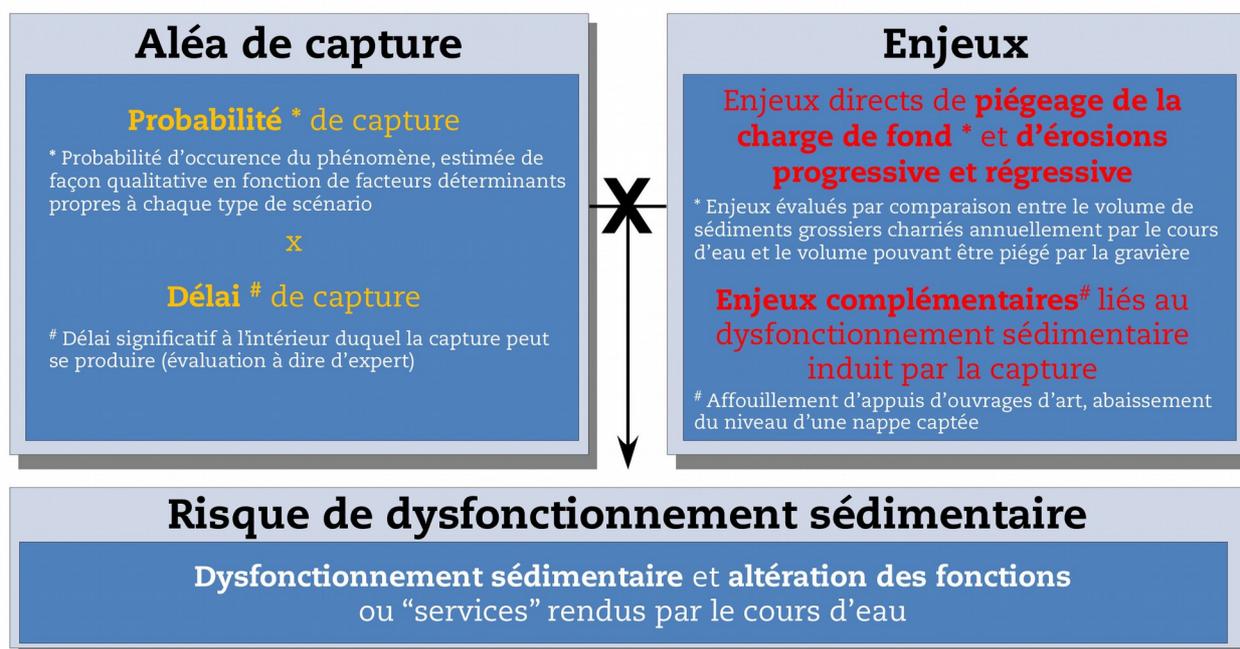


Illustration 9 – Principe d'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire lié à la capture du lit mineur de l'Allier par une gravière (adapté à partir de DREAL Centre (2015))

Méthodologie de caractérisation de l'aléa

Définition de l'aléa de capture

L'approche retenue dans cette méthodologie est analogue à d'autres approches de caractérisation d'aléa relatif à des instabilités de terrain, notamment celle utilisée pour les études d'aléa lié aux éboulements (LCPC, 2004).

Croisement d'une probabilité de connexion avec un délai...

L'approche croise la probabilité d'occurrence d'un phénomène avec le délai au sein duquel le phénomène peut se produire.

ALEA

=

Probabilité d'occurrence d'un phénomène X Délai

... appliqué au phénomène de capture

En ce qui concerne le phénomène de **capture du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière**, l'aléa associé a ainsi été défini par le croisement de deux composantes :

- la **probabilité d'occurrence de la capture**, c'est-à-dire l'éventualité que se **produisent conjointement une connexion amont et aval du lit mineur avec une gravière** ainsi que le **déplacement du lit mineur dans cette gravière** ;
- le **délai significatif à l'intérieur duquel la capture peut se produire**.

Méthode d'évaluation de la probabilité d'occurrence

La méthode retenue d'évaluation de l'aléa de capture suit donc une **démarche de type probabiliste**.

Une évaluation probabiliste qualitative...

Les probabilités d'occurrence sont dites **qualitatives**. Elles sont évaluées sur la base de **facteurs déterminants**, ces facteurs constituant les **paramètres fondamentaux favorisant le phénomène de capture**. C'est la **conjugaison de ces différents facteurs** qui est considérée pour **qualifier la probabilité d'occurrence** de la capture.

... dépendante du type de scénario considéré

L'évaluation de la probabilité d'occurrence nécessite donc de faire l'inventaire des facteurs déterminants. Ces derniers sont propres au type de scénario de capture considéré :

- scénario « avec digue » (scénario A),
- scénario « sans digue » (scénario B).

Ces scénarios, présentés schématiquement sur l'illustration 6, dépendent de la position relative du plan d'eau de la gravière et de la berge du cours d'eau.

Les facteurs déterminants associés à chacun des deux scénarios sont présentés de façon détaillée dans le chapitre dédié (chapitre 4).

Échelle de probabilité à 3 niveaux

Pour la méthodologie proposée, il est retenu une échelle qualitative de probabilité d'occurrence de capture à trois niveaux :

- probabilité **faible**,
- probabilité **moyenne**,
- probabilité **forte**.

Spécificité

Dans le cadre d'un tronçon hydromorphologique comprenant plusieurs gravières, une probabilité de capture est évaluée a priori **pour chaque gravière**.

Toutefois, il peut être retenu une évaluation de la probabilité de capture pour un ensemble de gravières. Dans ce cas, **la probabilité de capture est évalué pour un scénario de capture « en cascade » du groupe de gravières considéré**.

Représentation graphique proposée

L'illustration 10 présente la représentation graphique proposée (diagramme araignée) pour détailler de façon synthétique la probabilité de capture en fonction du scénario retenu.

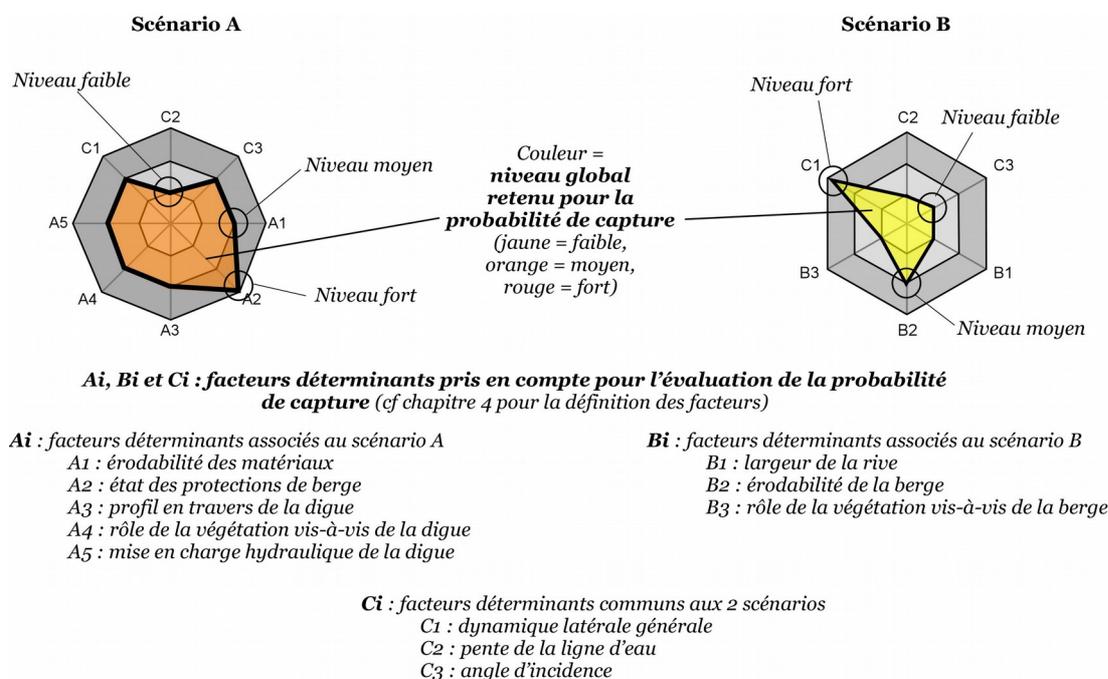


Illustration 10 – Représentation graphique synthétique proposée pour détailler la probabilité de capture en fonction du scénario retenu.

Méthode d'évaluation du délai

Le phénomène de capture est plus ou moins probable **sur un délai à plus ou moins long terme**. En complément de la probabilité d'occurrence, la caractérisation de l'aléa de capture nécessite d'évaluer ce délai.

Un délai évalué à dire d'expert

Pour la méthodologie proposée, il s'agit du **délai significatif à l'intérieur duquel la connexion peut se produire**. Ce délai est évalué à dire d'expert.

Échelle à 3 niveaux considérée pour le délai

Il est retenu pour la méthodologie proposée une échelle de délai à 3 niveaux :

- **court terme** : la connexion est **probable lors de la prochaine crue morphogène** (crue de période de retour décennale) ;
- **moyen terme** : la connexion est **probable suite à plusieurs crues morphogènes** ou une **crue centennale** ;
- **long terme** : la connexion ne se fera qu'**après plusieurs crues centennales**.

Une caractérisation de l'aléa basée sur le croisement de la probabilité et du délai d'occurrence

La méthodologie de caractérisation de l'aléa de capture est analogue à celle définie pour les études d'aléa lié aux éboulements (LCPC, 2004).

Une matrice d'évaluation de l'aléa croisant probabilité et délai d'occurrence

La méthodologie consiste, une fois évalués la probabilité et le délai d'occurrence de la capture, à croiser ces deux composantes à l'aide d'une **matrice d'évaluation de l'aléa**.

Cette matrice d'évaluation est présentée au Tableau 1.

Une matrice d'évaluation de l'aléa croisant probabilité et délai d'occurrence (suite)

Il est à noter que dans les cas de gravières dont la probabilité de capture est faible, et qui sont très éloignées du lit mineur ou situées sur une terrasse ancienne, l'aléa peut être qualifié de négligeable. Cela conduira par la suite à qualifier le risque comme étant négligeable.

Tableau 1 : matrice d'évaluation de l'aléa de capture

Niveau de l'aléa de capture		Probabilité de capture			
		Fort	Moyen	Faible	
Délai de capture	Court terme	Très fort	Fort	(cas non prévu)	Négligeable
	Moyen terme	Fort	Moyen	Faible	
	Long terme	Moyen	Faible	Faible	

Échelle à 4 niveaux considérée pour l'aléa

L'aléa de capture est évalué sur une échelle de 1 à 4, auquel il peut être ajouté un niveau "0" correspondant à un aléa négligeable :

- 0 = **négligeable**
- 1 = **faible**
- 2 = **moyen**
- 3 = **fort**
- 4 = **très fort**

Cette déclinaison à 4 niveaux d'aléa (hors aléa négligeable) correspondant à des délais différents est généralement exploitée pour apporter la meilleure réponse face au risque : action rapide pour les classes de délais les plus courts et les enjeux les plus forts, programmation d'actions préventives pour les délais les plus longs (LCPC, 2004).

Mise en garde sur les compétences du praticien

Pour une bonne mise en œuvre de la méthodologie, qui relève en grande partie du jugement d'expert, il est hautement souhaitable que la personne en charge de l'étude soit un praticien confirmé (LCPC, 2004).

Méthodologie de caractérisation des enjeux

Un enjeu de préservation de la continuité sédimentaire...

De manière analogue à l'étude de la DREAL Centre (2015), l'enjeu retenu dans le cadre de la présente méthodologie est l'**enjeu de préservation de la continuité sédimentaire**. Le transport solide est en effet l'un des éléments majeurs du bon fonctionnement des hydrosystèmes fluviaux (Malavoi et al., 2011). Les enjeux associés, en termes de fonctionnement hydromorphologique et de bon état écologique d'un cours d'eau, sont rappelés au chapitre 1 (contexte hydromorphologique).

Méthodologie de caractérisation de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire

À l'instar de l'étude de la DREAL Centre (2015), l'enjeu retenu est celui du **piégeage de la charge de fond** et de l'**érosion progressive ou régressive engendrée par une capture** du lit mineur d'un cours d'eau par une gravière.

Caractérisation basée sur une approche quantitative

Le dysfonctionnement sédimentaire est issu du piégeage de la charge de fond, apprécié à partir du **nombre d'années d'interception de la charge sédimentaire par la fosse d'extraction** créée par l'exploitation de la gravière.

L'évaluation de l'enjeu est effectuée par comparaison entre :

- le **volume de sédiments grossiers charriés annuellement** par le cours d'eau
- et le **volume pouvant être piégé par la fosse d'extraction** de la gravière.

Cette comparaison conduit à estimer le **nombre d'années d'interception de la charge de fond** par une gravière ayant capturé le lit mineur d'un cours d'eau.

Estimation du volume de sédiments grossiers charriés annuellement par un cours d'eau

Les formules de calcul du transport solide au droit des gravières ne peuvent être appliquées en l'absence de données d'entrée précises (par exemple, diamètre médian D50 des sédiments ou information sur la présence d'armure ou de pavage).

Pour la méthodologie proposée, il a donc été retenu le principe d'utiliser les **estimations du charriage annuel de sédiments** synthétisées dans l'étude de la DREAL Centre (2015). Trois

estimations de charriage annuel de l'Allier sont disponibles entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier :

- estimation d'environ **3000 m³/an** à partir du suivi réalisé sur la gravière de Chappe (commune d'**Auzon** en Haute-Loire) par J.L. Peiry (UMR GEOLAB, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand) ;
- estimation moyenne de **9000 m³/an** au niveau de la commune de **Parentignat** (VEODIS3D, 2011) ;
- estimation moyenne de **50000 m³/an** au niveau d'un secteur **en amont de Saint-Yorre** (DYNAMIQUE HYDRO, 2011).

À partir de ces estimations ponctuelles, la DREAL Centre propose des **tendances d'évolution du charriage annuel de l'Allier entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier**. Ces tendances d'évolutions sont synthétisées sur l'illustration 11. Les limites associées à ces tendances sont précisées dans l'étude de la DREAL Centre (2015).

Estimation du volume piégeable par la gravière

Pour la méthodologie proposée, il a été retenu de considérer que **le volume piégeable par la gravière correspond au volume de la fosse d'extraction situé sous la cote du fond du lit du cours d'eau**.

L'estimation de ce volume nécessite une connaissance précise de la bathymétrie de la fosse d'extraction et du lit de l'Allier au droit de la fosse d'extraction. Celle-ci peut être connue via :

- l'exploitation des données d'archives,
- le recueil d'informations auprès des propriétaires,
- la réalisation de levés bathymétriques.

Si aucune information n'est disponible, il est considéré une profondeur moyenne comprise entre une valeur minimale de 3 m et une valeur maximale de 7 m (valeur pessimiste allant dans le sens de la sécurité, dans la mesure où elle conduit à surévaluer l'enjeu).

Le **volume piégeable** est estimé à partir de la **profondeur moyenne de la fosse d'extraction sous le fond du lit mineur du cours d'eau** et de la **surface en eau de la gravière** (estimation à l'aide d'un logiciel SIG).

Toutefois, comme le rappelle la DREAL Centre (2015), même lorsque le comblement d'une fosse d'extraction de gravière aura permis au fond du lit du cours d'eau de retrouver un niveau topographique proche de celui observé avant la capture, la continuité sédimentaire ne sera pas totalement rétablie du fait de l'impact de la sur-largeur du lit. La « cicatrisation » du cours d'eau sera totale lorsque la continuité sédimentaire sera rétablie, c'est-à-dire lorsqu'on aura retrouvé un niveau topographique du fond du lit et une largeur de lit proche de l'état initial. Le volume pouvant être capturé par la gravière correspond donc approximativement au volume en eau de la fosse d'extraction de la gravière, en conditions moyennes (Illustration 12).

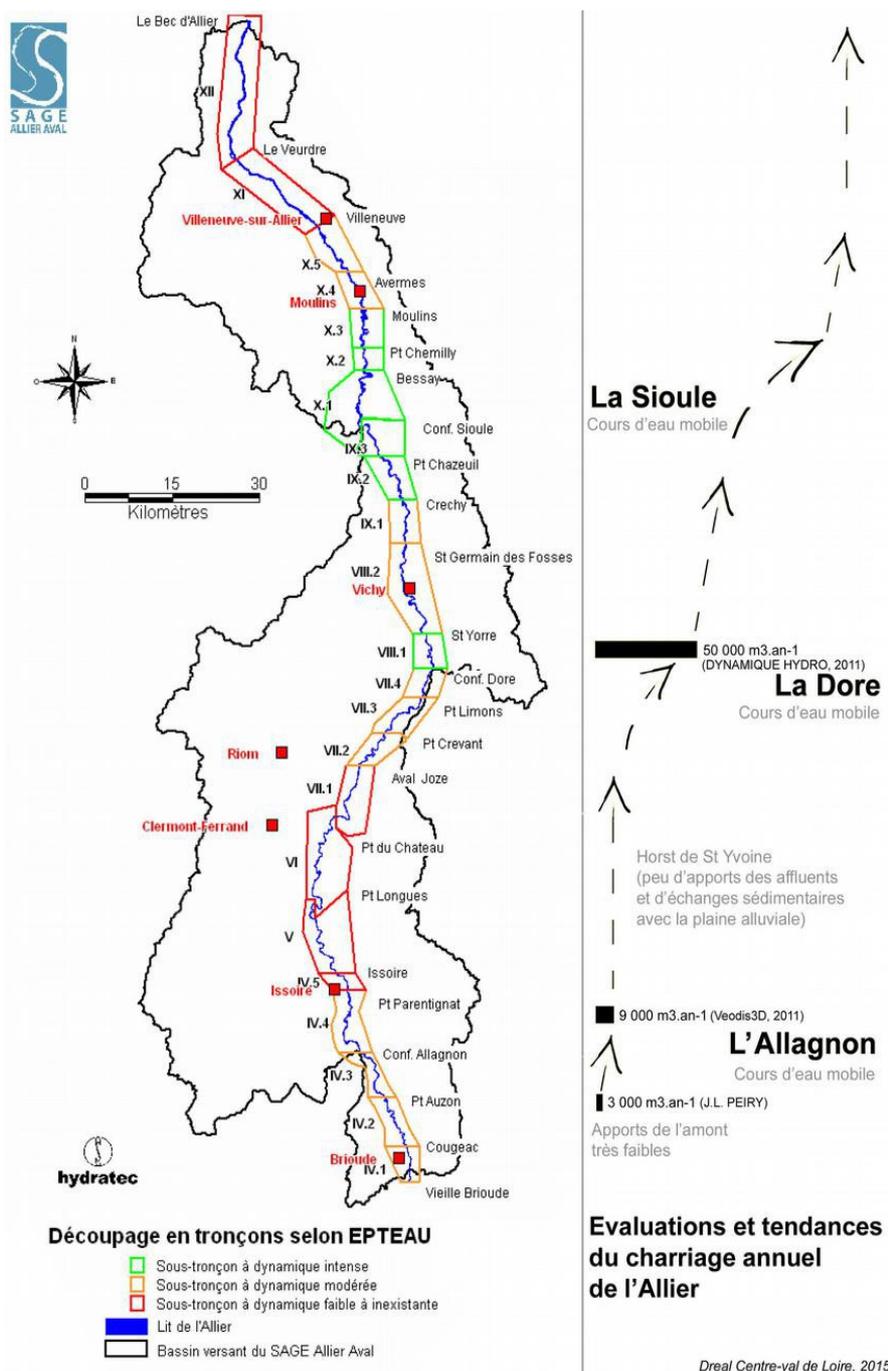


Illustration 11 – Évaluations et tendances du charriage annuel de l'Allier, extrait de l'étude de la DREAL Centre (2015)

Estimation du volume piégeable par la gravière (suite)

Ainsi, la méthodologie proposée permet, pour les gravières présentant une surface en eau importante, de prendre en compte le phénomène de capture par sédimentation de la charge alluviale lié à l'élargissement brutal du nouveau lit en cas de capture. Dans ce cas, le volume piégeable doit être estimé à partir de la profondeur moyenne de la fosse d'extraction (profondeur en eau de la gravière, estimée à partir des données bathymétriques) et de la surface en eau de la gravière (estimation à l'aide d'un logiciel SIG).

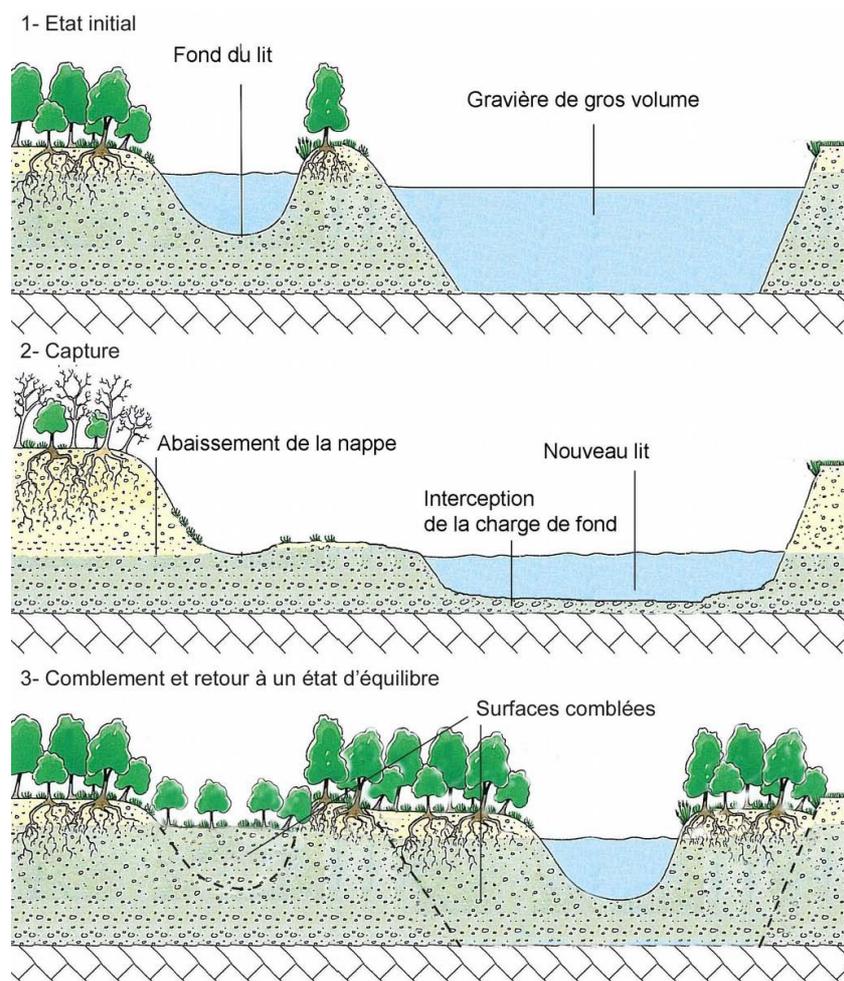


Illustration 12 – Comblement suite à la capture du cours d'eau par une gravière plus profonde que le fond du lit de ce cours d'eau (extrait de DREAL Centre (2015), adapté de FRANE (2008))

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'enjeu L'enjeu est associé au **nombre d'années d'interception de la charge de fond** par une gravière ayant capturé le lit mineur d'un cours d'eau.

Pour la méthodologie proposée, il est retenu une hiérarchisation de l'enjeu à 3 niveaux :

- un enjeu **faible** en dessous de 2 années d'interception de la charge de fond,
- un enjeu **moyen** lorsque ce nombre d'années est compris entre 2 et 30 années,
- un enjeu **fort** lorsque le nombre d'années d'interception de la charge de fond est supérieur à 30 ans.

Le Tableau 2 présente de façon synthétique cette hiérarchisation à 3 niveaux de l'enjeu.

Tableau 2: caractérisation de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire

Enjeu	Nombre d'années d'interception de la charge sédimentaire
FORT	> 30 ans
MOYEN	2 < nombre d'années < 30
FAIBLE	< 2 ans

Les enjeux complémentaires

Le dysfonctionnement sédimentaire engendré par une capture peut également avoir des impacts sur d'autres enjeux que la préservation du transport des sédiments grossiers. En effet, de nombreux milieux, infrastructures ou usages peuvent être fortement altérés par les processus d'incision associés au phénomène de capture, qui vont parfois jusqu'à la disparation totale du substrat alluvial (Malavoi et al., 2011).

Ouvrages anthropiques

Cet enjeu correspond à la préservation des ouvrages anthropiques (ouvrages d'art, digues, protections de berges associées), situés à l'amont ou à l'aval d'une gravière, face au risque d'affouillement engendré par l'érosion régressive ou progressive liée à une capture (Illustration 13).

L'enjeu est également économique, dans la mesure où ces ouvrages sont très coûteux à reconstruire ou à sur-protéger.

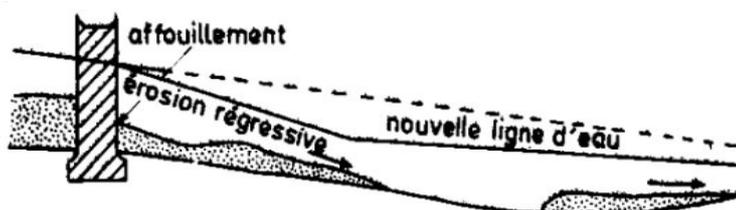


Illustration 13 – Schéma illustrant l'affouillement d'un ouvrage par érosion régressive

Captages L'incision du lit de la rivière engendre également un abaissement de la ligne d'eau de la rivière (Illustration 13) et de sa nappe d'accompagnement (Illustration 14). Les captages d'eaux superficielles ou souterraines, et notamment les captages d'eau potable en nappe alluviale, peuvent être fortement perturbés.

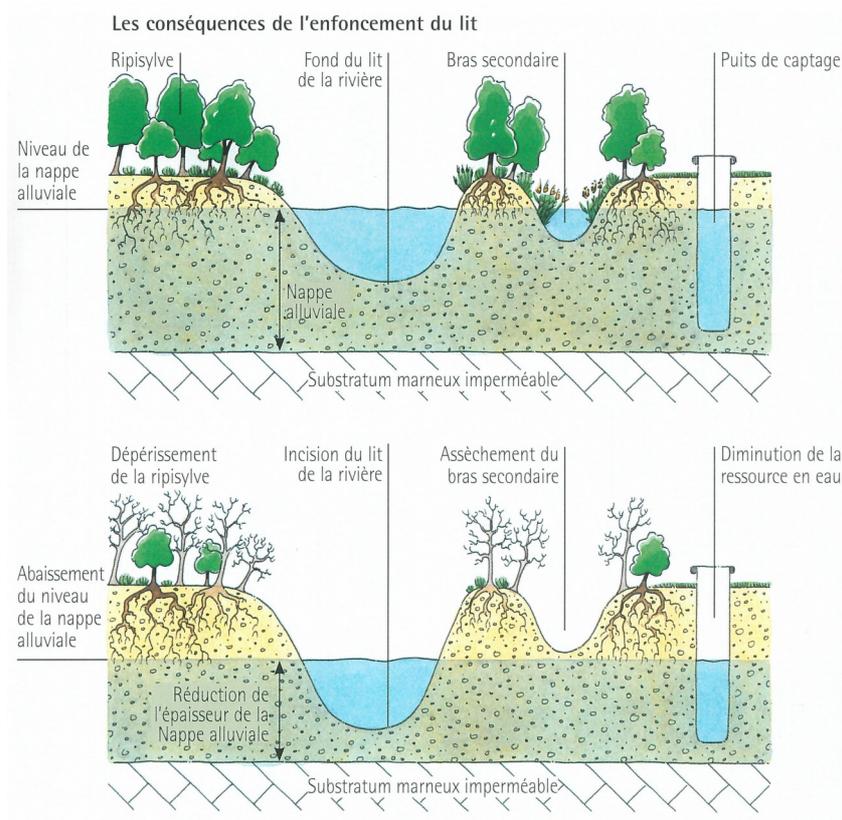


Illustration 14 – conséquences de l'enfoncement du lit d'un cours d'eau (FRANE, 2008)

Milieux naturels L'incision d'un cours d'eau liée à une capture peut également avoir un impact sur les milieux naturels du lit mineur (les alluvions inondées et exondées étant un habitat majeur pour la faune et la flore) et du lit majeur (bras morts notamment, qui peuvent se retrouver asséchés ou déconnectés).

Prise en compte des enjeux complémentaires Pour l'analyse des enjeux, il est proposé de **prendre en compte la présence de ces enjeux complémentaires**, et notamment des enjeux suivants :

- champs captants,
- infrastructures de transport,
- zones sensibles (habitat, activités, etc).

La prise en compte de ces enjeux pourra se traduire par une **augmentation du niveau de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire**.

Méthodologie d'évaluation du risque

Le risque de dysfonctionnement sédimentaire, croisement de l'aléa de capture et de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire

Le **risque de dysfonctionnement sédimentaire** considéré dans la méthodologie proposée correspond au **croisement** :

- de l'**aléa de capture**, estimé à partir de la probabilité d'occurrence de capture évaluée de façon qualitative après analyse des facteurs déterminants, ainsi que du délai d'occurrence ;
- de l'**enjeu de préservation de la continuité sédimentaire**, pondéré éventuellement par des **enjeux complémentaires** liés au dysfonctionnement sédimentaire induit par la capture.

Une évaluation dépendante du scénario de capture

L'illustration 15 présente de façon synthétique sous la forme d'un logigramme la méthodologie d'évaluation du risque.

L'évaluation du risque dépend du scénario de capture considéré. En effet, la caractérisation de l'aléa est dépendante des facteurs déterminants (cf chapitre 4), dont certains sont propres au scénario de capture considéré (avec digue (A) ou sans digue (B)).

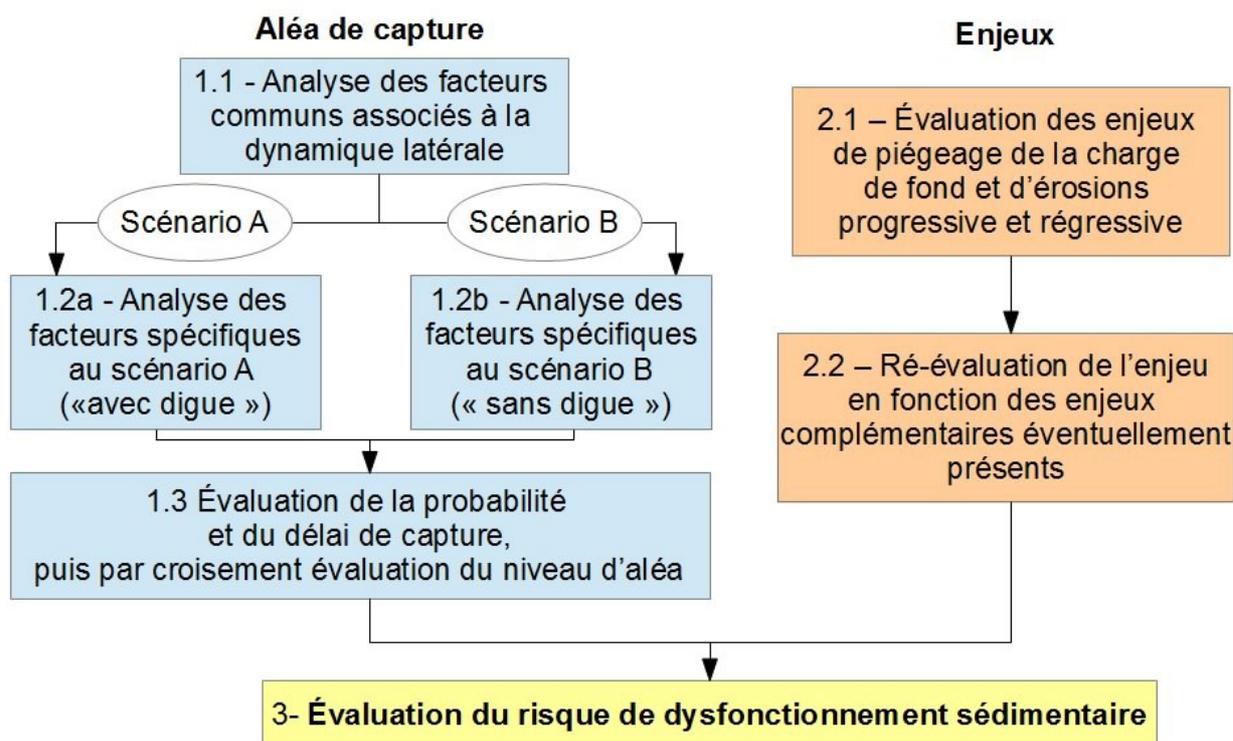


Illustration 15 – Méthodologie d'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire

Une matrice d'évaluation du risque croisant aléa et enjeu Pour l'évaluation du risque, la méthodologie consiste à croiser les niveaux d'aléa et d'enjeu à l'aide d'une **matrice d'évaluation du risque**. Cette matrice d'évaluation est présentée au Tableau 3.

Tableau 3 : évaluation du niveau de risque

Niveau de risque de dysfonctionnement sédimentaire		Aléa de capture				
		Très Fort	Fort	Moyen	Faible	Négligeable
Enjeu(x)	Fort(s)	Très fort	Très fort	Fort	Moyen	Négligeable
	Moyen(s)	Fort	Fort	Moyen	Faible	
	Faible(s)	Moyen	Moyen	Faible	Faible	

Échelle à 4 niveaux considérée pour le risque Le risque de dysfonctionnement sédimentaire est apprécié sur une échelle de 1 à 4, à laquelle il peut être ajouté un niveau "0" correspondant à un risque négligeable :

- 0 = négligeable
- 1 = faible
- 2 = moyen
- 3 = fort
- 4 = très fort

Représentation graphique proposée L'illustration 16 présente la représentation graphique proposée pour détailler de façon synthétique le risque de dysfonctionnement sédimentaire en fonction du scénario retenu.

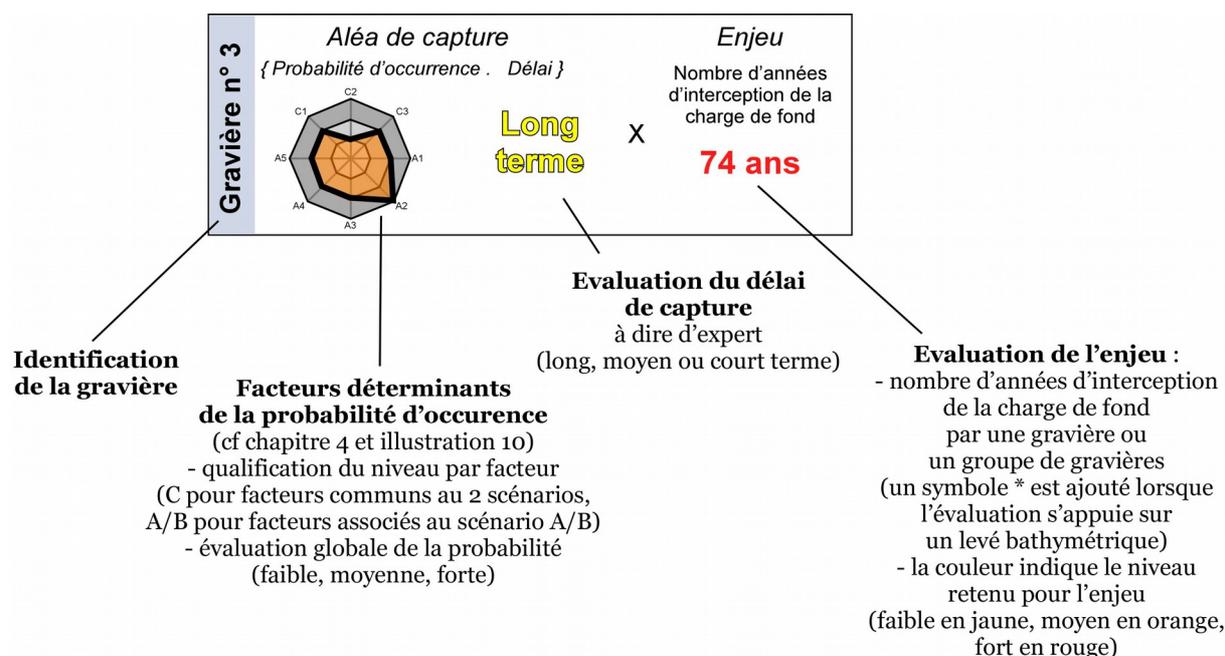


Illustration 16 – Représentation graphique synthétique proposée pour détailler l'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire associé à une capture en fonction du scénario retenu

4- Description des facteurs déterminants

Une probabilité de capture évaluée qualitativement sur la base de facteurs déterminants

La probabilité d'occurrence de la capture est évaluée qualitativement sur la base de **facteurs déterminants**, ces facteurs constituant les **paramètres fondamentaux favorisant le phénomène de capture**. C'est la **conjugaison de ces différents facteurs** qui est considérée pour **qualifier la probabilité d'occurrence** de la capture.

Les facteurs déterminants peuvent être :

- **communs aux deux scénarios** : ces facteurs ont trait à la dynamique latérale générale ;
- **spécifiques au scénario de capture considéré** : « avec digue » (scénario A) ou « sans digue » (scénario B).

Les facteurs déterminants sont notamment associés aux **variables de contrôle hydromorphologique** (pente, granulométrie des berges conditionnant leur érodabilité, végétation).

Les facteurs communs analysés pour les 2 scénarios

Au nombre de 3, ils ont trait à la dynamique du cours d'eau :

- **la dynamique latérale générale (C1),**
- **la pente de la ligne d'eau (C2),**
- **l'angle d'incidence (C3).**

Cinq facteurs déterminants analysés dans le cadre du scénario A « avec digue »

En complément des 3 facteurs communs, l'évaluation de la probabilité de capture s'appuie sur l'analyse de 5 facteurs déterminants propres au scénario A « avec digues » :

- **l'érodabilité des matériaux (A1) ;**
- **l'état des protections de berge (A2) ;**
- **le profil en travers, incluant le franc-bord (A3) ;**
- **le rôle de la végétation vis-à-vis de la digue (A4) ;**
- **la mise en charge hydraulique de la digue (A5).**

Trois facteurs déterminants analysés dans le cadre du scénario B « sans digue »

En complément des 3 facteurs communs, l'évaluation de la probabilité de capture s'appuie sur l'analyse de 3 facteurs déterminants propres au scénario B « sans digues » :

- **la largeur de la rive (B1) ;**
- **l'érodabilité de la berge, incluant l'état des protections éventuelles (B2) ;**
- **le rôle de la végétation vis-à-vis de la berge (B3).**

Avantages et limites de la méthode

L'évaluation qualitative de la probabilité d'occurrence de la capture basée sur plusieurs facteurs déterminants présente des avantages et un certain nombre de limites, qui sont identifiés ci-dessous.

Avantages

Cette approche permet d'intégrer plusieurs facteurs déterminants, dont certains peuvent se compléter afin de traduire un même caractère (exemple de la dynamique latérale et de l'érodabilité des

matériaux qui vont traduire le pouvoir d'érosion du cours d'eau sur la berge), renforçant ainsi la robustesse de l'évaluation qualitative.

Cette méthodologie permet de plus d'estimer une probabilité de capture même en cas d'absence de données relatives à un facteur (ainsi l'impossibilité de connaître la nature et cohésion des matériaux de la digue ne remet pas en cause la faculté à évaluer une probabilité de connexion).

Limites Cette approche est souvent basée sur une évaluation à « dire d'expert » car tous les facteurs ne peuvent être quantifiés.

Pour une bonne mise en œuvre de la méthodologie, il est donc hautement souhaitable que la personne en charge de l'étude soit un praticien confirmé (LCPC, 2004).

Par ailleurs, lors de l'application de cette méthode, il est souhaitable que cette méthodologie soit appliquée par deux ou trois opérateurs distincts pour comparer les résultats.

Enfin, il est également souhaitable que les opérateurs appliquant la méthodologie soient confrontés à l'exercice sur plusieurs gravières, de façon à « étalonner » leur évaluation qualitative.

Facteurs déterminants communs aux deux scénarios

La dynamique latérale générale

L'appréciation de ce facteur déterminant est qualitative. Elle s'appuie sur des données bibliographiques, sur l'analyse des photographies aériennes de l'IGN et des prises de vues aériennes du CEN Auvergne (Conservatoire des Espaces Naturels), ainsi que sur des observations de terrain.

La bibliographie Dans son ouvrage « Découpage de l'Allier en tronçons géomorphologiques homogènes », Malavoi (1998) définit pour chaque tronçon hydromorphologique de l'Allier un degré d'érosion latérale selon 3 niveaux (faible, moyen et fort).

Dans le cadre de la méthodologie proposée, l'appréciation de la dynamique latérale intègre l'information relative au degré d'érosion latérale du tronçon hydromorphologique défini par Malavoi (1998) auquel le site étudié appartient.

Les photographies aériennes de l'IGN

Les photographies aériennes sont disponibles sur le site GEOPORTAIL de l'IGN. Les photographies anciennes permettent une analyse :

- diachronique de l'évolution de la forme en plan du tronçon (par intercomparaison de photographies, exemple sur l'illustration 17) ;
- de la mobilité des méandres et des bancs du tronçon ;
- de l'évolution du linéaire du tronçon.

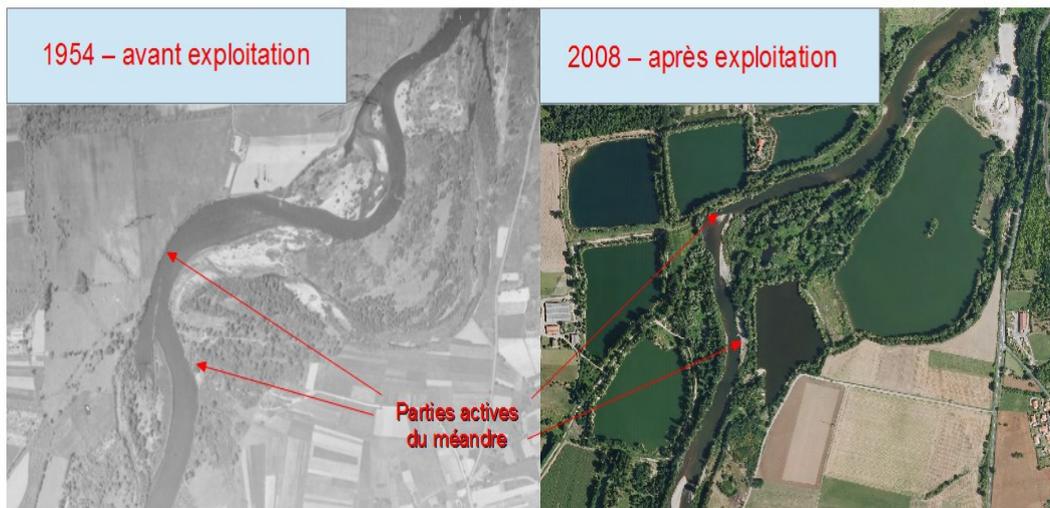


Illustration 17 – repérage de secteurs soumis à dynamique latérale – gravières de l'île de Mirefleurs.
Photographies aériennes de l'IGN de 1954 et 2008

**Les photographies
aériennes obliques
de la DIREN
Auvergne et du CEN**

Ces photographies réalisées pendant la crue de 2003 ou après la crue de 2005 permettent de visualiser d'éventuels écoulements hors du lit mineur ou des anses d'érosion en cours de constitution (exemple sur l'illustration 18).



Illustration 18 – gravière de pont Lamothe après la crue de 2005 : vue d'une anse d'érosion dans la digue, reconstruite depuis.
Photographie oblique de 2005 du CEN Auvergne (J. Saillard)

Les visites de terrain Les observations faites lors de visites de terrain permettent d'identifier des anses ou des traces d'érosion (exemple sur l'illustration 19) ou des berges dévégétalisées, témoignant de la dynamique latérale du cours d'eau.

Les observations portent également sur la granulométrie (analyse qualitative possible) et l'érodabilité des matériaux des berges.



Illustration 19 – anse d'érosion au pont de Chazeuil (photographie Cerema – mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux de la dynamique latérale générale L'évaluation qualitative de ce facteur déterminant s'appuie sur une analyse globale à dire d'expert des données précédemment décrites. Une hiérarchisation à 3 niveaux (dynamique latérale faible, moyenne ou forte) est considérée. Le Tableau 4 décrit les informations utiles à la qualification de ce facteur.

Tableau 4 : qualification du facteur relatif à la dynamique latérale

Aucun indice de dynamique latérale	Indices d'érosion des berges	Indices d'érosion des berges et indices de modification du tracé en plan du cours d'eau révélés par analyse diachronique
Faible	Moyen	Fort

Pente de la ligne d'eau

Ce facteur déterminant est proposé en tant qu'**indicateur de la puissance spécifique** du cours d'eau. Une **pente de ligne d'eau élevée** favorisera une puissance spécifique élevée du cours d'eau, ce qui se traduira par une **capacité à éroder importante**.

Profil en long de la ligne d'eau levé par GPS

Le profil en long de la ligne d'eau peut être relevé à l'aide d'un GPS. La précision altimétrique requise doit être dans la mesure du possible centimétrique. Sur des linéaires de tronçons de cours d'eau de plusieurs centaines de mètres, une précision altimétrique décimétrique à pluridécimétrique (30 à 50 cm) peut s'avérer suffisante.

Un exemple de levé du profil en long de la ligne d'eau est donnée sur l'illustration 20.

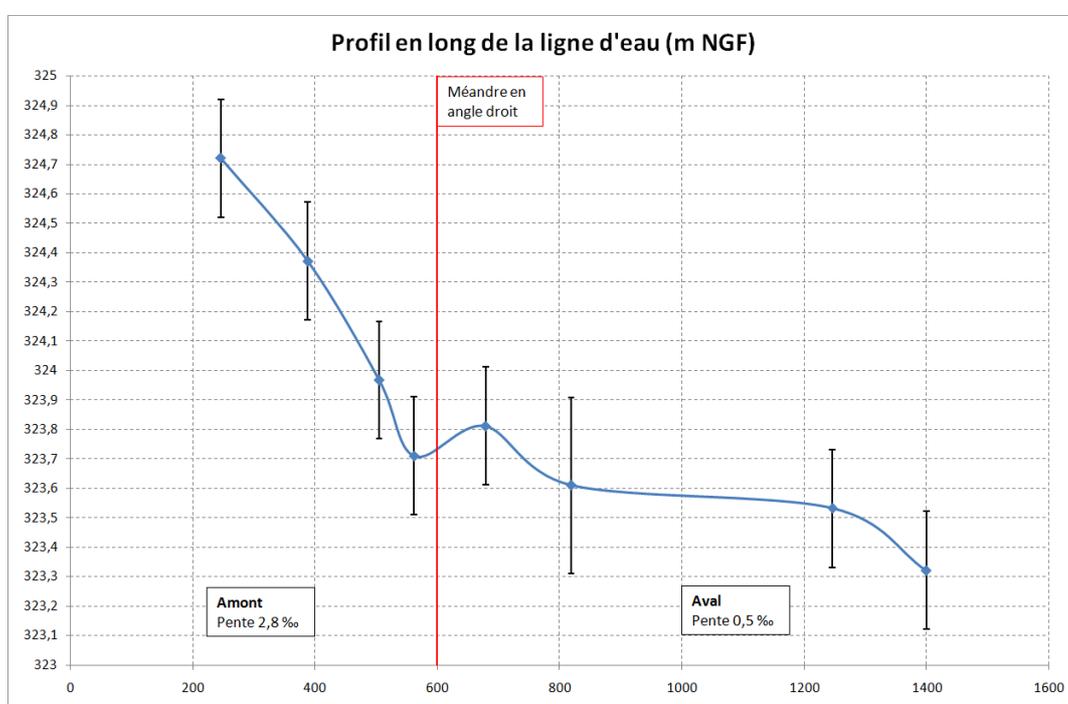


Illustration 20 – profil en long de l'Allier sur le tronçon de l'île de Mirefleurs (barres d'erreur relatives à la précision de la mesure altimétrique par GPS représentées en noir)

Une hiérarchisation à 3 niveaux de la pente de la ligne d'eau

L'évaluation de ce facteur déterminant s'appuie sur l'analyse du profil en long de la ligne d'eau du tronçon hydromorphologique considéré. Une hiérarchisation à 3 niveaux (pente faible, moyenne ou forte), dont les limites sont indiquées dans le Tableau 5, est proposée.

Tableau 5 : caractérisation du facteur "pente de la ligne d'eau"

0 < pente < 0,1 %	0,1 % < pente < 0,25 %	Pente > 0,25 %
Faible	Moyen	Fort

Angle d'incidence

Ce facteur déterminant est un indicateur relatif à la **sollicitation hydraulique pouvant engendrer une érosion** d'une berge ou d'une digue.

Une évaluation de l'angle d'incidence au droit du point de faiblesse

Il convient de mesurer l'**angle entre la berge ou la digue et l'écoulement en crue** venant solliciter la berge ou la digue **en son point de faiblesse**. Plus cet angle sera fort, plus la probabilité d'occurrence de la capture sera élevée.

Au sein du lit mineur, la rivière va présenter des sinuosités et solliciter les berges des deux rives alternativement.

Il ne faut donc pas relever l'angle entre la berge ou la digue et l'axe du lit mineur, mais bien l'**angle entre la berge et l'axe principal d'écoulement** du cours d'eau.

L'axe principal d'écoulement au droit d'une zone de faiblesse doit être **relevé lors d'une visite de terrain**. Si celles-ci sont disponibles, il est possible d'utiliser des photographies aériennes obliques prises lors d'une crue.

La mesure de l'angle d'incidence se fait directement sur photographie aérienne de l'IGN, après report de l'axe principal d'écoulement au droit de la zone de faiblesse identifiée sur la berge ou la digue.

Un exemple est présenté sur l'illustration 21.

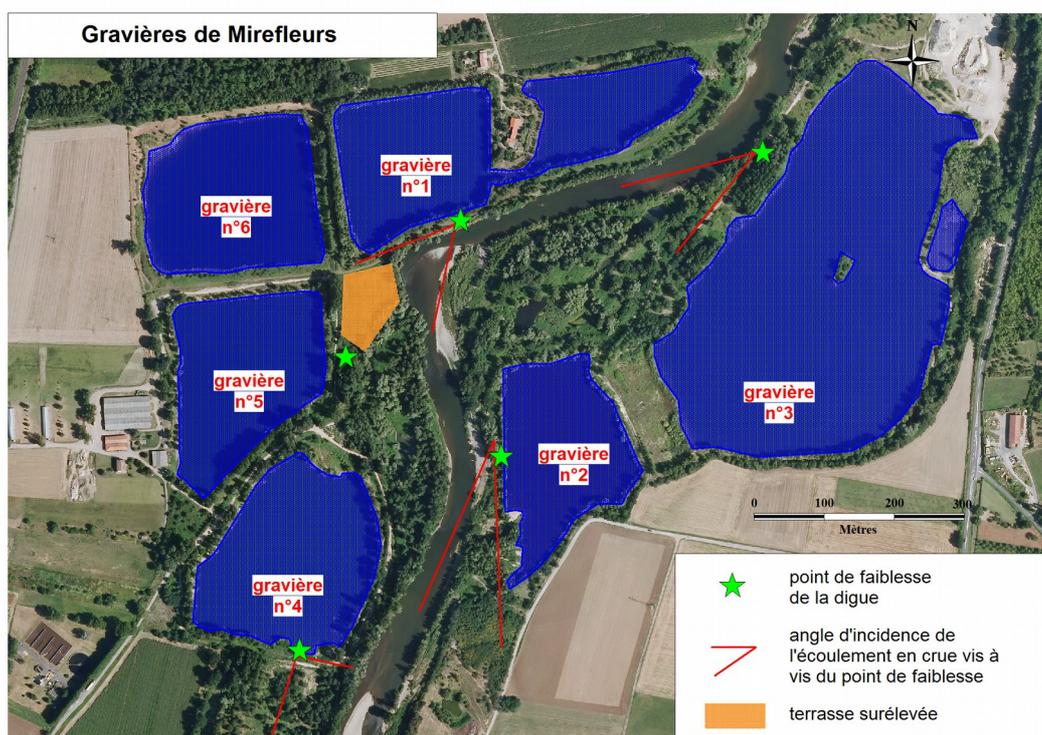


Illustration 21 – gravières de Mirefleurs : angles d'incidence et points de faiblesse

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'angle d'incidence

Le Tableau 6 présente la hiérarchisation à 3 niveaux de l'angle d'incidence (faible, moyen ou fort) retenu dans le cadre de la méthodologie proposée.

Tableau 6 : caractérisation du facteur "angle d'incidence"

angle < 15°	15° < angle < 45°	angle > 45°
Faible	Moyen	Fort

Facteurs déterminants propres au scénario A

Érodabilité des matériaux

Les caractéristiques sédimentologiques des berges conditionnent leur érodabilité, et constituent une variable de contrôle intervenant dans les processus géodynamiques (Malavoi et al., 2011). La présence de matériaux plutôt cohésifs peut se traduire par une relative résistance à l'érosion latérale (Malavoi et Bravard, 2010).

Dans le cadre du scénario A, **la nature des matériaux constitutifs des digues**, et notamment **leur cohésion**, constitue une **variable de contrôle des défaillances par érosion externe ou surverse**.

Qualification de l'érodabilité par diagnostic visuel

Dans le cadre du scénario A, l'érodabilité des matériaux constitutifs de la digue est évaluée par **diagnostic visuel des talus de la digue**. Ce diagnostic visuel est généralement effectué au droit des points de faiblesse de la digue, souvent associé à des zones érodées (exemple sur l'illustration 22). Le diagnostic visuel porte sur la **nature des matériaux constitutifs** (matériaux à dominante argileuse, limoneuse, sableuse ou graveleuse) et leur **degré de cohésion** (matériaux considérés cohésifs si prédominance d'éléments fins, ou si présence d'une matrice d'éléments fins assurant la cohésion). Par ailleurs, la cohésion des matériaux peut également être appréhendée par **analyse du profil en travers de la digue** : la verticalité de talus amont peut en effet être un indicateur de la nature cohésive des matériaux (exemple sur l'illustration 22).



Illustration 22 – talus vertical composé de matériaux fins relativement cohésifs à dominante limoneuse (photographie du Cerema – mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'érodabilité des matériaux

L'évaluation qualitative de ce facteur déterminant s'appuie sur le diagnostic visuel (nature des matériaux, degré de cohésion, verticalité du talus).

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'érodabilité des matériaux (faible, moyenne ou forte) est considérée. Le Tableau 7 décrit les caractéristiques considérées pour la qualification de ce facteur.

Tableau 7 : qualification du facteur "érodabilité des matériaux"

Matériaux argileux (extrêmement cohésifs) ou argilo-limoneux (très cohésifs)	<ul style="list-style-type: none"> Digue à limon dominant (matériaux limono-sablonneux ou sablo-limoneux) Matériaux d'apport compactés 	<ul style="list-style-type: none"> Matériaux sableux à caillouteux Matériaux d'apport non compactés
Faible	Moyen	Fort

État des protections mises en place en pied de talus de digue

Les protections mises en place en pied de talus de digue ont pour objectif de bloquer la mobilité latérale d'un cours d'eau.

Fortement sollicitées, mal ou peu entretenues, elles peuvent se trouver dans un état de dégradation plus ou moins avancé (exemple sur l'illustration 23) et ne plus remplir leur fonction.

La probabilité d'occurrence de la capture sera donc d'autant plus forte que l'état des protections sera dégradé.

Une évaluation qualitative de l'état des protections

Un inventaire et une analyse des protections de berge et des zones érodées de l'Allier entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier a été effectué en 2011 (CEPA et VEODIS3D, 2011).

L'évaluation qualitative de l'état des protections s'appuie sur les résultats de l'inventaire de 2011. **La typologie proposée par le CEPA et Veodis3D en 2011 a été conservée** (distinction notamment des enrochements agencés, des enrochements en vrac, des épis, des remblais de gravats grossiers, moyens ou de matériaux fins). Au droit des gravières étudiées, **une visite de terrain a permis de vérifier et de compléter éventuellement l'inventaire de 2011.**

En ce qui concerne l'état des protections, des critères analogues à ceux définis pour chaque type de protection par CEPA et Veodis3D (2011) ont été retenus (pour les enrochements, critère de pourcentage de blocs manquants et déplacés ; pour les autres types de protection, critères de présence/absence). L'évaluation qualitative de l'état des protections est effectué par **diagnostic visuel lors d'une visite de terrain**. Le diagnostic visuel peut être complété par **l'analyse de photographies aériennes**.



Illustration 23 – enrochements déchaussés en pied de digue sur le secteur de l'île de Mirefleurs (photographie du Cerema de mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'état des protections La hiérarchisation à 3 niveaux de l'état des protections mises en place en pied de talus de digue (bon, moyen, mauvais) est décrit dans le Tableau 8.

Tableau 8 : qualification du facteur "état des protections"

Protections de talus en bon état	Protections de talus en état dégradé	<ul style="list-style-type: none"> Absence de protections Protections de talus très fortement dégradées
Bon	Moyen	Mauvais

Profil en travers de la digue

Un **profil en travers étroit** représente un **facteur défavorable** vis-à-vis des modes de défaillance (érosion externe ou surverse) et peut également favoriser d'autres mécanismes de rupture (érosion interne). La probabilité d'occurrence de la capture est d'autant plus élevée que le profil en travers de la digue sera étroit.

Analyse du rapport L/H

L'évaluation de ce facteur déterminant s'appuie sur les mesures et constats suivants, réalisés lors d'une visite de terrain :

- estimation de la largeur en crête de la digue et des pentes des

talus,

- estimation de la différence de cote altimétrique entre le niveau d'eau côté gravière et côté Allier et la crête de la digue,
- vérification de la présence ou de l'absence d'un franc-bord.

La méthodologie proposée consiste à évaluer un **critère de première appréciation de la stabilité d'une digue** de protection contre les inondations (Mériaux et al., 2004). L'évaluation se base ainsi sur la valeur du rapport L/H, avec :

- L la largeur de la digue à sa base (on considère que la base est située au niveau du plan d'eau de la gravière),
- H la hauteur de la digue (on considère que la hauteur correspond à la différence de cote altimétrique entre le niveau du plan d'eau de la gravière et la crête de la digue).

La digue est considérée stable, et donc son **profil en travers adapté, lorsque le rapport L/H est supérieur à 8** (Mériaux et al., 2004).

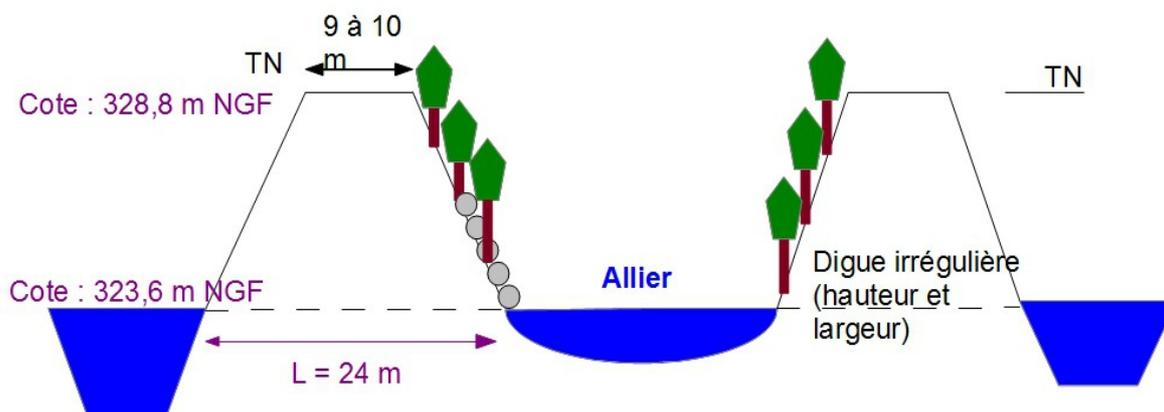


Illustration 24 – exemple d'évaluation du rapport L/H

Une hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé au profil en travers de la digue

La hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé au profil en travers de la digue (profil en travers adapté, moyennement adapté ou mal adapté), présentée dans le Tableau 9, s'appuie donc sur les critères du rapport L/H et de la présence ou non d'un franc-bord.

Tableau 9 : caractérisation du facteur "profil en travers"

<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'un franc-bord • L/H > 8 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de franc-bord • L/H > 8 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de franc-bord • L/H < 8
Adapté	Moyennement adapté	Mal adapté

Rôle de la végétation vis-à-vis de la digue

Le fonctionnement de la digue lors d'une crue est **similaire au fonctionnement d'une digue de protection contre les inondations**. Dans ce cas, la végétation (présente sur le franc-bord, sur les talus ou sur la crête) peut avoir un **rôle à la fois favorable et défavorable vis-à-vis des mécanismes d'érosion externe**.

Un rôle globalement favorable...

La végétation ligneuse peut avoir un rôle favorable, dans la mesure où son réseau racinaire contribue au renforcement mécanique de la digue.

... mais localement défavorable

La végétation (arbres situés sur le franc bord ou sur le talus de la digue) peut toutefois avoir localement un rôle défavorable :

- en provoquant des tourbillons lors des crues (Degoutte, 2006), favorisant ainsi l'érosion de la digue ;
- en basculant à la suite d'un affouillement par le cours d'eau ou à une tempête (Degoutte, 2006), engendrant des encoches d'érosion pouvant évoluer en zone d'érosion ;
- par fragilisation de la digue via le chevelu racinaire (décompaction locale, création de conduits lors de la décomposition des racines), pouvant initier un processus d'érosion interne.

Rôle défavorable retenu pour le scénario A

Comme évoqué ci-dessus, la situation considérée dans le cadre du scénario A est comparable à celle d'une digue de protection contre les inondations. Dans ce cas, **le rôle de la végétation est généralement considéré défavorable**, compte-tenu de la probabilité élevée de rupture par des mécanismes d'érosion impliquant la végétation (érosion externe, affouillement, érosion interne).

L'évaluation du rôle de la végétation s'appuie sur un **diagnostic visuel lors d'une visite de terrain**, permettant de constater la **présence ou non de végétation** (exemple sur l'illustration 25), sa **nature** (arborée, arbustive, herbacée) ainsi que ses **caractéristiques** (dimension, état général et inclinaison des arbres, position sur le franc-bord ou sur la digue).

Le diagnostic visuel peut également être complété par une **analyse de photographies aériennes**.



Illustration 25 – absence de végétation et matériaux à nus au point de faiblesse de la digue d'une gravière de l'île de Mirefleurs (photographie du Cerema de mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux du rôle de la végétation

Une hiérarchisation à 3 niveaux du rôle de la végétation (positif ou neutre, défavorable, très défavorable) est considérée. Le Tableau 10 décrit les caractéristiques considérées pour l'évaluation qualitative de ce facteur déterminant.

Tableau 10 : qualification du facteur "rôle de la végétation" pour le scénario A

Présence de couverture herbacée	Présence de ligneux (en état)	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux à nu • Présence seule d'arbustes (chevelu racinaire peu développé) • Présence de ligneux de grande taille morts ou en position inclinée
Positif ou neutre	Défavorable	Très défavorable

Mise en charge hydraulique

Au droit d'une gravière, la charge hydraulique s'appliquant à une digue correspond à la différence de niveau d'eau entre le cours d'eau et le plan d'eau de la gravière.

Une digue est mise en charge hydraulique en cas de crue. En cas de surverse de la digue, la perte de charge peut occasionner une érosion régressive de surface, d'autant plus forte que la charge hydraulique est élevée.

La probabilité d'occurrence de la capture sera donc d'autant plus forte que la mise en charge hydraulique de la digue (ou que la perte de charge en cas de surverse) sera élevée.

Qualification du facteur déterminant L'évaluation de ce facteur déterminant s'effectue de la façon suivante :

- l'occurrence de la crue provoquant la surverse de la digue est tout d'abord estimée ;
- cette estimation est pondérée de manière positive (P) ou négative (N) en fonction des critères suivants :
 - présence d'une digue plus haute en rive opposée (N) ;
 - présence de points bas non renforcés (N) ;
 - présence d'un déversoir permettant de limiter la perte de charge en cas de surverse (P) – exemple sur l'illustration 26 ;
 - digue aménagée pour être submersible et présentant des renforcements en crête (P),
 - connexion aval existante (P).



Illustration 26 – présence d'un déversoir aval sur une digue surversée lors de la crue 2003 sur le secteur de l'île de Mirefleurs (photographie du Cerema de mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé à la mise en charge Une hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé à la mise en charge de la digue (potentiellement faible à modérée, potentiellement élevée, potentiellement très élevée) est considérée. Le Tableau 11 décrit les caractéristiques considérées pour l'évaluation qualitative de ce facteur déterminant.

Tableau 11 : caractérisation du paramètre "mise en charge"

<ul style="list-style-type: none"> Présence d'un déversoir ou d'une connexion aval Occurrence de la crue de surverse < 10 ans 	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'un déversoir Occurrence de la crue de surverse > 10 ans 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de déversoir / digue submersible Occurrence de la crue de surverse > 10 ans
Potentiellement faible à modérée	Potentiellement élevée	Potentiellement très élevée

Facteurs déterminants propres au scénario B

Largeur de la rive Dans le scénario B « sans digue », la **largeur de rive** correspond à la **distance entre le lit mineur et la gravière**. Cette largeur de rive constitue une variable de contrôle des défaillances par érosion de berge concave ou par érosion régressive du chenal de chute.

Une évaluation par analyse diachronique L'évaluation de ce facteur déterminant s'effectue de la façon suivante :

- sur la base d'une estimation des vitesses d'érosion par analyse diachronique des photographies aériennes, afin d'estimer la durée d'érosion de la rive (exemple sur l'illustration 27) ;
- ou sur la base d'indicateurs relevés sur le terrain (traces d'érosion de la rive), qui peuvent éventuellement être aussi pris en compte pour pondérer l'évaluation faite sur la base des vitesses d'érosion.

Une hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé à la largeur de la rive Une hiérarchisation à 3 niveaux du facteur déterminant associé à la largeur de la rive (durée d'érosion importante, moyenne ou faible) est présentée dans le Tableau 12.

Tableau 12 : caractérisation du facteur "largeur de la rive"

Durée d'érosion > 30 ans (degré d'évaluation considéré non possible sur la seule base d'indicateurs relevés sur le terrain)	10 ans < durée d'érosion < 30 ans (ou pas ou peu de traces d'érosion de la rive relevées sur le terrain)	Durée d'érosion < 10 ans (ou nombreuses traces d'érosion de la rive relevées sur le terrain)
Importante	Moyenne	Faible

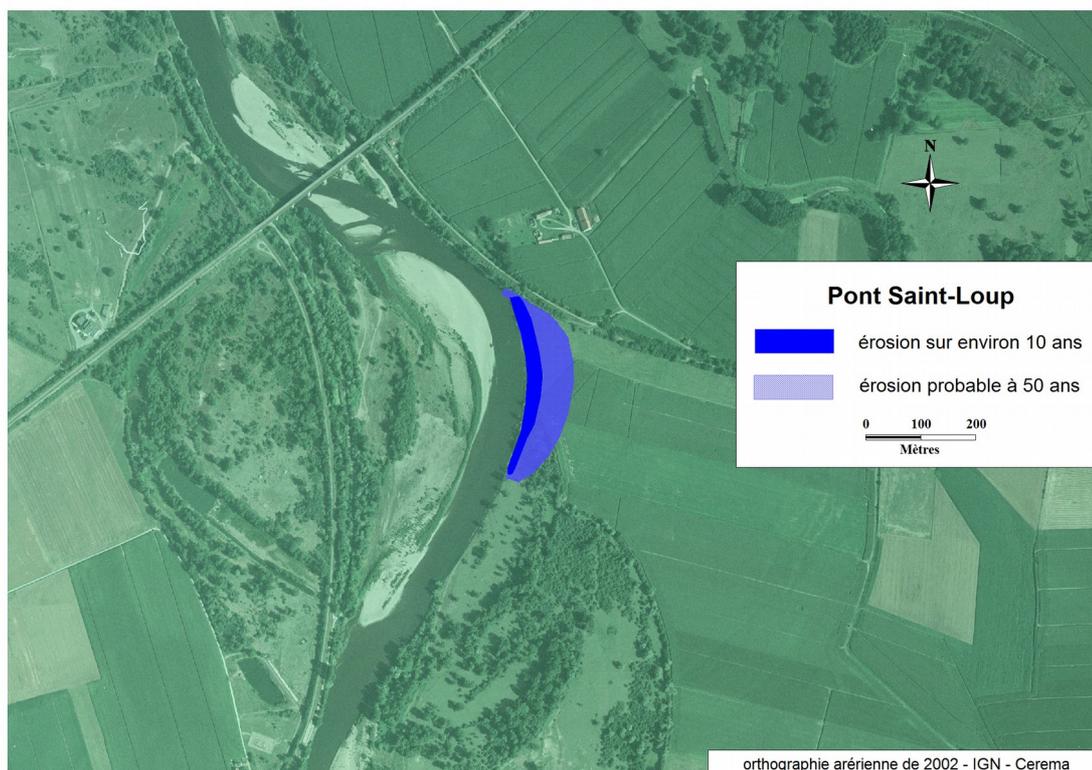


Illustration 27 – Zones d'érosion estimées à 10 ans et 25 ans en rive droite de l'Allier à Pont Saint-Loup

Érodabilité des berges

Comme déjà indiqué pour le scénario A, les caractéristiques sédimentologiques des berges constituent une variable de contrôle intervenant dans les processus géodynamiques (Malavoi et al., 2011). La présence de matériaux plutôt cohésifs peut se traduire par une relative résistance à l'érosion latérale (Malavoi et Bravard, 2010).

Dans le cadre du scénario B, **la nature cohésive des matériaux constitue une variable de contrôle de la dynamique fluviale latérale.**

Qualification de l'érodabilité par diagnostic visuel

Comme pour le scénario A, l'érodabilité des matériaux constitutifs de la digue est évaluée par **diagnostic visuel**. Le diagnostic visuel porte sur les berges (au niveau de zones érodées), ainsi que sur la rive (par exemple, au niveau d'un chenal de chute). Le diagnostic visuel porte sur la **nature des matériaux constitutifs** (matériaux à dominante argileuse, limoneuse, sableuse ou graveleuse) et leur **degré de cohésion** (matériaux considérés cohésifs si prédominance d'éléments fins, ou si présence d'une matrice d'éléments fins assurant la cohésion).

Dans le cas du scénario B, le diagnostic visuel peut également être **pondéré en fonction de la présence de protections de berge, et de leur état le cas échéant.**



Illustration 28 – matériaux alluvionnaires grossiers de la berge d'une gravière de l'île de Mirefleurs (photographie du Cerema de mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'érodabilité des matériaux

L'évaluation qualitative de ce facteur déterminant s'appuie sur le diagnostic visuel (nature des matériaux et degré de cohésion, nature et état des protections de berge).

Une hiérarchisation à 3 niveaux de l'érodabilité des matériaux (faible, moyenne ou forte) est considérée. Le Tableau 13 décrit les caractéristiques considérées pour la qualification de ce facteur.

Tableau 13 : qualification du facteur "érodabilité des berges"

<p>Berges argileuses (extrêmement cohésives) ou argilo-limoneuses (très cohésives)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Berges à limon dominant (matériaux limono-sablonneux ou sablo-limoneux) Berges cimentées 	<ul style="list-style-type: none"> Matériaux sableux à caillouteux dominant sur au moins le ¼ inférieur de la berge (érodabilité forte) voire sur toute la hauteur (érodabilité très forte) Matériaux d'apport non compactés
<p>Faible</p>	<p>Moyenne</p>	<p>Forte</p>

Rôle de la végétation vis-à-vis de la berge et de la rive

Contrairement au scénario A, il est considéré pour le scénario B que la végétation a un **rôle stabilisateur dû** au renforcement mécanique assuré par le système racinaire.

Ce rôle stabilisateur est toutefois à nuancer en fonction de la hauteur de berge. Les petits cours d'eau ont des **berges plus basses** sur

lesquelles le système racinaire des végétaux peut assurer une **protection mécanique quasiment jusqu'au pied de berge**. Inversement, les grands cours d'eau aux **berges généralement plus hautes**, portant des arbres et des arbustes, même en cordon rivulaire très dense, ont souvent un **système racinaire qui s'arrête bien au-dessus du pied de berge**, partie du profil qui est la plus sensible aux processus érosifs (Malavoi et Bravard, 2010).

Analyse du renforcement mécanique apporté par le système racinaire

L'évaluation du rôle de la végétation s'appuie sur un **diagnostic visuel lors d'une visite de terrain**, permettant de constater la **présence ou non de végétation**, sa **nature** (arborée, arbustive, herbacée) ainsi que ses **caractéristiques** (dimension et état général des arbres).

Le diagnostic visuel peut également être complété par une **analyse de photographies aériennes**.



Illustration 29 – rive d'une gravière de l'île de Mirefleurs- présence de ligneux de grande taille ayant un rôle favorable (photographie du Cerema de mars 2015)

Une hiérarchisation à 3 niveaux du rôle de la végétation

Une hiérarchisation à 3 niveaux du rôle de la végétation vis-à-vis de la rive (positif ou neutre, défavorable, très défavorable) est considérée. Le Tableau 14 décrit les caractéristiques considérées pour l'évaluation qualitative de ce facteur déterminant.

Tableau 14 : qualification du facteur "rôle de la végétation" vis-à-vis de la rive

Présence de ligneux de grande taille renforçant mécaniquement la berge	Végétation présente mais absence de ligneux de grande taille	Absence de végétation
Positif ou neutre	Défavorable	Très défavorable

5- Données d'entrée

Les différents types de données d'entrée

La caractérisation ou la qualification des facteurs déterminants ainsi que l'évaluation des enjeux nécessitent de disposer de données d'entrée variées.

Cette partie décrit les différents types de données d'entrée utilisables :

- les **archives administratives** relatives à la gestion des exploitations,
- les **photographies** du site,
- les **observations visuelles** effectuées lors de visites de terrain,
- les **levés bathymétriques**,
- les **témoignages** des acteurs du site.

Les archives administratives

Une recherche d'archives à orienter en fonction de la date de début d'exploitation

La recherche d'archives relatives à la gestion des exploitations alluvionnaires nécessite de connaître le régime (déclaration ou autorisation) auquel sont soumises les gravières étudiées.

Une évolution régulière de la réglementation depuis 1970

La réglementation relative aux exploitations alluvionnaires a régulièrement évolué depuis 1970. La connaissance de l'évolution de cette réglementation est donc utile pour identifier a priori le type de documents à consulter dans les dossiers d'archives.

Le Tableau 15 présente de façon synthétique un historique de l'évolution réglementaire relative aux exploitations alluvionnaires à l'échelle nationale et en Auvergne (Cerema, 2014).

Tableau 15 : Historique de l'évolution réglementaire sur l'exploitation alluvionnaire en Auvergne

Évolution réglementaire	Année d'application à l'échelle nationale	Année d'application en Auvergne
L'ouverture d'une carrière ne nécessitait qu'une simple déclaration auprès du maire.	Avant 1970	Avant 1970
Les exploitations alluvionnaires sont soumises à autorisation préfectorale au titre du Code Minier.	1970	1970
Apparition des premières dispositions relatives à la remise en état	1970	1970
Enquête publique et étude d'impact obligatoire pour une carrière d'une	Depuis le décret du 20 décembre 1979	Depuis le décret du 20 décembre 1979

Évolution réglementaire	Année d'application à l'échelle nationale	Année d'application en Auvergne
superficie supérieure à 5 ha ou une production supérieure à 150.000 tonnes par an.		
Précisions des conditions techniques à respecter pour les autorisations de carrière dans les cours d'eau domaniaux comme l'Allier.	Depuis la circulaire ministérielle du 22 mai 1980	Depuis la circulaire ministérielle du 22 mai 1980
Fin des extractions de granulats en lit mineur des cours d'eau et dans les plans d'eau traversés par un cours d'eau.	Depuis l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994	Depuis juillet 1982 pour le département Allier (domaine public fluvial - protocole de 1981 entre le Préfet et la profession)
Les carrières sont soumises au régime des installations classées. Elles sont donc soumises à une procédure d'autorisation avec enquête publique et consultation des services administratifs.	Depuis la loi du 4 janvier 1993 et les décrets du 9 juin 1994	Depuis la loi du 4 janvier 1993 et les décrets du 9 juin 1994
Les premiers SDC (Schémas départementaux des Carrières) du Puy-de-Dôme, de l'Allier et de la Haute-Loire.	Rendu possible par la loi du 4 janvier 1993 et les décrets du 9 juin 1994	1996 et 1998
Fin des nouvelles exploitations en lit majeur de l'Allier. Un délai limité était accordé pour les renouvellements voire les extensions d'exploitations existantes.	Le SDAGE Loire-Bretagne de 1996 impose la réduction des exploitations en lit majeur, conformément à la circulaire du 4 mai 1995	1996 et 1998 via les SDC. Un délai permettait cependant les renouvellements voire les extensions d'exploitations existantes.
Fin des exploitations dans les espaces de mobilité des cours d'eau.	Depuis l'arrêté ministériel du 24 janvier 2001	Déjà appliqué pour l'Allier
Révision des SDAGE et des SDC Fin de l'exploitation dans les lits majeurs et les nappes d'accompagnement en Auvergne. Principe d'une étude hydrogéologique approfondie pour toute nouvelle exploitation.	Le SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015 fixe des restrictions à la délivrance d'autorisation dans les nappes en lit majeur (objectifs chiffrés de réduction)	Maintien de l'interdiction en lit majeur dans les SDC révisés et interdiction dans les nappes d'accompagnement avec obligation d'une étude hydrogéologique approfondie

Conséquences pour la recherche d'archives

La recherche d'archives sera donc orientée en fonction de la date de début d'exploitation de la gravière (Tableau 16).

Compte-tenu de l'évolution de la réglementation, les archives disponibles sont limitées aux exploitations ayant fait l'objet d'une autorisation préfectorale d'exploitation entre 1980 et 1996. Une vigilance doit toutefois être apportée en ce qui concerne les extensions d'exploitations existantes, susceptibles d'avoir fait l'objet d'autorisation préfectorale après 1979.

*Tableau 16 : Documents d'archives à consulter
en fonction de la date de début d'exploitation de la gravière*

Années	Documents	Remarques
Avant 1970	Déclaration en mairie de l'exploitant	Ces documents sont rares et ne comportent pas d'éléments probants pour l'évaluation du niveau d'aléa de capture
Après 1979	Autorisation préfectorale	
Après 1980	Autorisation préfectorale comprenant des prescriptions	Ces prescriptions comportent des éléments relatifs à la profondeur d'exploitation
Après 1998	Les exploitations ne sont plus autorisées dans le lit majeur en vertu des SDC	La date est variable d'un département à l'autre en fonction des approbations de chaque SDC
Après 2001	Les exploitations ne sont plus autorisées dans l'espace de mobilité du cours d'eau	

Nature des documents d'archives à consulter

Les documents susceptibles d'être consultés et pouvant présenter un intérêt pour l'évaluation de l'aléa de capture sont les suivants :

- dossier de demande d'autorisation d'exploitation, pouvant comprendre :
 - les plans,
 - le mode d'exploitation,
 - la profondeur d'exploitation (éventuellement en eau) ;
- l'arrêté préfectoral, pouvant comprendre notamment la profondeur d'exploitation (éventuellement en eau) ;
- les PV éventuels en phase d'exploitation ;
- les dossiers éventuels de demande de modification de l'exploitation ;
- les dossiers éventuels de demande d'extension de l'exploitation ;
- la déclaration de fin de travaux par l'exploitant ;
- le rapport de l'inspecteur des installations classées, préalable à la notification d'abandon de l'exploitation (exemple sur l'illustration 30), susceptible de comprendre une synthèse de la vie de l'exploitation dont :
 - le mode d'extraction,
 - la profondeur,
 - la nature des matériaux extraits,
 - des éléments sur les berges ou digues ;
- les PV éventuels de la commission départementale des carrières ;
- tout autre document apportant des informations utiles à l'évaluation du risque.

Le 8 avril 1991, la société GSM sollicite la modification des conditions d'exploitation de sa carrière : elle souhaitait pouvoir exploiter la parcelle n° 52 section ZK (ex n° 463 section AC suite à la modification du cadastre) par rabattement de la nappe et permettre d'une part d'extraire les matériaux plus en profondeur et d'autre part obtenir une meilleure qualité de l'eau lors du réaménagement de la carrière par la création de différents étangs.

Cette autorisation sera accordée par arrêté préfectoral du 2 octobre 1991 et prescrira une exploitation en 2 phases :

- par rabattement partiel de la nappe sur une hauteur de 4 mètres maximum sur les parcelles 52 (ex

Illustration 30 – Extrait du rapport de l'inspecteur des ICPE pour avis préalable à la notification d'abandon d'exploitation de la carrière dite « des Moyennes et des grandes Vaures » aux Martres de Veyre (île de Mirefleurs)

Des archives consultables auprès des unités territoriales de la DREAL

Les archives peuvent être consultées auprès des Unités Territoriales de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, dont les coordonnées sont indiquées dans le Tableau 17.

Tableau 17 : coordonnées des unités territoriales à contacter pour la consultation d'archives

Département	Unité Territoriale de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes
03	51, boulevard Saint Exupéry - CS 50121 - 03403 YZEURE CEDEX Tel : 04.70.48.78.51
43	Résidence Le Valmont - 26, avenue des Belges - CS 90254 - 43009 LE PUY EN VELAY cedex Tel : 04.71.06.62.30
63	28 bis, Rue de Rabanesse - 63000 CLERMONT-FERRAND Tel : 04.73.43.16.00

Les photographies

Photographies aériennes

Plusieurs sources de photographies aériennes peuvent être consultées :

- les orthophotographies de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière),
- les photographies aériennes obliques de la DIREN Auvergne réalisées en 2003 et du CEN (Conservatoire des Espaces Naturels) Auvergne réalisées en 2005.

Orthophotographies de l'IGN

Les orthophotographies de l'IGN sont disponibles gratuitement sur le site GEOPORTAIL (source : <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>).

Ce site met à disposition les photographies aériennes réalisées par l'IGN sur le territoire national depuis 1940 environ.

L'examen de ces photographies de manière chronologique permet une analyse diachronique des gravières à étudier (Illustration 31).



Illustration 31 – Analyse d'une capture de gravière au lieu-dit Pont Lamothe à Brioude (Haute-Loire) par analyse diachronique des orthophotographies de l'IGN

Photographies aériennes obliques de la DIREN Auvergne et du CEN

La DIREN Auvergne et le CEN Auvergne ont réalisé ponctuellement des campagnes de photographies aériennes obliques sur des tronçons de l'Allier, qui peuvent être mises à disposition :

- une série de photographies réalisées lors de la crue de 2003, permettant de visualiser les écoulements de l'Allier en crue, ainsi que les éléments de protection ou berges submersibles (exemple sur l'illustration 32) ;
- une série de photographies réalisées après la crue de 2005, permettant de visualiser des traces d'érosion liée à la crue ou des zones où des travaux de confortement ont été mis en œuvre.



Illustration 32 – Berges submergées pendant la crue de 2003 – gravières de l'île de Mirefleurs
Source : DIREN Auvergne

Autres sources photographiques

Ponctuellement et selon les sites, certains acteurs locaux (propriétaires, DDT, ...) peuvent détenir des photographies exploitables en données d'entrée pour l'étude (photographies en phase d'exploitation, photographies de travaux de confortement après une crue, photographies anciennes du site avec une végétation moins développée, ...).

Les observations et levés de terrain

Des données essentielles à acquérir pour l'évaluation du risque

La probabilité et le délai de capture ne peuvent être approchés que par les seuls éléments issus de l'analyse documentaire (archives et/ou photographies).

Il est indispensable de réaliser en compléments des **observations et levés de terrains** (réalisés au cours d'une à deux visites de terrain), afin de disposer des données d'entrée nécessaires à la caractérisation des différents facteurs déterminants.

Par ailleurs, les visites de terrain peuvent être l'occasion de **rencontrer différents acteurs** (propriétaire ou gestionnaire d'un site, riverains, ...), et de **recueillir des témoignages** utiles à l'étude d'un site (cf chapitre spécifique ci-dessous).

Typologie en fonction des facteurs déterminants

Pour les observations et levés de terrains, les facteurs déterminants peuvent être classés en deux familles, qui seront présentées successivement par la suite :

- les **facteurs déterminants qui ne peuvent être appréciés que par les observations et levés de terrain**,
- les **facteurs déterminants qui peuvent être appréciés par l'analyse conjointe de documents** (archives et/ou photographies) **et de données issues des visites de terrain**.

Des observations et levés à réaliser au droit des points de faiblesse

Certains facteurs sont **relatifs à l'ensemble du tronçon hydromorphologique**, d'autres sont **spécifiques à une gravière étudiée**. Dans ce dernier cas, les observations doivent porter **sur le(s) point(s) de faiblesse** de la digue ou de la berge. Une première visite est donc souvent nécessaire pour identifier ces points de faiblesse où seront effectués ensuite observations et levés.

Période hivernale la plus favorable à la réalisation des observations et levés de terrain

La **période hivernale** est la saison préférentielle pour réaliser les visites de terrain. En effet, la végétation constituant la ripisylve y est peu active voire inactive, ce qui facilite l'**accès aux berges** et la **réalisation des levés et des observations**. Cette période est aussi celle de l'étiage hivernal, ce qui facilite également l'observation des pieds de berge ou de digue pour en visualiser l'état général ou repérer des éléments de protection.

Des relevés complémentaires peuvent être réalisés en période estivale afin de compléter le diagnostic, notamment celui des pieds de berge. En effet, la reconnaissance des pieds de berge et des éventuelles protections peut être facilitée lors des étiages estivaux (en général plus marqués que les étiages hivernaux).

Cas spécifique de la caractérisation de l'enjeu

Il est à noter que pour la caractérisation de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire, il convient de connaître la **profondeur d'une gravière par rapport au fond du lit mineur du cours d'eau**. Si celle-ci ne peut être connue de façon précise suite à l'examen des documents d'archive, il est recommandé de réaliser des **levés bathymétriques**. Ce type de levé de terrain fait l'objet d'un chapitre spécifique ci-dessous.

Les facteurs déterminants évalués par analyse d'observations et de levés de terrain uniquement

Pour ces facteurs, l'opérateur chargé d'évaluer le risque de dysfonctionnement sédimentaire doit impérativement relever sur le terrain les éléments nécessaires à leur caractérisation ou qualification.

Ces facteurs déterminants sont les suivants :

- pente de la ligne d'eau (scénarios A et B),
- érodabilité des matériaux constitutifs de la digue (scénario A) et érodabilité des berges (scénario B),
- profil en travers (scénario A),
- rôle de la végétation sur la digue (scénario A) et rôle de la végétation sur la berge et la rive (scénario B).

Pente de la ligne d'eau mesurée par levé topographique

La connaissance de la pente de la ligne d'eau nécessite un **levé topographique**. Ce levé doit être réalisé **sur l'ensemble du tronçon hydromorphologique**, afin de repérer les variations de pente qui traduisent une dispersion d'énergie.

La précision altimétrique requise pour le levé topographique doit être dans la mesure du possible centimétrique. Sur des linéaires de tronçons de cours d'eau de plusieurs centaines de mètres, une précision altimétrique décimétrique à pluridécimétrique (30 à 50 cm) peut s'avérer suffisante.

Érodabilité des matériaux qualifiée par diagnostic visuel

La qualification du **caractère érodable** d'une digue (scénario A) ou d'une berge (scénario B) au droit de chaque gravière, et notamment des points de faiblesse, peut être réalisée par un **diagnostic visuel au niveau d'une zone érodée**.

Il convient de relever :

- si les matériaux sont des **matériaux naturels en place**, ou s'il s'agit de **matériaux d'apport** (dans ce dernier cas, il est utile d'évaluer s'ils sont compactés ou non) ;
- la **nature granulométrique** des matériaux (dominante grossière, sableuse, limoneuse ou argileuse ; présence d'une matrice limoneuse ou argileuse), et leur **degré de cohésion**.

Lorsque le point de faiblesse correspond à une zone où la digue ou la berge est sensiblement érodée, la cohésion des matériaux peut être évaluée indirectement par la **pente de la zone érodée** mise à nu (digue ou berge) : le **caractère cohésif** se traduit par la présence de **talus quasi-verticaux** (inversement, l'absence de cohésion se traduit par des pentes plus faibles, voisines de l'angle de frottement des matériaux).

**Profil en travers
d'une digue obtenu
par levés de terrain**

Le profil en travers d'une digue est obtenu à l'aide de levés de terrain, permettant de mesurer les éléments suivants :

- **largeur de crête** de la digue (mesurée à l'aide d'un ruban métré ou par GPS),
- **différence de hauteur entre la crête de la digue et le niveau d'eau côté gravière et côté cours d'eau** (obtenue par mesure conjointe des distances et pentes de talus, par télémètre laser muni d'un inclinomètre intégré, ou par GPS),
- **largeur à la base de la digue**, correspondant à la distance entre le plan d'eau de la gravière et le cours d'eau (obtenu par mesures au ruban métré, par télémètre laser muni d'un inclinomètre intégré, ou par GPS).

Ces éléments sont complétés en notant la **présence ou non d'un franc-bord** côté cours d'eau et sa largeur le cas échéant, ainsi que les **variations topographiques existant au niveau des talus** (présence de risbermes par exemple).

**Rôle de la végétation
sur la digue
(scénario A) ou sur
berge et la rive
(scénario B) analysé
par observations de
terrain**

La végétation peut avoir un **rôle favorable ou défavorable selon le contexte** (cf 4- Facteurs déterminants).

Les observations de terrain, réalisées au(x) point(s) de faiblesse de chaque digue ou berge, ont pour objet de répondre a minima aux questions suivantes :

- les matériaux de la digue, de la berge ou de la rive sont-ils à nu (absence totale de végétation) ?
- si non, la végétation est-elle de type :
 - herbacée ?
 - arbustive ?
 - ligneuse (présence d'arbres de grande taille) ?
- dans ce dernier cas, les arbres sont-ils :
 - en bon état sanitaire (arbres en vie) et mécanique (arbres proches de la berge ne présentant pas d'inclinaison forte) ?
 - en mauvais état sanitaire (présence d'arbres morts) ou mécanique (présence d'arbres en position inclinée ou couchée proches de la berge) ?

Les critères d'analyse des observations de terrain sont indiqués au chapitre précédent (cf 4- Facteurs déterminants).

Une expertise plus poussée peut être réalisée (analyse des essences végétales et du système racinaire associé), mais n'est pas requise pour l'application de la méthodologie d'évaluation de l'aléa de capture.

Les facteurs déterminants évalués par analyse conjointe de documents et de données issues des visites de terrain

Pour ces facteurs, l'opérateur chargé d'évaluer le risque de dysfonctionnement sédimentaire doit à la fois analyser les documents disponibles (archives, photographies, cartographies) et relever sur le terrain les éléments nécessaires pour compléter leur caractérisation ou qualification.

Ces facteurs déterminants sont les suivants :

- dynamique latérale générale (scénarios A et B),
- angle d'incidence (scénarios A et B),
- état des protections de berge (scénarios A et B),
- mise en charge hydraulique de la digue (scénario A),
- largeur de rive (scénario B).

Dynamique latérale générale évaluée par analyse de documents et relevé sur le terrain de traces d'érosion latérale

Une **évaluation a priori** de ce facteur est effectuée par l'**analyse des documents disponibles** : degré d'érosion latéral du tronçon hydromorphologique évalué par Malavoi (1998), photographies aériennes, documents d'archives (cf 4- Facteurs déterminants).

L'évaluation a priori est ensuite **affinée sur le terrain**, par le **relevé et la localisation de l'ensemble des traces d'érosion** symptomatiques de la dynamique latérale de la rivière (anses d'érosion, absence de végétation, dépôt de sédiments, arbres déracinés, etc).

Angle d'incidence estimé après identification de l'axe principal d'écoulement en crue au droit du (des) point(s) de faiblesse

Il est rappelé que l'angle d'incidence correspond à l'**angle entre la berge et l'axe principal d'écoulement** du cours d'eau en crue, et n'est pas l'angle entre la berge et l'axe du lit mineur. Il doit être évalué **au droit du (des) point(s) de faiblesse** de la digue ou de la berge.

L'angle d'incidence est tout d'abord estimé **à partir de l'orthophotographie de l'IGN la plus récente disponible**. La mesure de l'angle d'incidence se fait directement sur photographie aérienne, après report de l'axe principal d'écoulement au droit de la (des) zone(s) de faiblesse identifiée(s) sur la berge ou la digue.

Toutefois, les orthophotographies ne permettent pas toujours de repérer facilement les axes principaux d'écoulement. L'angle d'incidence doit donc être vérifié, et le cas échéant ré-évalué :

- à partir d'**observations de terrain**, permettant d'**identifier sur site la direction de l'écoulement** des eaux à hauteur du(des) point(s) de faiblesse de la berge ou de la digue,
- éventuellement à partir des **photographies aériennes obliques prises lors d'une crue**, qui peuvent permettre de visualiser les axes d'écoulement en crue.

État des protections de berge évalué par analyse diachronique de photographies aériennes et d'observations de terrain

Le diagnostic des protections de berge s'appuie sur l'**inventaire réalisé par CEPA et VEODIS3D (2011)**, qui constitue un **état des lieux initial des protections de berge existantes**.

En ce qui concerne l'**état des protections**, quel que soit le scénario, une première analyse est effectuée par **analyse diachronique des photos aériennes** (par exemple localisation d'éventuelles ruptures de digue ou d'anses d'érosion dans un dispositif de protection).

Suite à ce travail préparatoire, les **observations de terrain** ont pour

objet :

- **de compléter ou d'amender si nécessaire l'inventaire des protections de berge** de CEPA et VEODIS3D (2011),
- **d'évaluer l'état général de ces protections** (nature de la protection, évaluation sommaire du pourcentage de blocs manquants et déplacés pour les protections en enrochements, analyse de la présence ou de l'absence de protections pour les dispositifs de nature différente).

Mise en charge hydraulique de la digue qualifiée par analyse documentaire et relevés de terrain

L'évaluation de ce facteur est associée à l'**occurrence de la crue provoquant la surverse de la digue** : plus la période de retour de l'événement générant la surverse est élevée, plus la mise en charge hydraulique est forte. L'occurrence de la crue de surverse peut être approchée par l'**analyse des documents d'archives, l'étude des photographies aériennes obliques en crue, ou encore l'analyse d'études hydrauliques** réalisées sur le secteur d'études.

La qualification de ce facteur est pondérée en fonction d'**éléments accentuant (effet négatif N) ou réduisant (effet positif P) les effets de la mise en charge, qu'il est nécessaire d'identifier sur le terrain** :

- présence d'une digue plus haute en rive opposée (N),
- présence d'un (de) point(s) bas non renforcés (N),
- présence d'un déversoir permettant de limiter la perte de charge en cas de surverse (P),
- digue aménagée pour être submersible et présentant des renforcements en crête (P),
- présence d'une connexion aval entre la gravière et le cours d'eau (P).

Facteur déterminant associé à la largeur de rive estimé par analyse de photographies aériennes et pondéré par des observations de terrain

L'évaluation de ce facteur déterminant s'effectue de la façon suivante :

- dans un premier temps, sur la base d'une **estimation des vitesses d'érosion par analyse diachronique** de photographies aériennes, la **durée d'érosion de la rive** est estimée ;
- dans un second temps, des **observations de terrains** permettent de relever des **facteurs pondérateurs** (absence de végétation par exemple), qui sont éventuellement pris en compte pour caractériser ce facteur déterminant.

Les levés bathymétriques

Levés bathymétriques

La caractérisation de l'enjeu de préservation de la continuité sédimentaire nécessite de connaître la **profondeur d'une gravière par rapport au fond du lit mineur du cours d'eau**.

Des levés à réaliser si l'analyse des archives n'apporte pas d'enseignements

L'analyse des documents d'archives peut permettre de connaître directement ou d'estimer indirectement cette profondeur (cf chapitre « Les archives administratives » ci-dessus).

Si cette analyse ne permet pas de la connaître de façon précise, il est recommandé de réaliser des **levés bathymétriques**, afin de contrôler les cotes de fond des gravières étudiés et celles du fond du lit mineur du cours d'eau au droit de ces gravières.

Exemple de levés bathymétriques

À titre indicatif, les levés bathymétriques peuvent consister en la réalisation de **tranchées longitudinales et transversales dans les gravières**, et de **profils en travers du cours d'eau au droit de chaque gravière ayant fait l'objet d'un levé bathymétrique**. Un exemple d'implantation de profils bathymétriques est présenté sur l'illustration 33. Il est également possible de lever un **semi de points bathymétriques dans les gravières**, afin de disposer d'une meilleure représentativité de la cote de fond.

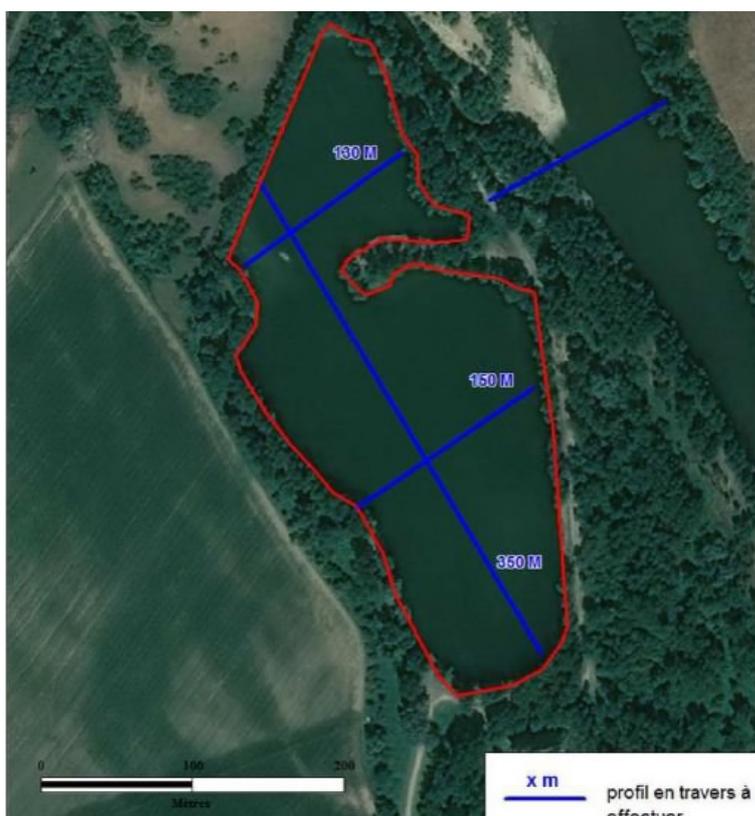


Illustration 33 – exemple d'implantation de profils bathymétriques sur une gravière située à l'aval du Pont de Chazeuil (03) et sur l'Allier (source : Cerema Normandie-Centre)

Les témoignages des acteurs

Des témoignages d'acteurs permettant d'affiner l'évaluation du risque

L'évaluation du risque de dysfonctionnement sédimentaire peut également être affinée à partir des témoignages de différents acteurs concernés par l'aléa de capture. Ces témoignages peuvent être recueillis lors des visites de terrain, ainsi qu'à travers des échanges entre acteurs qui ont lieu lors de comités techniques d'étude.

Des informations sur les sites d'études recueillies lors de visite de terrain

Il est recommandé qu'au moins une visite de terrain soit effectuée **en présence du propriétaire ou du gestionnaire** d'une gravière ou d'un groupe de gravière faisant l'objet d'une analyse de risque. Cette visite commune permet :

- au propriétaire ou à l'exploitant d'un site de témoigner d'**événements historiques** (crues ayant sollicité fortement voire surversé une digue, travaux de confortement antérieurs, aménagements de déversoir, comblement partiel d'une gravière, ...), et de fournir éventuellement des documents sur ceux-ci (photographies par exemple),
- au propriétaire ou à l'exploitant d'un site d'apporter des **compléments d'informations sur les données d'entrée** (profondeur d'exploitation, mode de gestion de la végétation sur les berges et les talus de digues, ...)
- à l'opérateur réalisant l'analyse d'**expliquer les mécanismes de capture de gravière**, et de **faire prendre conscience** au propriétaire ou à l'exploitant d'un site des **conséquences d'une capture**.

Un dialogue avec les acteurs lors de comités techniques d'études

Par ailleurs, une étude d'évaluation du risque de dysfonctionnement associé une gravière ou un groupe de gravières peut être suivie par un **comité technique de suivi de l'étude**, associant les différents acteurs concernés :

- le propriétaire ou à l'exploitant des sites étudiés,
- le gestionnaire du domaine public fluvial (DDT),
- l'animateur du SAGE Allier Aval,
- un représentant du Conservatoire des Espaces Naturels (CEN) Auvergne,
- des représentants de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes (service Eau Hydroélectricité Nature) et de la délégation de bassin de la DREAL Centre-Val-de-Loire.

Les comités techniques de suivi de l'étude permettent de recueillir des informations qui ne sont pas toujours accessibles par l'analyse documentaire ou les visites de terrain : relevé bathymétrique d'une gravière par un exploitant, information sur la réalisation de travaux au sein du lit par le gestionnaire du Domaine Public Fluvial ou sur le fonctionnement hydraulique du site lors de crues, ...

6 - Références

BRGM (1998) Étude bibliographique sur l'impact des gravières sur les crues de rivière. Rapport BRGM R40022, 46 p.

CEPA et VEODIS3D (2011) Inventaire et analyse des protections de berge et zones érodées de l'Allier entre Vieille-Brioude et le Bec d'Allier. Rapport final, 33 p. + annexes

Cerema (2014) Gravières du Val d'Allier. Cartographie et analyse de la vulnérabilité de capture par la rivière. Rapport final, 54 p.

Charrais J. (2013) Vers la définition du transport solide suffisant en rivière : utilisation d'indicateurs biologiques. Étude bibliographique et propositions d'indices. Rapport de Master Sciences de la Terre, de l'Eau et de l'Environnement, Université François Rabelais – Tours, 54 p. + annexes

Degoutte G. (2006) Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées. Éditions Tec & Doc Lavoisier, 394 p.

DREAL Centre-Val de Loire (2015) Outils d'aide à la gestion des lits de la Loire, de l'Allier et de la Dore. Rapport final, 114 p. + annexes

DYNAMIQUE HYDRO (2011) Contournement Sud-Ouest de Vichy - Étude des mesures compensatoires pour les atteintes à l'espace de mobilité de la rivière Allier. Rapport d'étude

EPTEAU (1998) Étude de l'Allier entre Vieille-Brioude et Villeneuve. Rapport final. 72 p. + annexes

FRANE (2008) L'Allier rivière sauvage. FRANE Editions, 59 p.

Hydratec (1998) Bassins de l'Oise et de l'Aisne – Étude sur les relations entre carrières alluvionnaires et inondations. Rapport Hydratec R.12805, janvier 1998, 3 volumes + annexes

LCPC (2004) Les études spécifiques d'aléas lié aux éboulements rocheux. Guide technique. Éditions LCPC, collection Environnement – Les risques naturels, 86 p.

Lecomte J., Néel C. (2013) Gérer l'espace alluvial d'une rivière mobile : l'exemple de l'Allier.

Article Wikhydro :

http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Gérer_l'espace_alluvial_d'une_rivière_mobile:_l'exemple_de_l'Allier

Malavoi J.R., Bravard J.P. (2010) Éléments d'hydromorphologie fluviale. Onema. 224 p.

Malavoi J.R., Garnier C.C., Landin N., Recking A. et Baran P. (2011) Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Onema. 216 p.

Mériaux P., Royet P., Folton C. (2004) Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations. Guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires. Cemagref Editions, 199 p.

Piegay H. et al. (1996) Comment délimiter l'espace de liberté des rivières ? SHF, 24e Journées de l'Hydraulique, septembre 1996.

VEODIS3D (2011) Étude géomorphologique sur le site des Mayères. Rapport d'étude



Cerema Centre-Est

Département Laboratoire de Clermont-Ferrand - ZI du Brézet - 8 à 10, rue Bernard-Palissy - 63 017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2 - +33 (0)4 73 42 10 10
Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130 018 310 00115 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310