

Mise au point d'un protocole d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire dans le cadre d'une approche multiscalaire

Rapport de stage pour l'obtention de la deuxième année de Master
Louis MANIERE, 2013

Tuteurs de stage :

Jean Noël GAUTIER (Agence de l'eau Loire-Bretagne)

Stéphane BRAUD (DREAL Centre)

Adrien ALBER (DREAL Centre)

Tuteur universitaire :

Oldrich NAVRATIL

Rapporteur universitaire :

Jerôme LEJOT



Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mes encadrants Jean Noël Gautier, Stéphane Braud, Adrien Alber, et Oldrich Navratil avec lesquels j'ai beaucoup appris tout au long de ces six mois de stage.

Merci aussi au service du SLBLB pour m'avoir très bien accueilli et à Alix Larvido pour m'avoir aidé sur le terrain.

Je tiens à remercier aussi Bérengère Farina, qui grâce à son investissement, a toujours pu me faire partir sur le terrain dans les temps.

Je voudrais remercier mon colocataire Aurélien et les amis orléanais : Aurore, Sylvain, Rémi, Laura et Alix.

Enfin, un grand merci à ma mère Diane pour ses attentives relectures et à toute la petite famille.

Sommaire

Remerciements	3
Sommaire	4
Introduction	5
1. Contexte et objectifs du stage	7
1.1. L'agence de l'eau Loire-Bretagne et la DREAL Centre	7
1.2. La mise en application de la législation sur la continuité sédimentaire	7
1.3. Le transport solide en rivière et l'altération hydromorphologique	10
1.4. Démarche et problématiques pour l'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire	18
2. Définition du protocole d'évaluation de l'impact d'un seuil sur le transit sédimentaire ..	22
2.1. Le choix des ouvrages	22
2.2. Description et utilisation des paramètres d'évaluation de l'impact des seuils sur le transit sédimentaire	24
2.3. Protocole de mesures de terrain	25
3. Résultats, interprétation des données et retour méthodologique	30
3.1. Description des résultats issus du protocole	30
3.2. Interprétation des résultats : évaluation de l'impact des ouvrages	53
3.3. Discussions et préconisations d'amélioration du protocole d'évaluation	58
Conclusion	61
Bibliographie	62
Table des figures	65
Tables des tableaux	66
Table des matières	67
Annexe 1 : Profil en long	70
Annexe 2 : Granulométrie des particules	76

Introduction

La directive cadre européenne sur l'eau impose aux Etats membres de l'Union européenne une restauration de l'état des eaux. Celui-ci est évalué selon la physico-chimie et l'état écologique. L'état écologique est principalement réalisé à l'aide de paramètres basés sur la biologie. Dans ce cadre, l'hydromorphologie des cours d'eau n'est donc pas considérée comme un critère déclassant. Or, lors de l'état des lieux de 2004 réalisé par les agences de l'eau, 50 % des masses d'eau étaient en risque de non-atteinte du bon état en raison de dégradations hydromorphologiques.

L'hydromorphologie sert en effet de support pour la biocénose aquatique, elle a en particulier un rôle sur les habitats. Les dégradations de l'hydromorphologie empêchent donc les cours d'eau d'atteindre le bon état exigé. Parmi les altérations hydromorphologiques, la continuité sédimentaire a été mise en avant. La réglementation a introduit la notion de « transport suffisant ». Le transport doit être suffisant pour permettre aux alluvions des cours d'eau d'assurer leur rôle de soutien de la biocénose et ainsi permettre la restauration des milieux aquatiques. Pour aider à la circulation des sédiments et rétablir le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau, l'accent a été mis sur les ouvrages transversaux interceptant le transit sédimentaire. Conformément à l'article L.214-17 du code de l'environnement, une liste de cours d'eau sur lesquels il faut assurer le transport suffisant des sédiments et la libre circulation a été établit en juillet 2012 sur le bassin Loire-Bretagne. Il implique la mise conformité des ouvrages suivant la réglementation définie par les autorités administratives.

Dans cet objectif de rétablissement de la continuité sédimentaire, les acteurs organisant la politique de l'eau, tels que l'agence de l'eau Loire-Bretagne et la Dreal Centre, ont par conséquent besoin d'outils opérationnels pour planifier les actions à mener et évaluer l'impact des ouvrages transversaux. Le stage rentre donc dans cette démarche de recherche opérationnelle d'évaluation de l'impact d'un ouvrage sur le transit sédimentaire.

L'hydromorphologie des cours d'eau est contrôlée principalement par son débit liquide et solide¹. Les fluctuations de ces paramètres dans le temps et l'espace vont ajuster la morphologie fluviale. Un ouvrage transversal peut intercepter les matériaux transportés par le cours d'eau et ainsi créer un déficit de débit solide à son aval. L'équilibre hydrosédimentaire naturel de la rivière est alors perturbé. Le cours d'eau va par conséquent chercher à retrouver une nouvelle situation d'équilibre en modifiant sa morphologie. Cette transformation induit une altération négative des milieux aquatiques pouvant déclasser l'état écologique du cours d'eau et limiter les opérations de restauration. La restauration de la continuité sédimentaire passe par conséquent par le rétablissement du bon fonctionnement hydrosédimentaire de la rivière en permettant aux sédiments de circuler librement.

Les cours d'eau sur lesquels intervenir sont donc ceux montrant des signes de dysfonctionnements hydrosédimentaires dus à un déficit sédimentaire. Les ouvrages transversaux ne sont pas les seules pressions anthropiques entraînant ces types d'altérations, mais l'identification des cours d'eau en déficit sédimentaire devrait nous orienter vers des bassins versants où l'enjeu de la continuité sédimentaire doit être davantage étudié. Sur le bassin versant, une analyse plus poussée, orientée sur le transport de sédiments dans les rivières, est susceptible de montrer plus finement les secteurs hydromorphologiquement

¹ Cf. paragraphe sur le transport solide

altérés. Ces tronçons ainsi délimités peuvent donc être mis en relation avec les ouvrages transversaux. La dernière étape est alors l'évaluation du niveau d'impact de l'ouvrage afin de savoir si les dégradations hydromorphologiques observées lui sont imputables, du moins en partie.

Cette méthodologie en échelles hiérarchiques emboîtées a été développée par la Dreal Centre (Braud et Alber, 2013) dans l'objectif de la mise en application de la réglementation sur le « transport suffisant ». Le stage s'est intéressé au développement et à l'amélioration du diagnostic aux différentes échelles spatiales mais, eu égard au temps disponible, seule l'analyse à l'échelle de l'ouvrage a pu être traitée de façon plus approfondie.

A cette échelle spatiale, l'évaluation d'impact doit répondre à deux objectifs :

- Est-ce que l'ouvrage intercepte le transit sédimentaire, et plus particulièrement une charge de fond grossière ?
- Dans le cas d'un ouvrage bloquant le transport sédimentaire, est-ce qu'il implique une dégradation de l'hydromorphologie en aval de l'ouvrage ?

Le stage a donc porté en premier lieu sur l'élaboration d'un protocole de terrain qui, au regard des impacts théoriques que devrait avoir un ouvrage, doit pouvoir estimer le niveau de remplissage en sédiments dans une retenue et mettre en évidence si le cours d'eau montre des signes d'ajustement de sa morphologie en aval de l'ouvrage. Le protocole doit ensuite être testé sur divers ouvrages de façon à identifier ses limites. Le retour d'expérience de la mise en application des différentes méthodes de terrain et de leur interprétation peut alors donner lieu à des préconisations pour l'optimisation du protocole et le rendre adaptable aux nombreux cas de figure pouvant être rencontrés sur le terrain.

1. Contexte et objectifs du stage

1.1. L'agence de l'eau Loire-Bretagne et la DREAL Centre

Le stage a été effectué au sein de l'agence de l'eau Loire-Bretagne et de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) Centre.

L'agence de l'eau Loire-Bretagne est un établissement public de l'Etat sous la direction du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. Elle est une des six agences couvrant l'ensemble du territoire métropolitain. Les agences ont pour mission la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques.

Le stage s'est déroulé au sein du service état des eaux et évaluation écologique de la direction de l'évaluation et de la planification (DEP). Ce service a comme but principal la conception du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) pour la planification concertée de la gestion des eaux à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Le rôle de l'agence est d'organiser des programmes d'action par les aides financières qu'elle fournit. Ces programmes d'intervention sont définis par le comité de bassin et encadrés par le Parlement. Les deux objectifs prioritaires sur le bassin Loire-Bretagne dans le cadre de son dixième programme d'action sont la diminution des pollutions diffuses et la restauration des milieux aquatiques.

Afin d'orienter les actions sur la gestion de l'eau, l'agence rassemble et coordonne les connaissances et les données sur le bassin. Elle fournit aussi aux acteurs de l'eau des outils d'aide à la décision et évalue leurs actions. Elle réunit des utilisateurs et des responsables de l'eau pour assurer une gestion concertée des ressources en eau.

Les Dreal ont été formées suite à la réforme générale des politiques publiques de 2007. Elles sont issues de la fusion des directions régionales de l'environnement (DIREN), des directions régionales de l'équipement (DRE) et des directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE), et concentrent la quasi-totalité de leurs missions. Elles servent donc à diriger les politiques de développement durable, du logement et de la ville.

Le stage a été effectué dans le service Loire et bassin Loire-Bretagne (SLBLB). Ce service travaille aussi à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Il intervient dans les domaines de l'eau, des risques naturels (inondations) et des milieux aquatiques. Il sert d'appui à la coordination des politiques publiques d'animation et de réseaux, de maîtrise d'ouvrage du lit et des levées domaniaux, de gestion financière, d'ingénierie et d'expertise.

L'agence de l'eau Loire-Bretagne et la Dreal Centre interviennent donc toutes deux dans l'application de la politique de gestion des eaux du bassin Loire-Bretagne. Ces organismes coordonnent les acteurs de l'eau dans les objectifs de restauration de l'état des eaux.

1.2. La mise en application de la législation sur la continuité sédimentaire

1.2.1. L'hydromorphologie dans l'évaluation de l'état écologique des eaux

Depuis les années 1970, en réponse à la dégradation de la qualité des eaux souterraines et de surface, l'Union européenne a introduit plusieurs réglementations sur l'eau concernant

principalement sa qualité physicochimique pour la consommation. En 2000, l'Union européenne adopte la directive cadre sur l'eau (DCE) qui impose aux Etats membres une adaptation de leur législation en vue de restaurer la qualité de leurs eaux de surface, souterraines et maritimes. Cette directive, outre qu'elle exprime le souci d'assurer une bonne qualité de l'eau pour la consommation, introduit la notion de « bon état écologique des eaux ». L'état écologique doit refléter la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Il est apprécié pour une masse d'eau, unité d'évaluation de la DCE principalement basée, pour les cours d'eau, sur la taille et les hydro-écorégions. Cette évaluation est déterminée par des indices sur la qualité biologique (espèces végétales et animales) et physicochimique, et sur l'analyse de polluants spécifiques (certains métaux et pesticides). Il repose principalement sur des bio-indicateurs (invertébrés, poissons, diatomées, macrophytes). La note donnée est calculée par son écart à l'état de référence attribué à la masse d'eau et c'est la note la plus déclassante qui détermine l'état. L'état écologique, au même titre que l'état chimique, doit être conforme aux normes définies pour que les eaux soient considérées en « bon état » (fig. 1). La directive impose aux pays de l'Union européenne que ce « bon état » des eaux soit atteint en 2015, avec des reports d'échéance possibles sous conditions jusqu'en 2021, voire 2027.

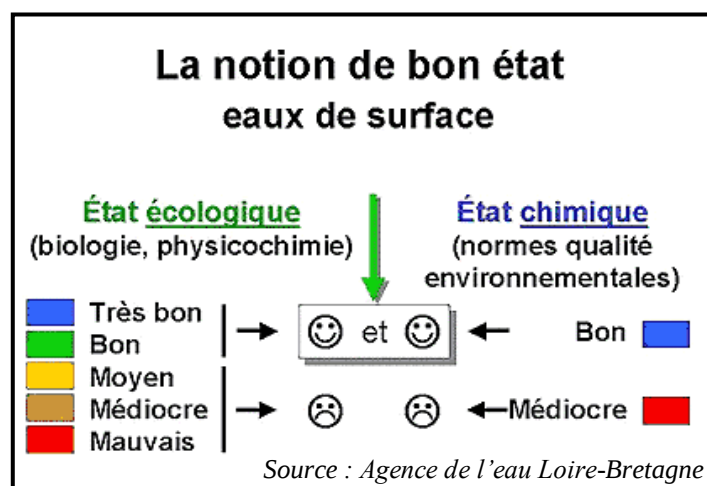


Figure 1 - L'évaluation du bon état des eaux de surface

L'hydromorphologie intègre le régime hydrologique, la continuité écologique (piscicole et sédimentaire) et la géomorphologie du lit et de la vallée (Charrais, 2013). La DCE la définit comme le support physique au développement de la biocénose aquatique. Aucun état hydromorphologique n'est défini dans ce cadre, aucun paramètre hydromorphologique n'est pris en compte dans l'évaluation écologique. Une bonne géomorphologie fluviale est néanmoins requise pour l'atteinte du « très bon état ».

Lors de l'état des lieux de 2004 effectué par les agences de l'eau, plus de 50% des masses d'eau ont été considérées comme en risque de non-atteinte du bon état écologique à cause de dysfonctionnements hydromorphologiques (Malavoi et al., 2011). La restauration écologique des cours d'eau s'est donc retrouvée contrainte dans de nombreux cas par des dysfonctionnements hydromorphologiques.

Parmi les dysfonctionnements hydromorphologiques possibles, l'accent a été mis en particulier sur la continuité écologique (cf. plan d'action national pour la restauration de la continuité écologique de 2009) pour laquelle le législateur a introduit la notion de « transport suffisant » des sédiments qu'il faut laisser transiter dans les cours d'eau.

1.2.2. La notion de transport suffisant

Cette notion a alors été introduite par l'article L.214-17 du code de l'environnement : « 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 ». L'article fait référence au classement des cours d'eau en liste 1 et 2. Le classement en liste 1 interdit tout nouvel obstacle à la continuité écologique et à la mise en conformité des ouvrages sur le long terme. Les ouvrages sur des cours d'eau en liste 2 doivent, dans les 5 ans, corriger leur impact sur la continuité écologique. Il précise par la suite que « tout ouvrage doit être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant ».

L'article R. 214-17 du code de l'environnement définit ces ouvrages comme des obstacles à la continuité écologique s'ils empêchent « le bon déroulement du transport naturel des sédiments ». Le législateur impose donc une bonne circulation des sédiments mais sans la définir pour autant.

Le transport « suffisant » des sédiments peut, selon Malavoi et al. (2011), s'appréhender de différentes façons selon la perspective et les objectifs visés.

L'approche hydromorphologique s'appuie sur un bilan sédimentaire en équilibre, soit des apports en charge solide de l'amont égaux au transport des sédiments vers l'aval sur un site. Le bilan sédimentaire s'évalue néanmoins à partir d'un jeu de données suffisamment long, au minimum 2 à 3 ans, afin de lisser les variations hydrologiques.

Le transport « suffisant » peut aussi être appréhendé selon une perspective écologique, pouvant elle-même se décliner suivant différentes approches. Une première approche s'intéresse au bon fonctionnement de l'hydrosystème global, c'est-à-dire au maintien d'une continuité longitudinale amont-aval et latérale entre le lit et la plaine d'inondation. D'un point de vue plus restreint, le transport suffisant des sédiments peut n'être perçu que comme support à la reproduction d'une ou de plusieurs espèces cibles.

Le transport naturel peut donc être étudié de nombreuses façons selon l'objectif recherché. L'évaluation écologique étant effectuée sur des paramètres biologiques, il faut que les espèces cibles puissent retrouver leur habitat. C'est donc une approche écologique ou biologique qui est adoptée par la DCE. Dans cette perspective, c'est le rôle du substrat du lit et le rôle écologique des sédiments qui vont être mis en avant. En effet, le substrat alluvionnaire, et plus particulièrement les sédiments « grossiers », assure de nombreuses fonctions dans le cycle biologique des biocénoses aquatiques (Braud et Alber, 2013).

Le substrat assure un rôle d'habitat d'alimentation. L'agencement des particules dans le lit du cours d'eau va permettre la circulation et le stockage de la matière organique et des êtres vivants dans les interstices. Les alluvions vont aussi servir d'habitat de reproduction pour les organismes nécessitant des substrats submergés ou émergés. Enfin, la charge grossière constitue un habitat de refuge vis-à-vis des conditions hydrauliques et des prédateurs. On peut ajouter à ces différentes fonctions écologiques sa contribution à l'autoépuration de l'eau par son soutien des processus biologiques dans la dégradation de la matière organique et des cycles biogéochimiques (Malavoi et al., 2011).

Afin de mettre en application la législation en vigueur, les ouvrages faisant obstacle au transport naturel des sédiments doivent être progressivement recensés et leur impact diagnostiqué au cas par cas.

1.2.3. Le besoin d'une méthodologie d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire

Cette mise application des réglementations implique plusieurs besoins opérationnels selon l'échelle spatiale considérée. A l'échelle du bassin Loire-Bretagne, le besoin opérationnel est celui de la planification des études à mener. L'agence de l'eau Loire-Bretagne ainsi que la direction régionale Centre doivent pouvoir organiser et planifier leurs actions sur les bassins. Dans ce but, ils ont à déterminer les bassins et les cours d'eau prioritaires sur lesquels mener des études sur la continuité sédimentaire. Cela nécessite une méthodologie et des outils justifiant leur choix et les études à conduire. L'outil SYRAH-CE (système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau) développé par l'Irstea (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, anciennement Cemagref) met à disposition des services des données descriptives à l'échelle du territoire national et donc du bassin Loire-Bretagne. Un des objectifs de ce stage était d'étudier l'opportunité d'utiliser cet outil à des fins de planification.

Sur un ouvrage transversal, il faut pouvoir déterminer si, effectivement, il impacte la continuité écologique et plus particulièrement la continuité sédimentaire. Il est nécessaire de disposer d'un protocole standardisé permettant de mesurer son impact sur le transit sédimentaire pour justifier des actions susceptibles d'être engagées. Ce protocole doit donc évaluer le fonctionnement hydrosédimentaire du site, estimer si l'ouvrage bloque effectivement la circulation des sédiments, et si cette interception engendre des dégradations sur les habitats aquatiques. Ainsi, un autre objectif du stage sera de tester un protocole d'évaluation sur différents types d'ouvrages et dans des contextes hydrosédimentaires variés.

Le stage a donc commencé par traiter ces deux objectifs simultanément. Néanmoins, il a été décidé au cours du stage de mettre de côté l'objectif de planification au profit du développement du protocole d'évaluation. Ce choix a été fait car les attentes opérationnels des structures d'accueil sont plus fortes. Elles ont en effet besoin d'un outil permettant de justifier les actions à mener sur les ouvrages. Il fallait que le protocole de terrain soit testé sur un maximum d'ouvrages et que ceux-ci soient répartis sur plusieurs bassins versants du territoire d'étude. L'analyse à l'échelle du bassin Loire-Bretagne n'a finalement pas pu aboutir.

1.3. Le transport solide en rivière et l'altération hydromorphologique

L'aménagement des cours d'eau pour le développement des activités humaines a engendré des modifications hydromorphologiques et ainsi a pu entraîner des déséquilibres entre les conditions hydrologiques et la morphologie de la rivière.

On parle alors de dégradations hydromorphologiques d'un cours d'eau lorsque, par rapport à un état de référence, les modifications de l'équilibre naturel se traduisent par des altérations négatives du milieu aquatique.

1.3.1. Le transport solide en rivière

« La géomorphologie fluviale est l'étude de la mise en place et de l'évolution des modelés de l'espace fluvial » (Landon, 2013). Pour expliquer les formes fluviales, on différencie deux types de variables (Malavoi et al., 2011) :

- Les variables de contrôle qui commandent et contrôlent l'évolution de la rivière.

- Les variables de réponse qui s'ajustent aux évolutions des variables de contrôle.

L'évolution géomorphologique d'un bassin versant dépend d'abord des processus érosifs en action. La forme du bassin va être régie par la résistance des roches à l'érosion, la topographie et les conditions hydroclimatiques. La forme et la densité du réseau hydrographique vont être contraintes par ces principaux paramètres de contrôle. Néanmoins, la morphologie des cours d'eau résulte de deux principaux facteurs de contrôle, le débit liquide et le débit solide. Le débit liquide, couplé à la pente du cours d'eau, va déterminer sa puissance. Le débit solide ou la charge alluviale du cours d'eau est principalement caractérisé par la taille des particules. La puissance du cours d'eau a une variabilité spatiale et temporelle. Spatiale du fait qu'elle dépend de la forme et de la pente de la vallée et, plus localement, de la géométrie du lit de la rivière. La dimension temporelle s'appréhende par les variations hydrologiques et plus particulièrement par le régime des crues. Ainsi, de l'évolution de ces paramètres vont dépendre les processus d'érosion et de dépôt de la rivière. Sa capacité de transport croît lorsque le débit et la pente augmentent, et que la taille des matériaux diminue (agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 1999). C'est la notion d'« équilibre dynamique » décrite par la balance de Lane (1955) (fig. 2).

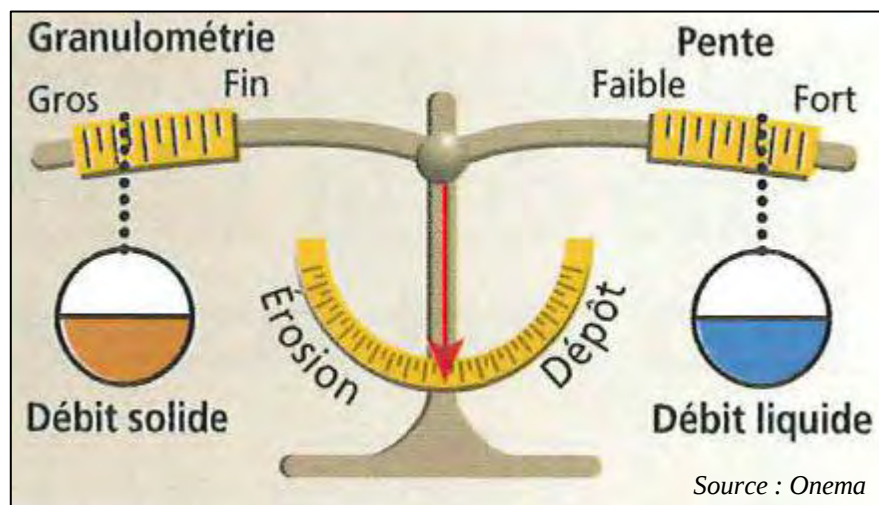


Figure 2 - La balance de Lane (1955)

Un cours d'eau est donc constamment à la recherche d'un équilibre et on considère que ces variables de contrôle oscillent dans le temps et dans l'espace, modifiant ainsi sa morphologie. Ces transformations se traduisent par un ajustement des variables de réponse. Ces principales variables sont la largeur du lit, la profondeur à pleins bords, la pente du lit et la sinuosité. Les rivières dites en équilibre dynamique ne sont donc pas fixes mais s'ajustent continuellement autour d'une condition moyenne (Malavoi et al., 2011).

Les aménagements anthropiques peuvent faire varier les paramètres de contrôle parfois de façon durable. La rivière va donc s'ajuster en conséquence en modifiant sa forme et son style fluvial vers la recherche d'un nouvel état d'équilibre.

Les apports en sédiments vont principalement dépendre des conditions hydroclimatiques, géologiques et topographiques, et s'effectuent par différents processus érosifs. Les apports externes distinguent les apports primaires, qui s'effectuent sur les versants par gravité et ruissellement, et les apports secondaires, qui concernent les matériaux amenés par les affluents. Les apports internes, ou le stock alluvial, sont les sédiments pouvant être mobilisés par le cours d'eau dans son lit mineur, sa plaine alluviale ou ses anciennes terrasses (Malavoi et al., 2011).

Le transport des sédiments depuis l'amont vers l'aval peut alors s'effectuer de trois façons différentes selon la puissance fluviale et la taille des particules. La charge de fond est mobilisée par charriage tandis que les alluvions plus fines vont se déplacer par saltation ou même par suspension (fig. 3). La charge de fond ou les particules se déplaçant par saltation ne sont pas les mêmes selon la compétence des cours d'eau.



Figure 3 - Mécanisme de transport des particules

La charge de fond va se déposer en fonction des variations des conditions géomorphologiques du cours d'eau vers l'aval. Les sédiments vont se stocker temporairement et constituer des macroformes. Ces bancs ou dunes vont progressivement migrer vers l'aval au gré des crues.

1.3.2. L'impact des ouvrages transversaux sur le transit sédimentaire

1.3.2.1. Influence de la retenue sur le transit sédimentaire

Un ouvrage transversal a pour conséquence une réduction brutale de la pente de la ligne d'eau sur le linéaire du cours d'eau correspondant à la hauteur de l'aménagement. Le secteur influencé par la modification de la pente est appelé « zone de remous liquide » (fig. 4). La rupture de pente induit une diminution de la capacité de transport et de la compétence du cours d'eau. Il en résulte un stockage de la charge solide parvenant de l'amont dans la zone de remous liquide, formant ainsi un « remous solide » qui se traduit par une rupture de la pente du fond du lit (fig. 5). La charge grossière est la fraction granulométrique principalement impactée du fait de son déplacement par charriage sur le fond du lit. Les sédiments fins peuvent, quant à eux, être stockés lorsque les conditions d'écoulement sont quasi stagnantes du fait d'une hauteur de l'ouvrage particulièrement élevée pour une pente d'origine faible.

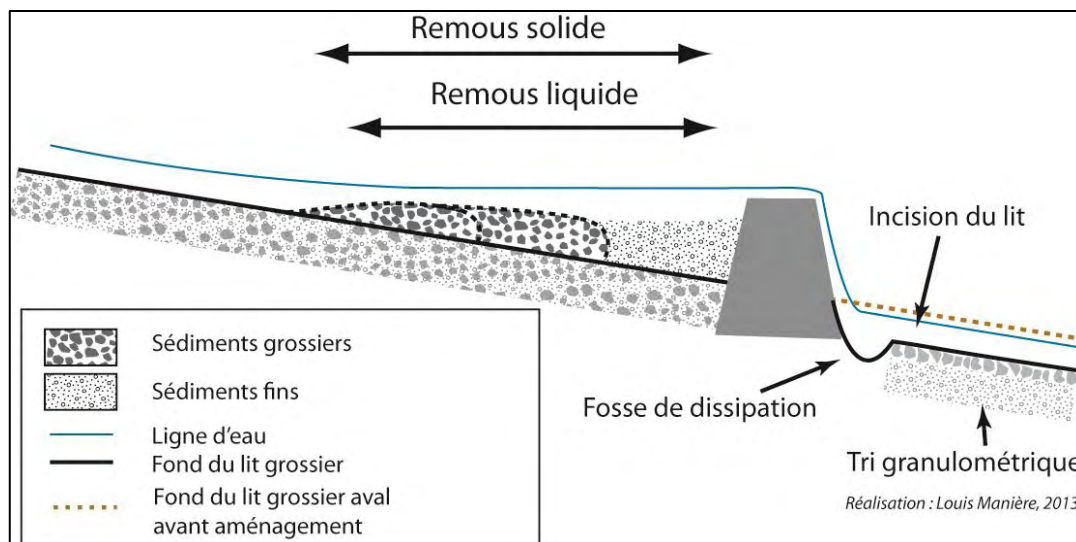


Figure 4 - Impact théorique d'un ouvrage sur l'interception du transit sédimentaire et sur l'altération du substrat et de la morphologie à son aval

La pente peut être restaurée par le remplissage complet de la zone de remous liquide par le stockage des sédiments. Les sédiments pourront de nouveau franchir l'obstacle lorsque que le remous solide aura rempli la retenue. Le remous solide va remonter au-delà du remous liquide de manière à retrouver la pente d'origine (fig. 4). Pour les cours d'eau en écoulement fluvial, il reste pour les ouvrages atterrés une pelle qui correspond à une différence d'altitude entre le fond du lit à l'amont de l'ouvrage et la crête du seuil (fig. 5). Elle n'est néanmoins pas un signe que l'ouvrage n'est pas encore rempli car, à l'amont immédiat du seuil, la vitesse s'accroît du fait du resserrement des filets liquides et l'énergie pour le transport des matériaux se conserve. Le transfert des sédiments charriés peut alors être assuré (Degoutte, 2012).

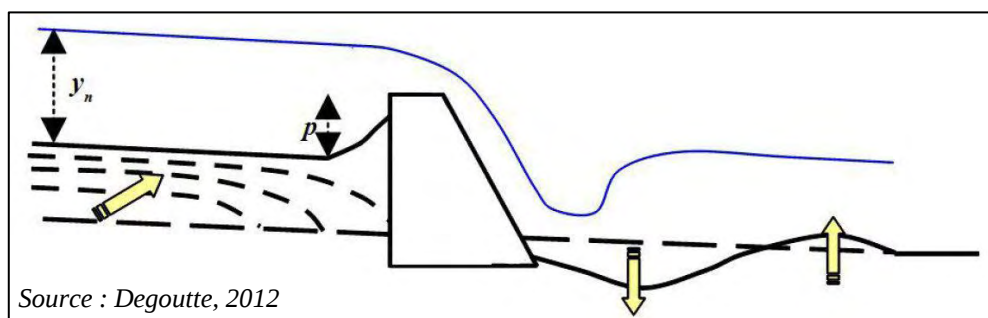


Figure 5 - Schéma de l'évolution des fonds après la construction d'un seuil

1.3.2.2. Conséquence d'un déficit sédimentaire sur la dynamique fluviale

Le piégeage sédimentaire a aussi des conséquences sur une partie du linéaire en aval de l'ouvrage. Immédiatement en aval de l'ouvrage, une fosse de dissipation peut se former. L'énergie de la chute va éroder localement le fond du lit si l'ouvrage n'est pas équipé d'un dispositif permettant de la dissiper.

A l'échelle d'un tronçon, l'interception des sédiments entraîne un déficit de charge solide, et plus particulièrement de matériaux grossiers, pour un débit liquide inchangé. La rivière cherche alors à rétablir un équilibre hydrosédimentaire. Elle dissipe son énergie disponible en érodant dans son stock alluvionnaire par érosion des berges ou du fond du lit. En fonction de

la cohésion des berges ou du fond du lit, le cours d'eau va préférentiellement éroder l'un ou l'autre. La rivière peut inciser le fond de son lit depuis l'amont vers l'aval (incision progressive). Dans ce cas, le lit du cours d'eau tendra à se rétracter au fur et à mesure de son enfoncement dans ses alluvions. Les berges peuvent aussi être déstabilisées par cette incision. Le sapement de la base et l'augmentation de la hauteur des berges créent un déséquilibre géotechnique et l'effondrement de celles-ci. Ce phénomène peut aussi se produire sur des aménagements (digues, ponts) dont les fondations se retrouvent révélées et fragilisées par l'érosion du fond du lit. Dans le cas d'affleurement du substratum rocheux ou de fond du lit trop cohésif par rapport aux berges, le cours d'eau va davantage éroder celles-ci aux dépens du fond du lit.

Dans le cas d'une incision du fond du lit, l'amincissement de la couche d'alluvions peut s'accompagner de la mise en place d'un pavage ou, à plus ou moins long terme, de la disparition du substrat et l'affleurement du substratum rocheux. Un pavage est une couche d'alluvions de surface grossière qui protège une couche de sédiments plus fins qui ne peut être mobilisée que lors d'épisodes hydrologiques exceptionnels (Malavoi et al., 2010). Une distinction peut être faite avec l'armurage qui correspond à un pavage mais les particules grossières constituant la couche de surface sont plus aisément mobilisées. Sa mise en place résulte d'un tri granulométrique lors de la mobilisation des particules par le cours d'eau. Les particules les plus fines (sables, graviers) sont transportées vers l'aval laissant sur place les particules les plus grossières. Caractériser un pavage nécessite de comparer les tailles de particules en surface et dans la couche sous-jacente. On parlera donc ici de processus de « pavage » pour mettre en évidence le tri granulométrique qui a été effectué sur le fond du lit d'un cours d'eau. Le pavage ou l'affleurement du substratum rocheux va stabiliser le fond du lit et stopper son érosion (fig. 6).

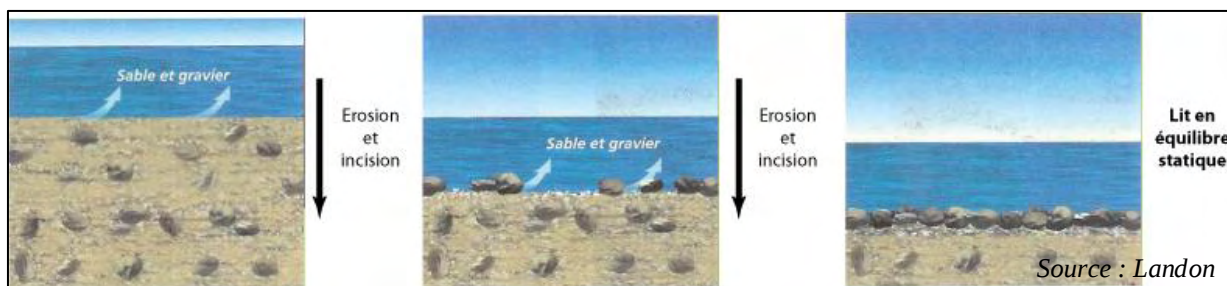


Figure 6 - Processus de mise en place d'un pavage

Un ouvrage peut aussi impacter à son aval par son mode de gestion. Dans le cas d'ouvrages interceptant une importante quantité de matériaux fins, un colmatage peut aussi être observé. Il s'agit d'« un dépôt de sédiments fins (des argiles aux sables) en surface et dans les interstices de substrats plus grossiers » (Malavoi et al., 2010). Suite à des opérations de vidange, d'importants volumes de sédiments fins sont remis en mouvement et l'abaissement brutal du débit les fait se sédimenter. Le colmatage peut alors impacter des secteurs fondamentaux dans le cycle biologique des espèces aquatiques.

Un ouvrage peut donc altérer l'hydromorphologie d'un cours d'eau. Néanmoins son impact sera variable en fonction de l'hydromorphologie du cours d'eau, mais aussi des caractéristiques et du mode de gestion de l'ouvrage.

1.3.3. Typologie des ouvrages transversaux

Les ouvrages transversaux se divisent en deux grandes catégories, les seuils et les barrages :

- un seuil en rivière est un ouvrage qui barre tout ou partie du lit mineur (définition Sandre, 2008) ;
- un barrage est un ouvrage qui bloque une grande partie du fond de vallée, soit davantage que le lit mineur (Malavoi et al., 2011).

L'impact d'un ouvrage sur le transit sédimentaire va principalement dépendre de sa hauteur de chute. Les barrages, s'ils ne disposent pas de passes de dégrèvement ou d'une dérivation, vont bloquer la totalité de la charge de fond. Le rôle de la hauteur de l'obstacle est à nuancer par la prise en compte de la pente et de la puissance fluviale. La longueur du linéaire du cours d'eau impacté en amont d'un ouvrage sera d'autant plus grande si la pente est faible. A *contrario*, la pente de la ligne d'eau peut être rétablie sur des « petits » ouvrages implantés sur un cours d'eau à forte puissance fluviale. Certaines crues pourront temporairement faire franchir la charge de fond au-delà de l'aménagement (fig. 10).

La catégorie des seuils peut aussi être elle-même subdivisée en deux branches, selon qu'ils disposent ou non d'une partie mobile.

- Les seuils ne disposant pas de partie mobile sont dits fixes. Ce type de seuils (ou déversoirs) ne laisse alors s'évacuer l'eau que par déversement. Ces ouvrages sont généralement des seuils de prise d'eau de moulins ou d'irrigation, ou des seuils de stabilisation de pente pour le maintien d'autres ouvrages tels que des ponts.
- Les seuils mobiles comprennent une partie fixe mais aussi une partie mobile plus ou moins grande pouvant être manœuvrée afin d'évacuer une certaine quantité d'eau. Ils sont souvent situés au niveau des usines et sur des cours d'eau à plus faible pente.

Ces derniers seuils, contrairement aux fixes, vont avoir un impact variable sur le transit sédimentaire en fonction du type de leur partie mobile et de leur mode de gestion.

Plusieurs types de parties mobiles existent et présentent différents avantages et inconvénients liés aux manœuvres ou pour la circulation de la charge de fond. Les parties mobiles les plus répandues sont les vannes, les clapets et les aiguilles.

Les seuils à vannes ou à « guillotine » (fig. 7)

Ce dispositif d'ouverture équipe la plupart des seuils mobiles.

Avantage : l'ouverture se faisant par le fond, il permet la circulation de la charge de fond.

Inconvénient : il nécessite souvent une intervention manuelle, ce qui limite leur dimensionnement et le nombre de manœuvres.



Source : conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes, 2007

Figure 7 - Seuil à vannes à Quingey

Les seuils à clapet (Fig. 8)

Avantage : ils permettent le passage des flottants et sont souvent motorisés, les dispositifs d'ouverture peuvent alors être plus larges et automatisés en fonction du niveau d'eau.

Inconvénient : ils ne permettent qu'un écoulement par surverse, une partie de la charge de fond risque de ne pas transiter.



Figure 8 - Seuil à clapet à Lisieux



Les seuils à aiguilles (fig. 9)

Ce sont des seuils plus anciens qui ont tendance à être remplacés par des ouvrages motorisés moins contraignants.

Avantage : il est possible d'enlever entièrement le seuil lors des crues, redonnant au cours d'eau son écoulement et son transit sédimentaire naturels.

Inconvénient : les manœuvres sont particulièrement difficiles et dangereuses.

Figure 9 - Seuil à aiguilles

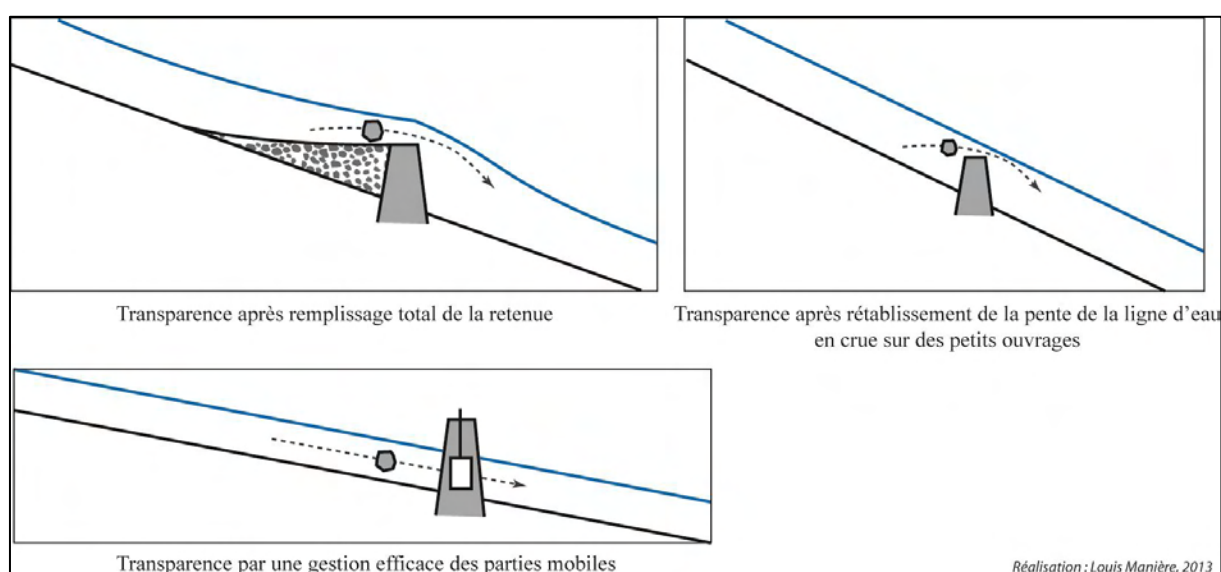


Figure 10 – Schéma de synthèse des différentes situations de transparence des ouvrages à la continuité sédimentaire

1.3.4. Paramètres à prendre en compte dans l'estimation de l'impact d'un ouvrage sur le transit sédimentaire

Les paramètres à prendre en compte pour appréhender l'impact d'un ouvrage sur le transit sédimentaire concernent l'hydromorphologie du cours d'eau et les caractéristiques de l'ouvrage lui-même.

Avant l'évaluation de l'impact d'un ouvrage, des informations ont besoin d'être collectées. La charge solide du cours d'eau, et plus particulièrement la charge de fond en transit, doit être caractérisée. Il faut d'abord savoir si du matériel transite naturellement et quel type de sédiments prédomine. Un ouvrage n'aura que peu d'impact sur un cours d'eau ne transportant pas de charge solide, et notamment de charge « grossière ». Toutes les informations liées à la gestion et à l'entretien de l'ouvrage doivent aussi être récupérées. Il s'agit de connaître les systèmes, les périodes et les fréquences d'ouverture des parties mobiles. Les données quant à l'entretien de l'ouvrage pourront d'une part permettre de comprendre certaines morphologies du cours d'eau (comme le recalibrage) mais aussi d'être averti si l'ouvrage a déjà été rempli de sédiments par le passé (curage de retenue).

La pente de la vallée renseigne sur la puissance fluviale et, avec la hauteur de chute, sur la longueur de la zone sous influence de l'ouvrage. Une première estimation du niveau d'impact de l'ouvrage sur la charge de fond peut être faite au regard de la puissance de la rivière et de la hauteur de l'ouvrage. Une fois ces caractéristiques propres à l'ouvrage et au débit liquide et solide de la rivière acquises, les paramètres morphologiques de la rivière peuvent être analysés.

Comme il est décrit précédemment, les variables de réponse vont s'ajuster au remplissage de la retenue et au déficit sédimentaire. La pente est la variable principale pour l'évaluation du remplissage. Au fur et à mesure du remplissage en sédiments du remous liquide, elle s'aplanit. Ainsi, elle doit montrer une rupture entre l'aval et l'amont du remous liquide. Dans le cas d'une incision sur un grand linéaire en aval de l'ouvrage, la pente devrait rester inchangée. Un comblement de la retenue et/ou une incision en aval de l'ouvrage peuvent être mis en valeur par une discontinuité de hauteur du fond du lit. Le déficit sédimentaire entraîne une modification de la morphologie du chenal d'écoulement. La comparaison de la géométrie hydraulique des tronçons amont et en aval de la rivière devrait alors permettre de révéler des ajustements de la morphologie. Les deux paramètres pris en compte sont la largeur et la profondeur à pleins bords.

Si un phénomène de pavage se met en place, la taille des particules du fond du lit sera plus grande en aval de l'obstacle qu'en amont du remous liquide. La comparaison de mesures granulométriques mettrait en valeur ce processus.

Un ouvrage ne bloque pas uniquement la charge « grossière » en circulation. Des mesures d'épaisseur de sédiments fins déposés dans le remous liquide donnent la possibilité d'évaluer si, *a priori*, les particules fines sont stockées temporairement dans la retenue ou si l'ouvrage a un impact significatif sur leur transport.

Afin de mettre en application la réglementation sur le transport « suffisant » et d'établir un ordre de priorité des interventions sur les obstacles, une méthodologie d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux est nécessaire. Dans cette perspective, la Dreal Centre a proposé une méthodologie théorique afin d'établir les bassins prioritaires d'actions et un protocole de mesure de l'impact des seuils.

1.4. Démarche et problématiques pour l'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire

Dans une volonté opérationnelle de mise en application de la législation, la Dreal Centre propose une méthodologie basée sur l'emboîtement hiérarchisé d'échelles spatiales pour localiser et mesurer les impacts des ouvrages transversaux. La méthode repose sur trois échelles spatiales : le district hydrographique Loire-Bretagne, le bassin versant et le tronçon de l'ouvrage lui-même (fig. 11).

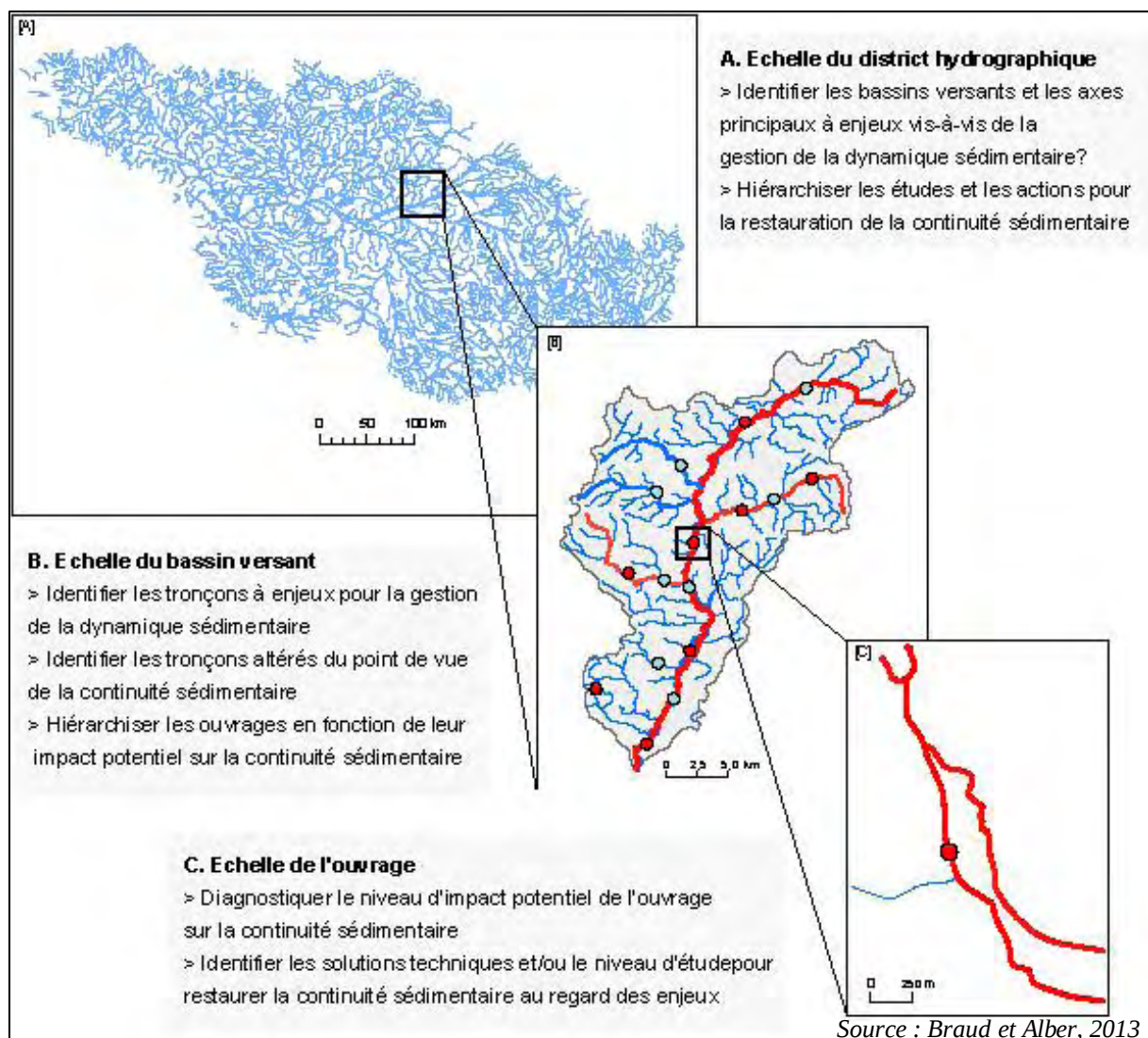


Figure 11 - L'emboîtement hiérarchisé d'échelles spatiales de la méthodologie de la Dreal Centre

1.4.1. Planifier les enjeux de gestion de la dynamique sédimentaire des cours d'eau à l'échelle du bassin Loire-Bretagne

L'objectif défini est de déterminer « une liste de bassins versants prioritaires pour engager des études plus précises » (Braud et Alber, 2013) à l'échelle des bassins de la Loire et de la Bretagne.

Le classement des cours d'eau en application de l'article L.214-17 est déjà réalisé mais l'enjeu sédimentaire reste encore mal défini faute de méthodologie et de données sur les bassins versants. A l'échelle du bassin Loire-Bretagne, les besoins opérationnels sont de comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire des bassins versants et de caractériser les enjeux sur la continuité sédimentaire. Cela nécessite donc d'identifier les dysfonctionnements hydrosédimentaires des bassins versants.

C'est dans cet objectif que la base de données SYRAH-CE (système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau) a été développée par le pôle hydroécologie des cours d'eau Onema-Irstea. Elle consiste à découper le réseau hydrographique de la France en tronçons géomorphologiquement homogènes et à estimer un risque d'altération à partir des pressions anthropiques recensées. Deux paramètres correspondent aux altérations associées à l'impact des ouvrages transversaux, le risque d'altération « continuité sédimentaire » et celui de « structure et substrat du lit ».

L'objectif du stage était donc l'exploitation des résultats obtenus par cet audit sur ces deux paramètres dans une optique de planification des études à réaliser sur les bassins. Cette échelle de travail n'a finalement pas été traitée au profit de l'évaluation à l'échelle de l'ouvrage.

1.4.2. Diagnostic du niveau d'impact d'un seuil ou d'une série de seuils

1.4.2.1. Objectifs du protocole d'évaluation

L'objectif de ce diagnostic à l'échelle d'un ouvrage est « d'évaluer le niveau d'altération de la continuité sédimentaire généré par un seuil ou par une série de seuils situés sur un même tronçon hydromorphologique homogène » (Braud et Alber, 2013).

Les deux questions auxquelles doit répondre ce protocole d'impact sont :

- Est-ce que l'ouvrage perturbe le transit naturel des sédiments ?
- Est-ce que le cours d'eau est altéré en aval de l'ouvrage ?

Il s'agit alors de diagnostiquer le rôle de l'ouvrage dans les dégradations observées. Le protocole se focalise principalement sur l'impact de l'ouvrage sur les sédiments grossiers.

Le protocole est fondé sur la comparaison du linéaire en amont de la zone de remous liquide et de celui en aval de l'ouvrage. La partie amont sert de référence naturelle pour l'évaluation du tronçon aval. Etant donné que l'évaluation de l'impact est réalisée à l'échelle de l'ouvrage, le secteur amont peut aussi avoir été affecté par des pressions anthropiques. Dans l'évaluation de l'état écologique des eaux, aucun des indicateurs biologiques ne permet aujourd'hui de mesurer le risque de dysfonctionnement écologique engendré par un dysfonctionnement sédimentaire (Braud et Alber, 2013). La méthode préconise donc d'étudier la diversité des habitats. Deux protocoles sont décrits : un préconisant de faire des mesures complètes sur l'habitabilité en prenant en compte des milieux et un autre allégé fondé uniquement sur les dégradations du substrat. Le protocole complet doit se baser essentiellement sur trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et le substrat, par exemple le protocole IAM (indice d'attractivité morphodynamique) pour les poissons développé par le Conseil supérieur de la pêche (CSP, 1993-1997) puis finalisé par le bureau d'études Teleos (1999-2003). Le travail réalisé se concentre sur le protocole allégé en partant du postulat qu'une modification du substrat occasionne une altération des habitats aquatiques.

Les mesures effectuées ont pour vocation de mettre en valeur d'une part le niveau de comblement en sédiments dans le remous liquide créé par l'ouvrage et d'autre part l'altération hydromorphologique du tronçon aval.

1.4.2.2. Problématiques pour la mise en application du protocole

C'est cette échelle de travail qui a constitué le cœur du stage. Cela a consisté à définir un protocole, le tester et, en fonction des difficultés rencontrées, l'adapter, et à préciser sa mise en œuvre et la manière d'exploiter les mesures pour poser le diagnostic. Le protocole défini a été appliqué de la même façon sur les ouvrages retenues afin d'assurer la comparaison des valeurs. Il a donc l'adapter en fonction des situations du terrain et matériel à disposition pour que la même méthodologie soit appliquée.

Le choix des ouvrages, dans la méthodologie décrite par la Dreal Centre, est orienté par un diagnostic hydromorphologique à l'échelle du bassin versant. En raison du temps imparti, cette méthode n'a pas été réalisée. Les bassins versants ont été choisis pour leurs différents contextes géomorphologiques et problématiques sur la continuité sédimentaire.

Le choix des bassins versants a été orienté par les connaissances et les problématiques connues.

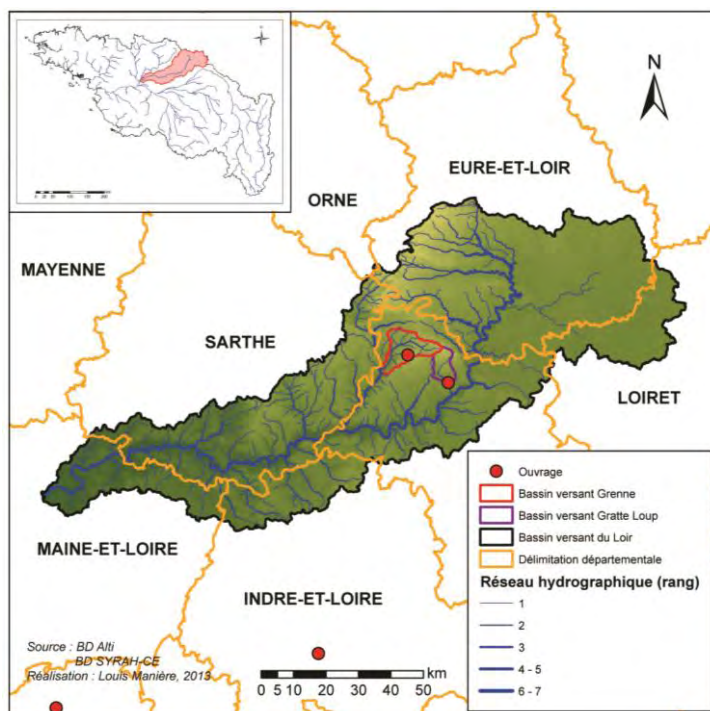


Figure 12 - Bassins versants d'étude dans le bassin du Loir

Deux ouvrages ont été sélectionnés sur le bassin du Loir. Un seuil à Saint-Marc-du-Cor sur un cours d'eau de tête de bassin de la Grenne (superficie de 127 km²). Il est situé à 177 mètres d'altitude. Le second est le moulin des Branloirs dans le bassin du Gratteloup. Il est situé à 113 mètres d'altitude et la superficie du bassin versant amont est de 57 km². Le bassin du Loir a été choisi pour ses enjeux sur la continuité écologique. Une étude est menée par le bureau d'étude Hydro Concept sur la continuité écologique dans le Loir médian. Cette étude a été utilisée pour le choix des bassins versants.

Deux ouvrages ont été choisis sur le bassin de la Gartempe. Un seuil sur le bassin de l'Ardour. Il est situé à 400 mètres d'altitude et la superficie du bassin versant amont est de 40 km². Le second est le moulin de la Chapelle Taillefert tout en amont du bassin de la Gartempe. Il est situé à 480 mètres d'altitude et la superficie du bassin versant amont est de 61 km².

Le bassin de la Gartempe a été choisi pour sa problématique d'ensablement. La partie amont produit des quantités très importantes de sables du fait d'arène granitique très dégradée. Une étude a été menée en partie sur ce sujet par Impact Conseil (2013).

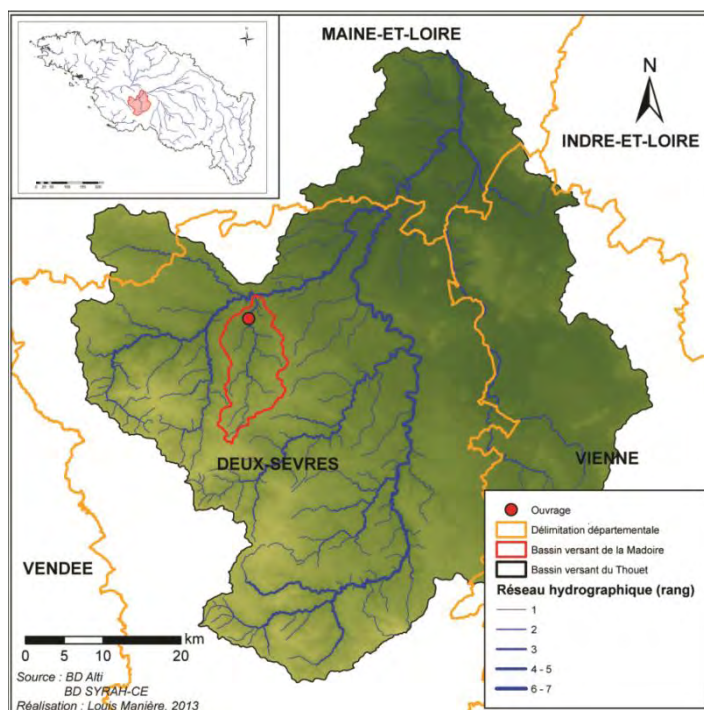


Figure 13 - Bassin versant de la Madoire dans le bassin du Thouet

Un ouvrage a été sélectionné sur le bassin du Thouet. Il s'agit d'un seuil à 105 mètres d'altitude dans la commune de Sanzay dans le bassin versant de la Madoire (101 km² de superficie). La Madoire conflue dans l'Argenton. Le bassin du Thouet a un fort enjeu sur la continuité écologique. La densité d'ouvrages transversaux est forte et certains cours d'eau ont presque plus d'écoulement libre.



Figure 14 - Bassins versants d'étude dans le bassin de la Gartempe

Un ouvrage a été choisi sur le bassin de la Manse. L'ouvrage se situe sur le Courteineau (30 km²) à 100 mètres d'altitude.

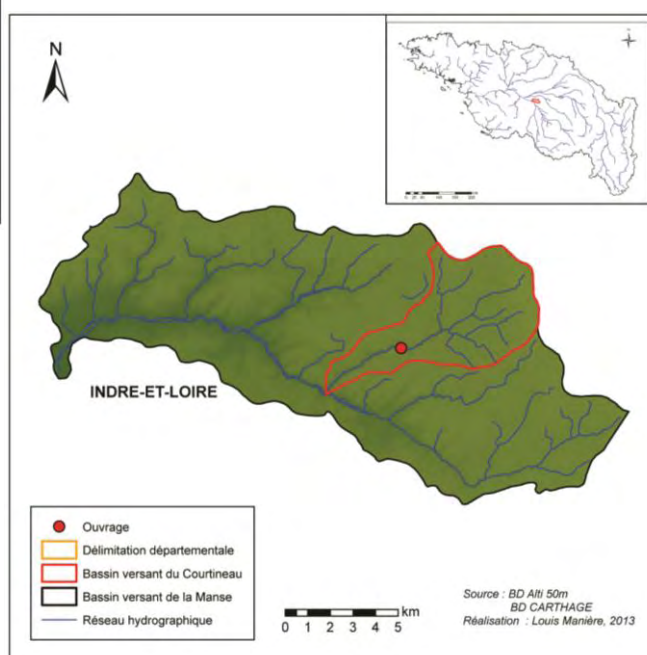


Figure 15 - Bassin versant du Courteineau dans le bassin de la Manse

2. Définition du protocole d'évaluation de l'impact d'un seuil sur le transit sédimentaire

Afin de comparer les résultats des ouvrages, le protocole d'évaluation effectué est le même. En fonction des difficultés rencontrées, des préconisations d'amélioration seront alors proposées.

2.1. Le choix des ouvrages

Pour la sélection des ouvrages sur lesquels appliquer le protocole d'évaluation, cinq syndicats de bassin ont été contactés :

- le syndicat d'entretien du bassin du Beuvron (SEBB),
- le syndicat intercommunal d'études, de réalisations et d'aménagement de la vallée du Loir (SIERAVL),
- le syndicat mixte de la vallée du Thouet (SMVT),
- le syndicat mixte contrat de rivière Gartempe,
- le syndicat de la Manse et de ses affluents.

Les différents animateurs et techniciens des syndicats ont pu présenter leur bassin et leur problématique sur la continuité sédimentaire lors d'une ou de plusieurs rencontres. A ces occasions, plusieurs ouvrages ont été visités et certains ont été retenus. Les ouvrages visités ont d'abord été sélectionnés car ils devaient *a priori* intercepter la charge sédimentaire en transit, et plus particulièrement la charge « grossière ». Tous les types d'ouvrage ont été inspectés, barrages, seuils fixes et mobiles. Finalement, au vu des moyens mis à disposition et du temps imparti, seuls des seuils prospectables à pied et dont le temps de terrain ne devait pas dépasser deux jours ont été choisis. Pour cette raison, le barrage de Bracieux sur le Beuvron n'a pas été conservé.

Sur le bassin de la Gartempe, une problématique complémentaire a été abordée à la demande du syndicat de bassin : le transfert massif de sable sur cet axe.

Sur le bassin du Loir, la démarche a été différente. Le bureau d'études Hydro Concept a collecté, sur le Loir médian et ses affluents, différents paramètres hydromorphologiques afin de faire, entre autres, un diagnostic sur l'altération de la continuité sédimentaire. Les données collectées sur les ouvrages et les cours d'eau ont été utilisées pour la recherche de seuils. L'ensemble des cours d'eau a été prospecté dans le cadre de cette étude. Les opérateurs ont relevé des caractéristiques sur la morphologie, la ripisylve et différents ouvrages appelés « sites hydrauliques » (Hydro Concept, 2012).

Plusieurs échelles de travail ont été développées dans l'étude. Les cours d'eau sont divisés en tronçons homogènes géomorphologiquement en fonction de la géologie, de la pente, de la largeur, du débit et de l'occupation du sol. Ces tronçons sont à leur tour subdivisés en segments selon les altérations hydromorphologiques subies. Ils tiennent aussi compte des types d'écoulement, des berges et de l'occupation du sol. Les segments sont ensuite fractionnés en séquences homogènes. C'est cette dernière échelle qui constitue l'unité spatiale de base du diagnostic.

La sélection des ouvrages a été orientée sur la base des caractéristiques des cours d'eau et des ouvrages relevées sur le terrain. Afin de s'assurer que la retenue de l'ouvrage soit prospectable à pied, le Loir et ses principaux affluents directs ont été évités. Un diagnostic de l'impact des ouvrages sur le transit sédimentaire a été établi par le bureau d'études. Il est basé sur leur hauteur de chute et sur la présence ou non d'ouvrages de manœuvre fonctionnels en prenant en compte leur positionnement, leur automatisation, leur fréquence d'ouverture et le

type de partie mobile. La puissance du cours d'eau ainsi que la présence ou l'absence de bancs alluvionnaires viennent étayer cette évaluation. Cinq classes ont été définies (fig. 16).

Classe 0	incidence nulle de l'ouvrage sur le transit sédimentaire.	hauteur de retenue < 20 cm
Classe 1	incidence faible sur le transit sédimentaire.	hauteur de retenue comprise entre 20 cm et 50 cm OU entre 50 cm et 1 mètre avec présence d'un ouvrage de manœuvre permettant une évacuation régulière de la charge sédimentaire.
Classe 2	Classe 2 : léger blocage sédimentaire, sans incidence à l'échelle du cours d'eau.	hauteur de retenue comprise entre 50 cm et 1 mètre OU entre 1 mètre et 2 mètres avec présence d'ouvrage de manœuvre permettant une évacuation satisfaisante de la charge sédimentaire
Classe 3	Blocage partiel ou temporaire - l'ouvrage a un impact en situation hydraulique limitante ou en cas d'absence de manœuvre suffisante des vannes.	hauteur de l'ouvrage comprise entre 1 et 2 mètres OU entre 2 et 5 mètres avec un ouvrage manœuvrable permettant une évacuation satisfaisante de la charge sédimentaire en conditions de fort débit.
Classe 4	Blocage sédimentaire - La hauteur importante de l'ouvrage, l'absence ou l'insuffisance des manœuvres ne permettent pas l'évacuation de la charge sédimentaire.	hauteur de l'ouvrage est > 2 mètres, sans ouvrage de manœuvre ou avec un ouvrage de manœuvre mal positionnée / insuffisant pour évacuer la charge sédimentaire lors des crues OU la hauteur de l'ouvrage est > 5 mètres

Source : Hydro Concept, 2012

Figure 16 - Classification de l'impact des ouvrages transversaux sur le transit sédimentaire

Malgré l'objectif de trouver des ouvrages interceptant la charge de fond, les seuils avec une trop grande hauteur de chute ont été écartés pour des raisons de difficulté de prospection sur le terrain. La recherche a été aussi alimentée par des données sur les caractéristiques hydromorphologiques des tronçons. Les données sur le substrat dominant du fond du lit réalisées par la méthode visuelle AURAH-CE (audit rapide de l'hydromorphologie des cours d'eau) de l'Irstea (Valette et al., 2013) ont permis de choisir les ouvrages sur des cours d'eau avec une charge de fond « grossière ». La puissance du cours d'eau a permis de s'orienter vers les cours d'eau avec une capacité de transport forte. Enfin, afin d'éviter trop de biais pour l'interprétation des données, les ouvrages dans des secteurs trop fortement soumis à d'autres pressions anthropiques ont été évités. Deux seuils ont finalement été retenus, le moulin des Branloirs sur le Gratteloup et un seuil sur l'affluent du Parc dans le bassin versant de la Grenne.

2.2. Description et utilisation des paramètres d'évaluation de l'impact des seuils sur le transit sédimentaire

Comme il est décrit précédemment, les résultats du protocole doivent répondre à deux questions :

- L'ouvrage intercepte-t-il la charge solide en transit, et plus particulièrement la charge de fond ?
- Il y a-t-il une modification de la structure du substrat alluvial et de la géométrie du lit en aval du seuil ?

Le protocole s'effectue sur des tronçons géomorphologiquement homogènes. On suppose donc qu'en théorie, ces tronçons ont, avant la mise en place de l'ouvrage, une pente, une géométrie hydraulique du chenal et une granulométrie homogènes.

La pente à l'amont de l'ouvrage doit diminuer au fur et à mesure du remplissage de la retenue en sédiments. Ainsi, théoriquement, un profil en long doit révéler une rupture de la pente au niveau du remous liquide (fig. 17). Dans le cas d'une incision progressive du lit en aval de l'ouvrage sur un long linéaire, la pente aval doit rester équivalente à celle en amont du remous liquide (fig. 17).

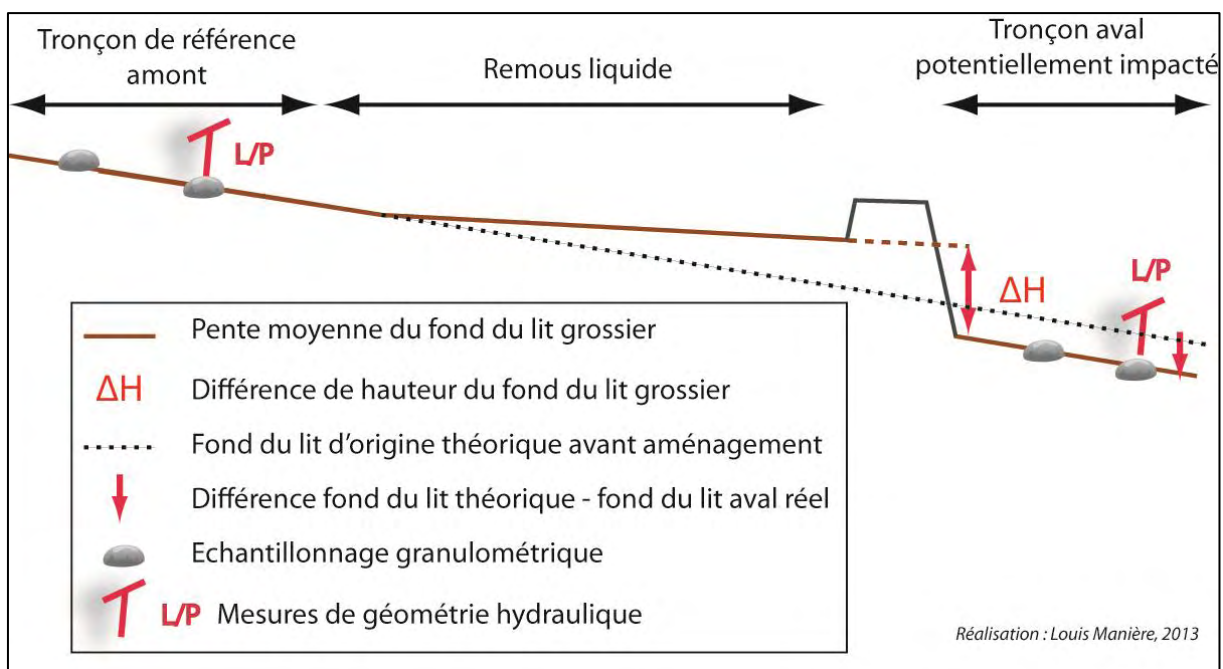


Figure 17 – Paramètres utilisés pour l'évaluation d'impact

L'incision du lit peut être déterminée par l'analyse d'autres variables. Les pentes moyennes des trois tronçons peuvent montrer la variation de hauteur du fond du lit « grossier » (ΔH). Cette variation peut exprimer le comblement de la retenue en sédiments et/ou l'enfoncement du fond du lit en aval de l'ouvrage par incision. Le prolongement de la pente du fond du lit du tronçon amont vers l'aval permet d'estimer le fond du lit théorique du tronçon aval avant aménagement. La comparaison de ce fond de lit aval théorique au fond de lit réel peut mettre en évidence l'abaissement du niveau du fond du lit. Une rupture naturelle de la pente du fond du lit avant ouvrage peut être mise en valeur dans le cas inverse, où le fond du lit réel se situe plus haut que le théorique. Associées aux relevés du profil en long, des mesures d'épaisseur

de sédiments fins sont aussi effectuées. Ces données sont utilisées pour déterminer si l'ouvrage impacte temporairement ou de façon plus durable la circulation des particules fines.

Dans l'intention de préciser la présence éventuelle d'une dynamique d'incision, des mesures de géométrie du chenal d'écoulement et de granulométrie des particules du fond du lit sont réalisées en amont et en aval du remous liquide. La géométrie du chenal correspond à des mesures de largeur et de profondeur à pleins bords. Une augmentation de la profondeur à pleins bords sur le tronçon aval peut traduire une incision du fond du lit. La comparaison des largeurs peut aussi montrer une érosion accrue des berges due à l'augmentation de la dynamique érosive du cours d'eau. La modification générale de ces deux paramètres sera mise en évidence par le calcul du ratio de la largeur sur la profondeur à pleins bords.

Les mesures granulométriques ont pour vocation de montrer si un tri granulométrique s'opère. Cette situation est révélée par une augmentation significative de la taille des particules à l'aval de l'ouvrage.

2.3. Protocole de mesures de terrain

Avant la mise en place du protocole, toutes les informations sur l'ouvrage lui-même, sa gestion, le contexte géomorphologique ou l'anthropisation du linéaire doivent être collectées. Une lecture de la carte topographique, de photographies aériennes et de la base de données SYRAH-CE est déjà susceptible de montrer le niveau de difficulté du terrain et les différents biais à l'interprétation. Les éléments particulièrement importants à relever sont :

- la pente du fond du lit afin d'estimer approximativement la longueur du remous liquide,
- les caractéristiques de l'ouvrage (hauteur de chute, dispositif de vannage, prise d'eau),
- la densité de la ripisylve,
- les pressions déjà recensées (curage, protection de berges, digue, rectification, recalibrage, ouvrages transversaux).

A partir de ces indications, une estimation de temps est donnée. A titre d'exemple, la réalisation du protocole sur environ un kilomètre avec une végétation peu dense nécessite approximativement deux journées complètes pour deux opérateurs.

Sur le terrain, il s'agit de déterminer la longueur du remous liquide créé par le seuil et de parcourir le cours d'eau de façon à délimiter les limites du tronçon amont et du tronçon aval. Selon les protocoles d'évaluation de l'hydromorphologie, la délimitation d'une station représentative varie de l'un à l'autre. Elle dépend principalement de la densité d'informations à collecter et de l'objectif des mesures. La méthode AURAH-CE (Valette et al., 2013) détermine la longueur de la station à échantillonner à $440 \ln$ fois la largeur pleins bords ; plus la largeur est grande, moins le nombre de largeurs pleins bords à parcourir est important. Elle a vocation à compléter la base de données SYRAH-CE et doit donc effectuer des mesures sur un linéaire important. Le protocole CARHYCE (caractérisation hydromorphologique des cours d'eau) prend en compte la distance de 14 fois la largeur pleins bords (Gregory K.J. et al., 1994). Cette distance correspond en théorie à deux séquences de faciès de type radier/mouille/plat pour caractériser l'impact des pressions à une échelle locale. Malavoi et al. (2011) considèrent que la longueur du profil aval et amont de l'ouvrage doit être d'au moins 50 fois la largeur à pleins bords pour caractériser un impact. Pour des raisons de temps de prospection, la longueur considérée ici est d'au moins 14 fois la largeur pleins bords.

L'objectif est de tester plusieurs petits ouvrages pour mettre en avant les limites du protocole liées à la configuration du site.

2.3.1. La réalisation du profil topographique en long

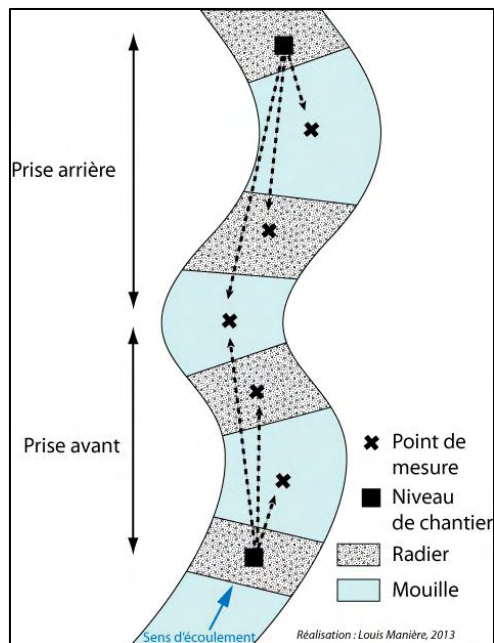


Figure 18 - Schéma de synthèse de la topographie par cheminement

Le profil en long a été réalisé par cheminement à l'aide d'un niveau de chantier et d'une mire, au centre du chenal principal d'écoulement depuis l'aval vers l'amont (fig. 18 et 19). Les hauteurs sont relevées de façon à rendre compte des ruptures de pente du fond du lit et non à une distance fixe. Généralement, lorsque les faciès d'écoulement sont bien marqués, les ruptures de pente correspondent au sommet des radiers et au fond des mouilles. Lorsque le fond du lit n'est pas visible, l'estimation des ruptures de pente se fait au ressenti et à l'aide de la mire. Pour chaque relevé, la hauteur de la ligne d'eau est aussi reportée.

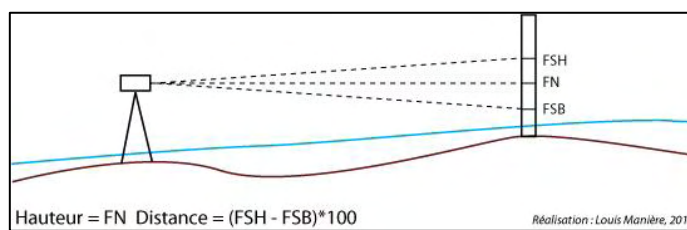


Figure 19 - Utilisation d'un niveau de chantier et d'une mire

Dans la zone de remous liquide, afin de pouvoir repérer sur un profil le fond du lit grossier, la profondeur de sédiments fins est mesurée pour chaque point du profil en long. La mesure est effectuée à l'aide d'une tige métallique graduée. Plusieurs essais sont généralement réalisés pour éviter qu'un élément résistant dans la couche de sédiments ne vienne fausser la mesure.

Au fur et à mesure de l'avancement du profil, il est important de relever tous les éléments morphologiques particuliers et les traces d'interventions anthropiques. Ces indications supplémentaires sont reportées sur un croquis. Ainsi, il convient de marquer principalement les éléments de contrôle local du profil en long et de dépôts sédimentaires (affleurement du substratum rocheux, arbre effondré), les faciès d'écoulement et les pressions humaines. Ces données seront utilisées pour mieux comprendre l'évolution du profil en long.

Plusieurs éléments peuvent rendre les mesures difficiles et ralentir la prospection. L'estimation du temps des mesures doit prendre en compte la densité de la végétation des berges, en particulier sur les petits cours d'eau étroits, qui gêne la lecture à la lunette de chantier et force l'opérateur à des déplacements réguliers. Une autre difficulté est le niveau d'envasement de la retenue de l'ouvrage. Cela ralentit les mesures et peut les fausser dans le cas où le trépied, support de la lunette, se retrouve en instabilité du fait de son enfoncement dans la vase.

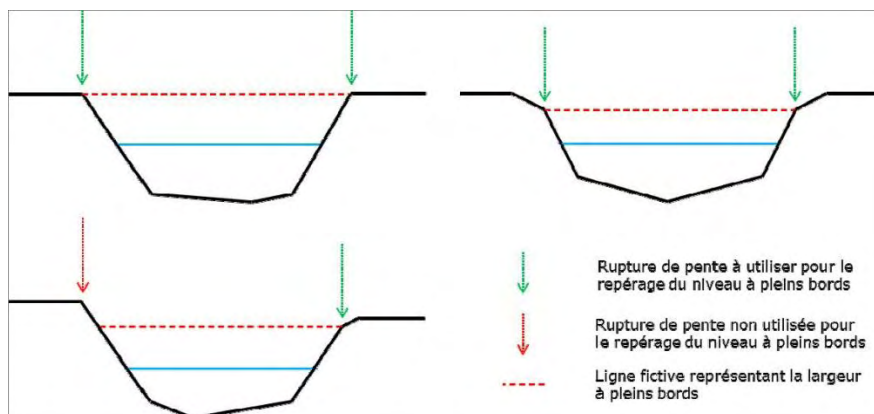
2.3.2. Mesurer la géométrie hydraulique du lit

La mesure de la géométrie du lit consiste à comparer la largeur et la profondeur à pleins bords. Ces deux dimensions sont effectuées sur les tronçons en aval et en amont du remous liquide. De manière à ce que les mesures soient comparables, elles ont été réalisées au sommet des radiers (fig. 20). Il est préconisé d'éviter les chenaux dissymétriques comme les méandres. Lors de l'élaboration du profil en long, il est important de localiser les profils transversaux réalisés afin de les situer plus facilement par la suite. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un décimètre et de la mire graduée. Le décimètre est déroulé perpendiculairement à l'écoulement et parallèlement à la ligne d'eau entre les deux berges (fig. 20).



Figure 20 - Détermination de la largeur et de la profondeur à pleins bords

Les berges à pleins bords correspondent à la limite du débit à plein bords, c'est-à-dire à la capacité d'écoulement maximale du chenal avant débordement dans le lit majeur. Cette limite coïncide généralement avec une forte rupture de pente. La largeur pleins bords est alors la longueur du décimètre qui « relie horizontalement le bord de berge le plus bas à la berge opposée » (AURAH-CE, Valette et al., 2013) (fig. 21). Il faut éviter de localiser les largeurs au niveau de berges modifiées par des aménagements ou des activités humaines, comme des abreuvements bovins. Il est aussi conseillé d'écarter les berges fixées par une ripisylve arborée.



Source : AURAH-CE, Valette et al., 2013

Figure 21 - Mesure de la largeur à pleins bords en situation naturelle

La profondeur à pleins bords est la plus grande longueur perpendiculaire à la largeur à pleins bords. Elle ne se positionne donc pas au centre du chenal mais à la zone la plus profonde (fig. 20). A l'origine, plusieurs profondeurs étaient mesurées, le protocole a été simplifié afin d'effectuer plus de profils et ainsi d'avoir une évolution plus exhaustive de ces paramètres. La mesure est réalisée à l'aide de la mire graduée.

2.3.3. La granulométrie des particules du fond du lit



Figure 22 - Echantillonnage granulométrique par la méthode de Wolman (1954)

La méthode utilisée est celle dite de Wolman (1954). Elle consiste à prélever au moins 100 particules de façon aléatoire sur la surface du fond du lit. L'opérateur suit une « grille » d'échantillonnage afin de prélever sur toute la surface voulue. La grille peut être matérialisée par un décamètre étendu en travers du lit (fig. 22). L'opérateur prendra une particule à un pas de distance égal de façon à en collecter au moins 100. Ainsi, pour une surface de 10 m², le pas de distance sera de 10 cm. Le diamètre mesuré correspond à l'axe b ou intermédiaire de la particule (fig. 23).

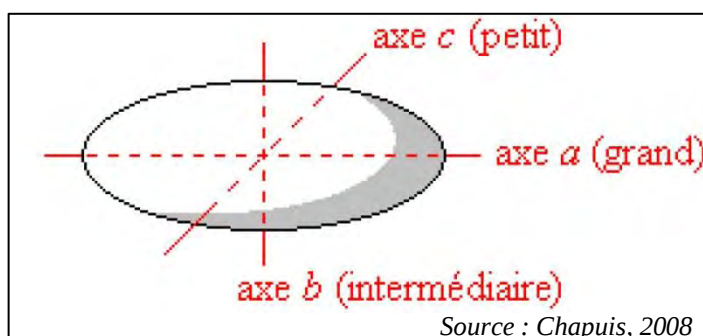


Figure 23 - Définition des axes caractéristiques d'une particule

Les échantillonnages granulométriques ont été faits sur des radiers en évitant ceux où le substratum rocheux affleure. L'ensemble des radiers en amont et en aval de la zone de remous liquide n'a pas été échantillonné, seuls deux ou trois radiers le sont. La surface d'échantillonnage correspond au secteur le plus affleurant du radier.

La représentation des données s'effectue par la réalisation d'une courbe granulométrique (cf. annexe 2). La comparaison de ces courbes va pouvoir mettre en avant l'évolution granulométrique du fond du lit. Deux diamètres vont aussi plus particulièrement être étudiés. Le diamètre médian (D50) va servir de valeur de référence pour résumer l'ensemble des échantillons, tandis que le neuvième décile (D90) servira de référence pour les particules les plus grossières.

Dans certaines situations, les mesures quantitatives de surface ont été complétées par une estimation qualitative de la sous-couche. Elle a pour but de permettre à l'opérateur d'avoir une meilleure estimation de la couche de surface et de celle sous-jacente. Pour cela, les sédiments sont prélevés dans un seau au moyen d'une pelle puis passés au travers de deux tamis avec un maillage respectif de 7 et 2 millimètres (fig. 24). Ces tamis laissent alors filtrer

les sables et la majeure partie des graviers. La comparaison visuelle des trois tailles de particules donne une indication supplémentaire sur la granulométrie de la couche d'alluvions du fond du lit bien que l'information uniquement visuelle n'est pas exploitable en l'état.

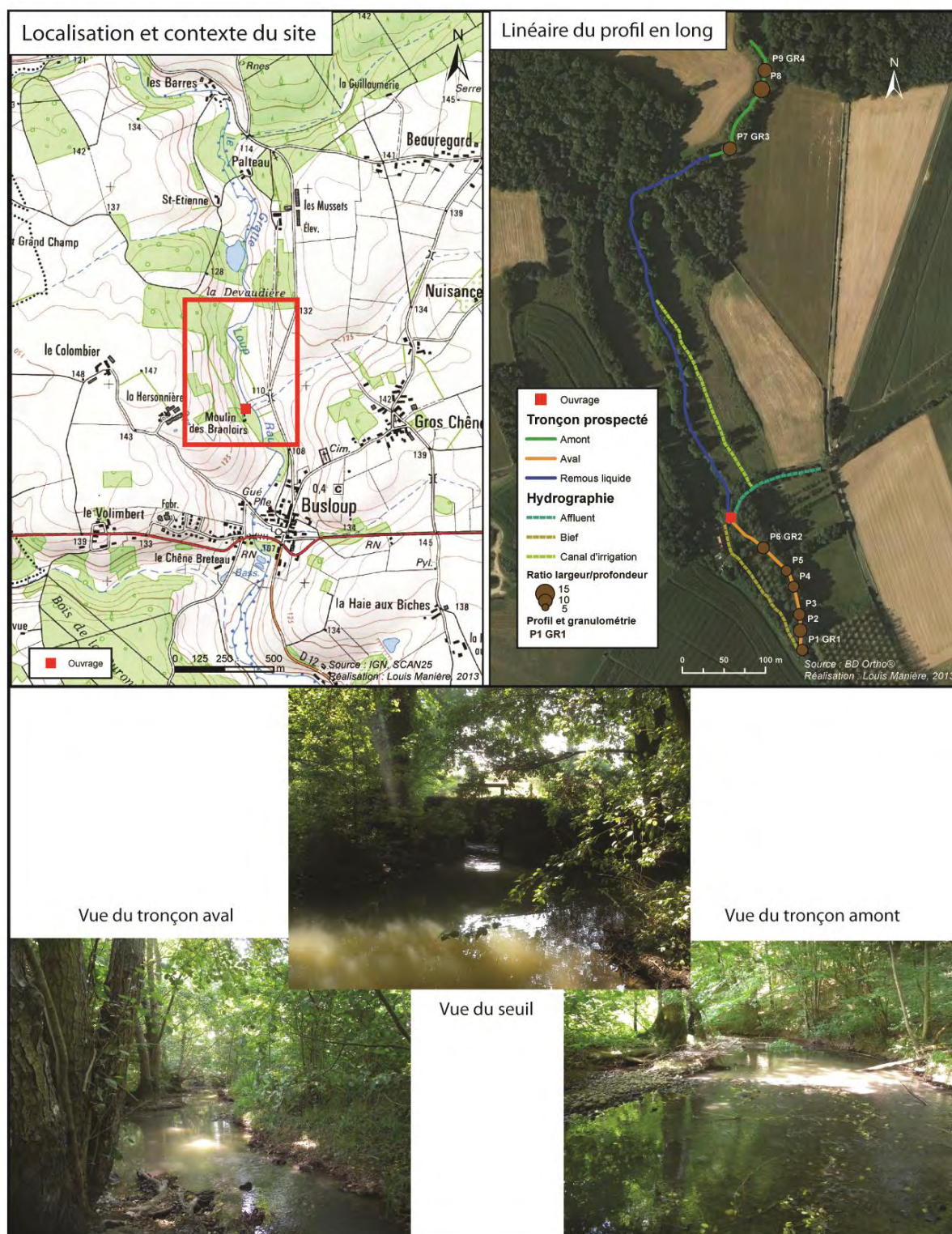


Figure 24 - Exemple de l'utilisation des tamis

3. Résultats, interprétation des données et retour méthodologique

3.1. Description des résultats issus du protocole

3.1.1. Le moulin des Branloirs sur le Gratteloup



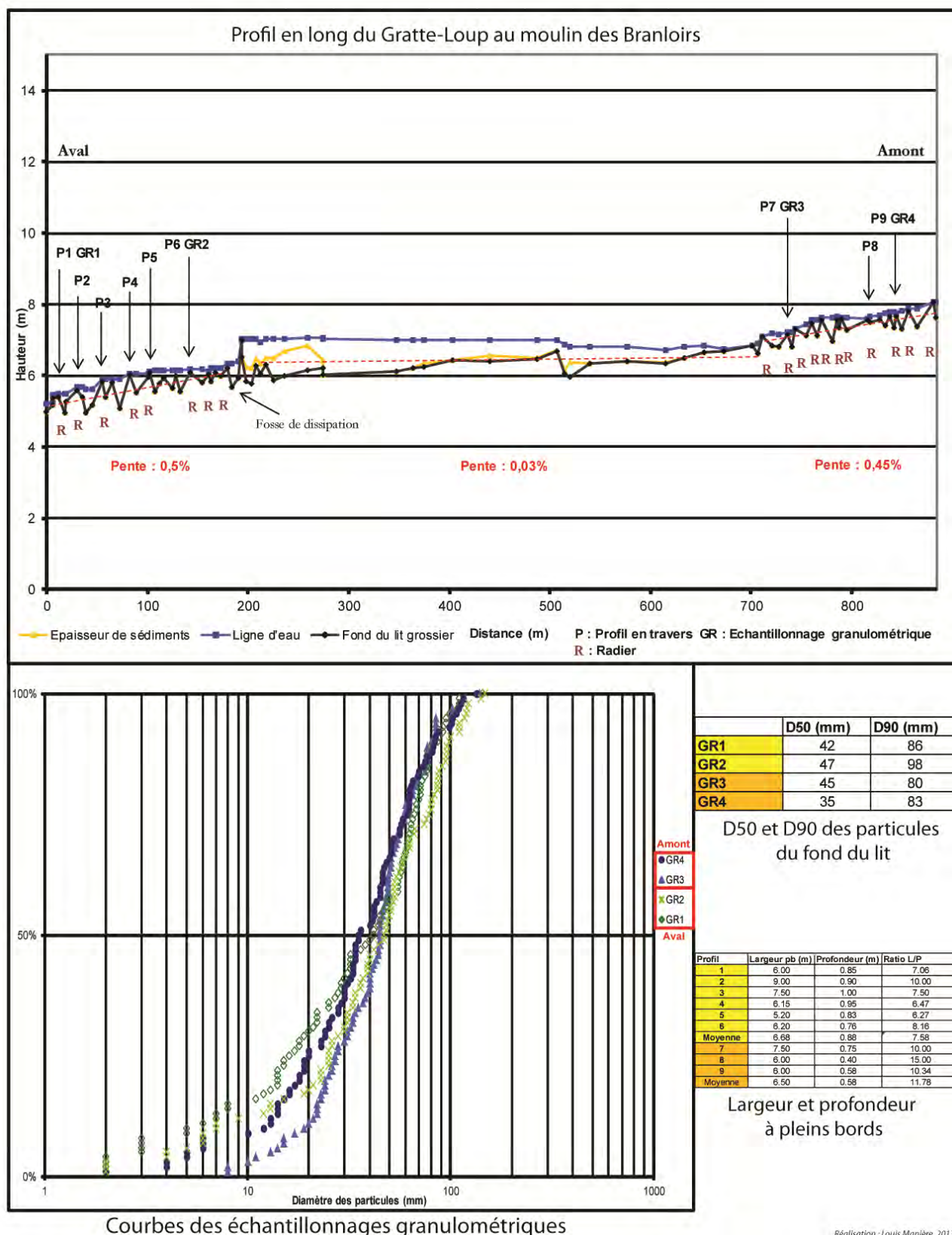


Figure 26 - Résultats des paramètres mesurés au moulin des Branloirs sur le Gratteloup

3.1.1.1. Contexte géomorphologique de la vallée

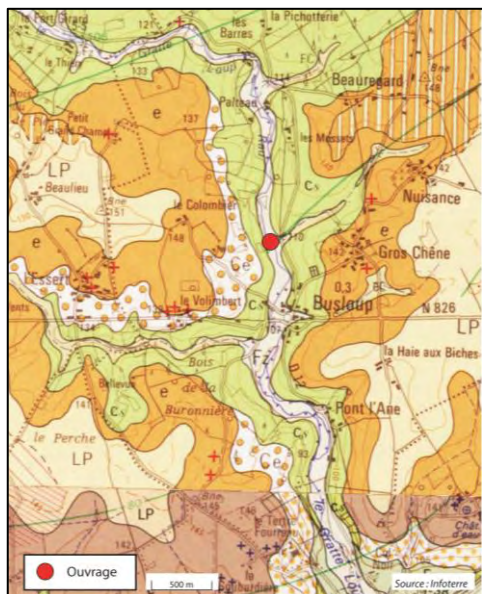


Figure 27 - Géologie de la vallée du Gratteloup

La vallée du Gratteloup est étroite (de l'ordre de 100 mètres) avec des versants raides et a une pente de 0,49 % (SYRAH-CE, 2012). Le Gratteloup est un affluent du Loir de 16 km de long. Elle est peu sinueuse sur le tronçon étudié et un fond de vallée homogène (fig. 27). Elle a une largeur de 6-7 mètres et une pente de 0,47 %. Un plan d'eau équipé d'un bras de contournement est situé 3 km en amont de notre zone d'étude. A un kilomètre en aval, au niveau de Busloup, un petit seuil est aussi présent mais il n'impacte pas le tronçon prospecté. En amont de l'ouvrage le cours d'eau traverse une petite zone forestière et à l'aval le Gratteloup passe dans une peupleraie. En dehors de ces deux zones, la végétation rivulaire est peu dense voir absente.

3.1.1.2. Description de l'ouvrage

L'aménagement est constitué d'un seuil construit en maçonnerie comportant deux parties mobiles (fig. 28) :

- Une vanne levante alimentant le bief du moulin,
- Une autre vanne levante alimentant le bras naturel. La hauteur de chute entre le débordement par-dessus la vanne et le fond du lit aval est de 1 mètre.

Le moulin n'est plus en activité mais le seuil sert encore à l'alimentation d'un canal d'irrigation. Le cours d'eau est classé en liste 2 au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement. L'ouvrage doit donc être mis en conformité avec la réglementation visant à restaurer la continuité écologique. On ne dispose pas de données sur l'ancienneté de l'ouvrage.

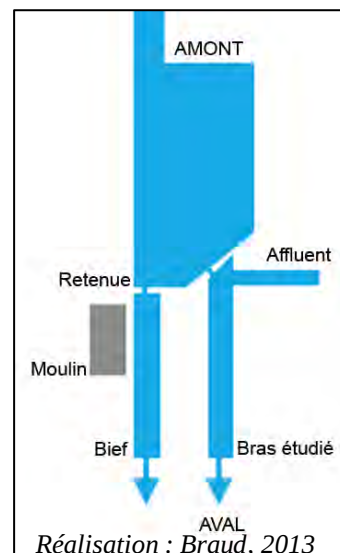


Figure 28 – Schéma de l'aménagement

3.1.1.3. Description du profil en long

Les pentes du fond du lit « grossier » des tronçons amont (0,45 %) et aval (0,5 %) sont sensiblement identiques. Celle du tronçon correspondant au remous liquide est nettement plus faible (0,03 %). Il y a une rupture de pente significative au niveau du remous entre les tronçons aval et amont. On peut distinguer deux zones dans le remous liquide. Une partie amont avec un fond « grossier » plus haut de 50 cm et une partie aval avec un fond grossier plus bas. Plusieurs hypothèses permettraient d'expliquer ce fond du lit. Une progression du remous solide grossier pourrait expliquer cette rupture de pente. Considérant cette hypothèse, le fait que cette avancée sédimentaire n'arrive pas jusqu'au-devant de l'ouvrage peut-être dû à des opérations de curage, aux dispositifs de vannage permettant d'évacuer les sédiments les plus proches, ou la progression s'effectue très lentement. Le fond du lit « grossier » aval théorique est particulièrement bas par rapport au fond du lit réel (1,4 m). Le fond du lit en aval de l'ouvrage reste dans la continuité du fond du lit « grossier » du remous liquide. La

densité de radiers est légèrement plus élevée en amont du remous qu'en aval (11 pour 200 m à l'amont, contre 8 pour 200 m à l'aval).

Le tronçon amont a une rupture de pente locale (replat à l'aval du profil P8). Au niveau du profil P7, les observations de terrain montrent une importante accumulation sédimentaire. De part et d'autre du profil P5, le profil en long montre une autre discontinuité de la pente. A son amont, l'amplitude des variations verticale est moins marquée et la pente plus faible.

3.1.1.4. Géométrie hydraulique

A l'amont les largeurs et profondeurs à pleins bords sont en moyenne de 6,5 et 0,6 m et a l'aval de 6,7 et 0,9 m. En moyenne, le lit est plus profond de 30 cm, soit une augmentation de 50 %. La largeur à pleins bords reste cependant inchangée. Ainsi, le ratio entre les largeurs et les profondeurs tend à diminuer à l'aval (7,6 contre 11,8).

3.1.1.5. Granulométrie

Les sables et sédiments fins sont présents principalement juste en amont de l'ouvrage dans le remous liquide. La surlargeur de la retenue peut expliquer en partie ce stockage. Les dépôts se répartissent sur 16 % de la longueur du remous liquide et l'épaisseur maximale recensée est de 0,7 m.

Les valeurs de D50 sont de 42 et 47 mm à l'amont et de 35 et 45 mm à l'aval. La granulométrie des particules reste donc globalement uniforme. Le D90 montre une faible variation avec des valeurs de 86 et 98 mm à l'amont et de 80 et 83 mm à l'aval. On ne distingue néanmoins pas de différence significative de taille des particules. Sur les courbes granulométriques, les particules sont un peu plus grossières au-delà du D50, mais restent dans le même ordre de grandeur.

3.1.2. Le seuil sur la rivière du Courtineau

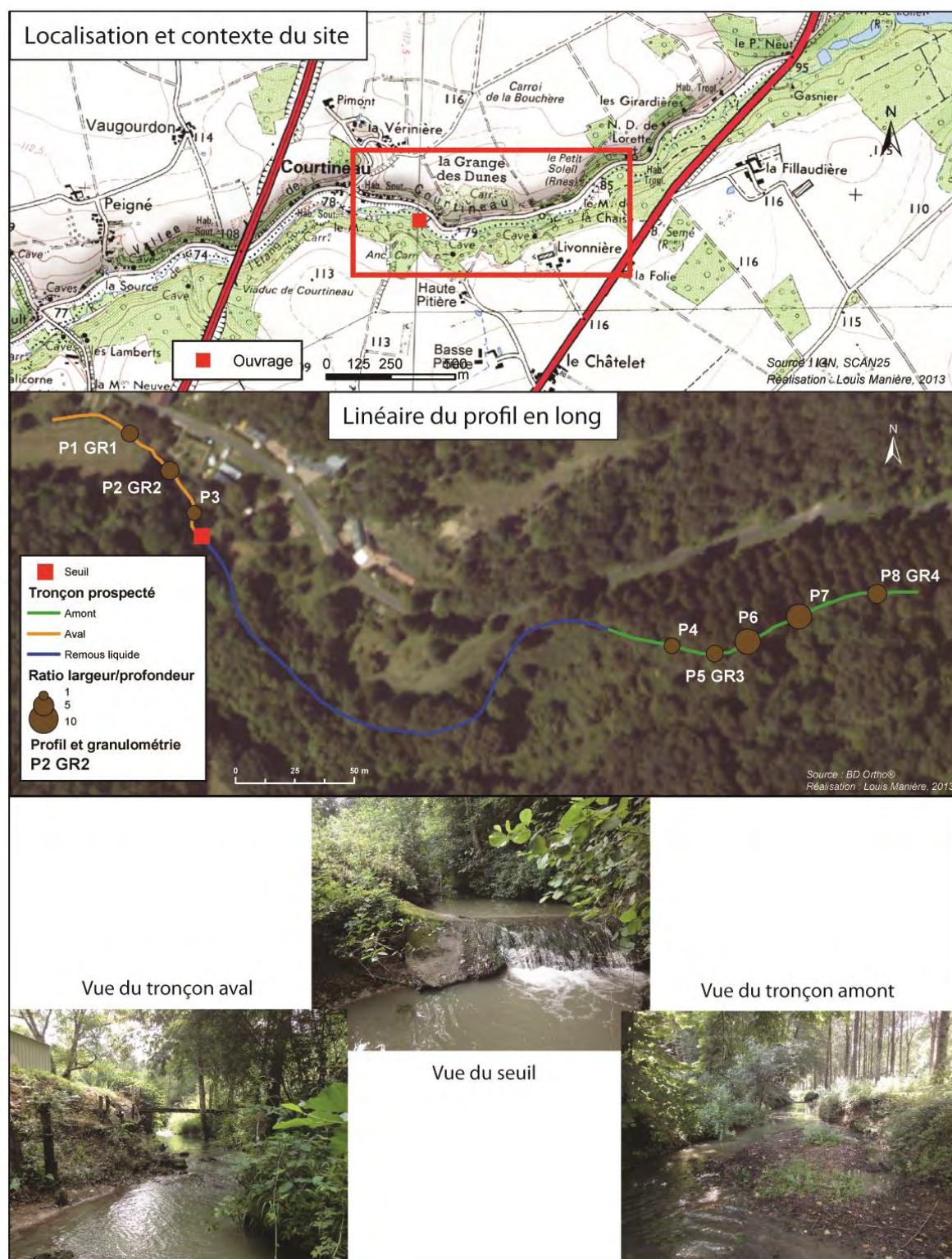
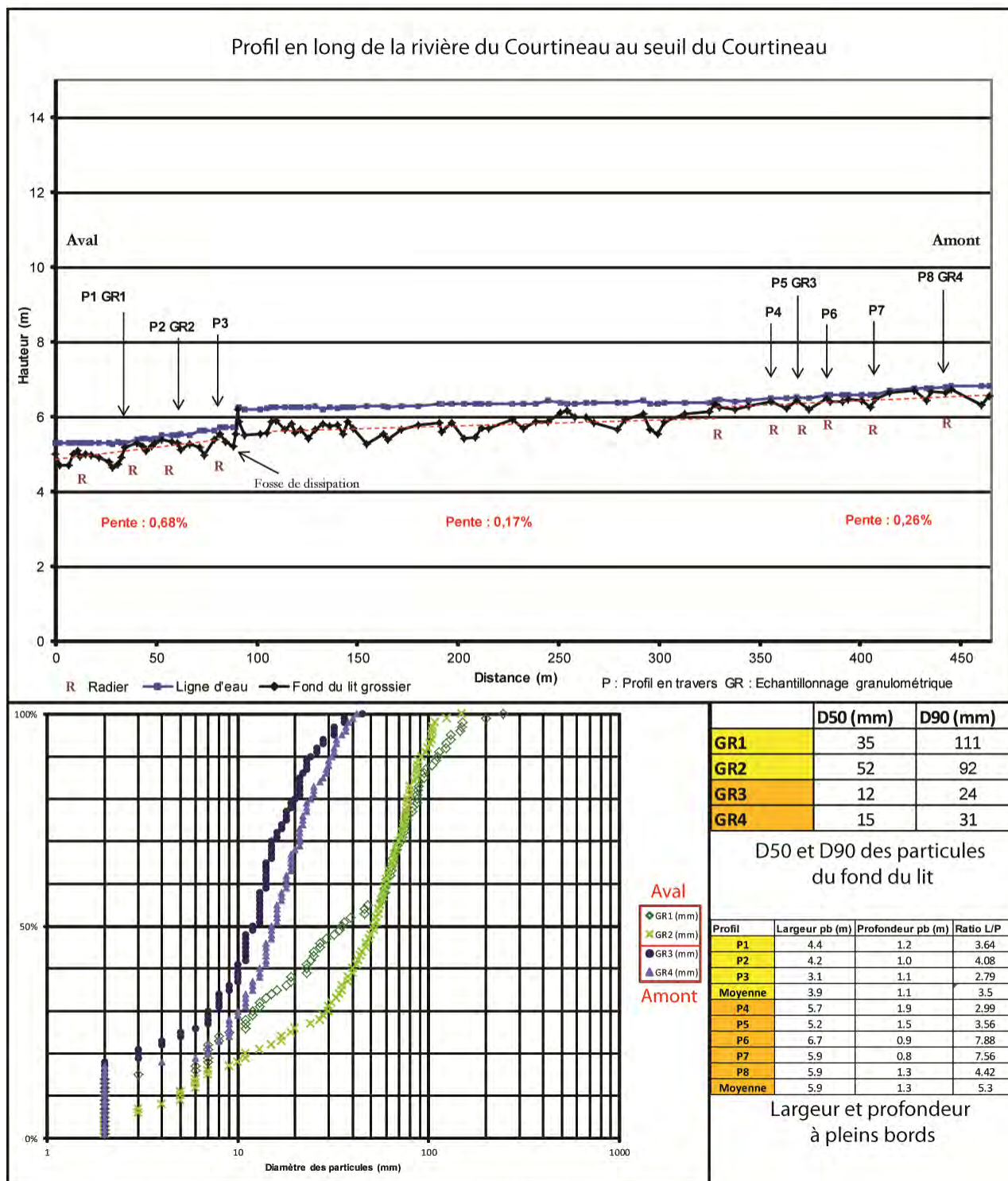


Figure 29 - Contexte et localisation du seuil sur le Courtineau



Courbes des échantillonnages granulométriques

Réalisation : Louis Manière, 2013

Figure 30 - Résultats des paramètres mesurés au seuil du Courteineau

3.1.2.1. Contexte géomorphologique de la vallée

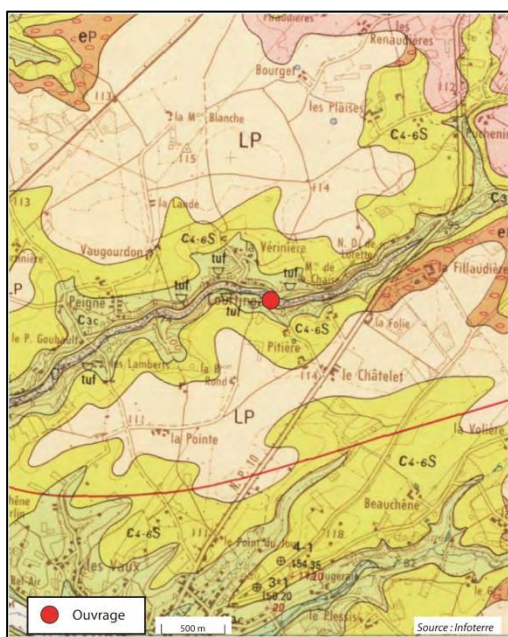


Figure 31 - Géologie de la vallée du Courtineau

Le Courtineau est situé entre deux plateaux calcaires et a une plaine alluviale contrainte par des versants raides (fig. 31). Le fond de vallée est étroit et le cours d'eau peu sinueux. Ce dernier a une largeur de 4 à 6 m et une pente moyenne de 0,35 %. Un pont barrage et un moulin se situent respectivement en amont et en aval du site d'étude. La végétation occupe la majeure partie des marges du cours d'eau notamment avec une peupleraie en amont de l'ouvrage.

3.1.2.2. Description de l'ouvrage

Cet ouvrage est un seuil fixe en béton de 50 cm. Il sert actuellement à l'alimentation d'un bief parallèle au cours d'eau.

3.1.2.3. Description du profil en long

La pente du fond du lit « grossier » du tronçon amont (0,26 %) est plus faible que celle du tronçon aval (0,68 %). Celle du fond dans le remous liquide est de 0,17 %. Il y a donc une rupture de pente entre le fond du lit en aval de l'ouvrage et le tronçon correspondant au remous liquide. Entre ce dernier tronçon et l'amont du remous, la rupture de pente est plus faible. Le fond du lit « grossier » aval théorique est plus haut de 0,5 m par rapport au fond du lit réel. Il n'y a pas de discontinuité du fond du lit « grossier » de part et d'autre de l'ouvrage. Le profil en long permet d'identifier un replat en aval du profil P1. Un radier artificiel a été ici aménagé par les riverains. De ce fait, le premier profil transversal n'est pas situé davantage en aval. Les observations de terrain ont permis d'identifier une zone d'accumulation sédimentaire en aval de P4 pouvant correspondre à la fin du remous solide. La proportion de radier en amont et en aval du remous liquide est équivalente (4 pour 100 m).

3.1.2.4. Géométrie hydraulique

A l'amont, les largeurs et profondeurs à pleins bords sont, en moyenne de 5,9 et 1,3 m, et de 3,9 et 1,1 m à l'aval. La profondeur à pleins bords baisse en moyenne de 20 cm d'amont en aval. Les largeurs du lit sont nettement moins grandes en aval de 51 %. Ainsi, le ratio entre les largeurs et les profondeurs à pleins bords tend à diminuer à l'aval (3,5 contre 5,3). Les observations de terrain ont pu mettre en valeur un affouillement du pied du ponceau en aval de l'ouvrage (fig. 32).



Réalisation : Louis Manière, 2013

Figure 32 - Affouillement du pied du ponceau en aval de l'ouvrage

3.1.2.5. Granulométrie

Les D50 des particules sont respectivement de 12 et 15 mm en amont et de 35 et 52 mm en aval. Les valeurs du D90 sont de 24 et 31 mm en amont et de 111 et 92 mm en aval et. En moyenne, la taille des particules augmente à l'aval de 30 mm pour le D50 et de 74 mm pour le D90. La différence de granulométrie des particules est très nettement marquée entre l'amont et l'aval du remous liquide. Les courbes granulométriques montrent aussi l'abondance de la fraction grossière en aval de l'ouvrage.

3.1.3. La scierie du Camp sur l'Ardour



Figure 33 - Contexte et localisation de la scierie de l'Ardour

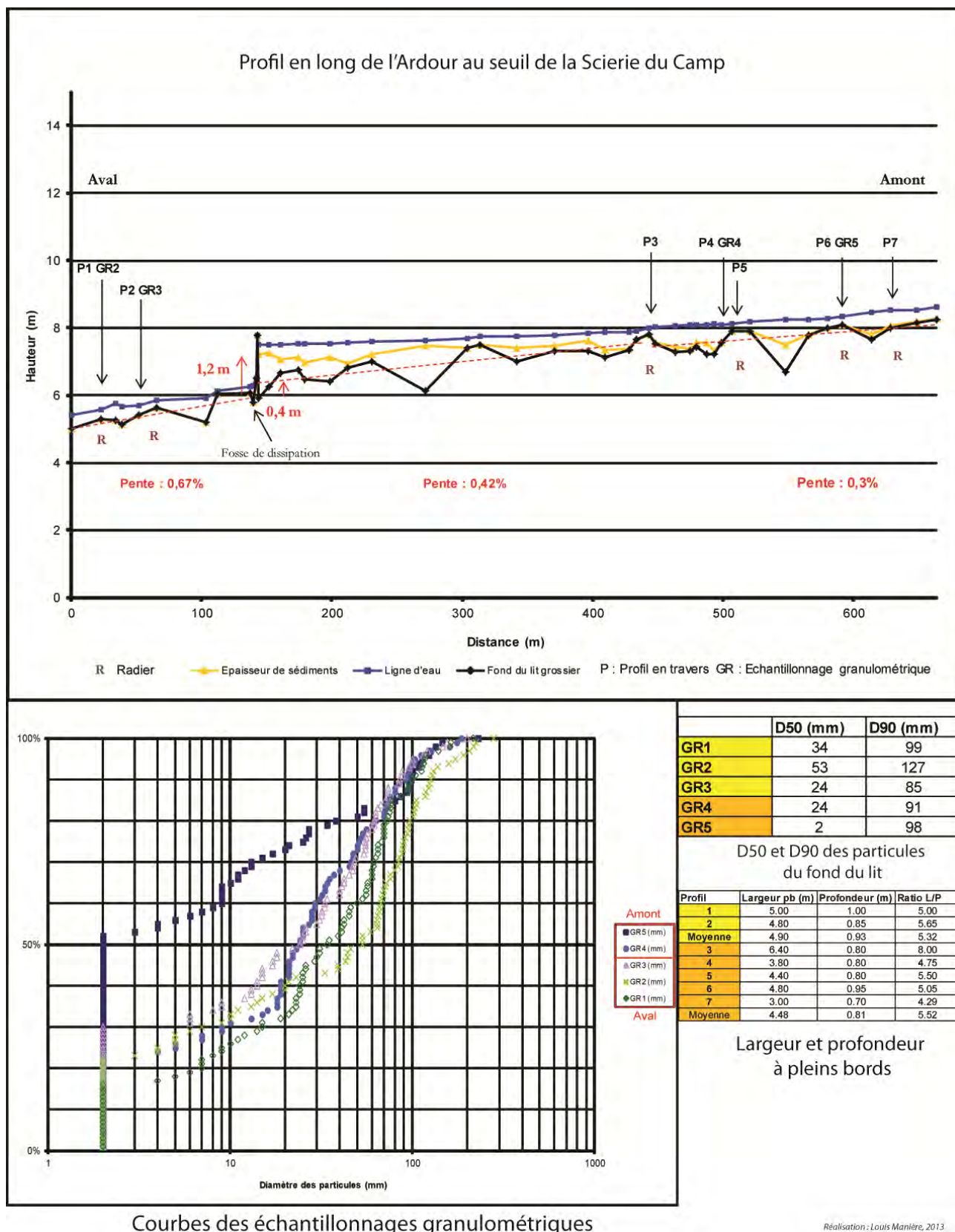


Figure 34 - Résultats des paramètres mesurés au seuil du Courtineau

3.1.3.1. Contexte géomorphologique de la vallée

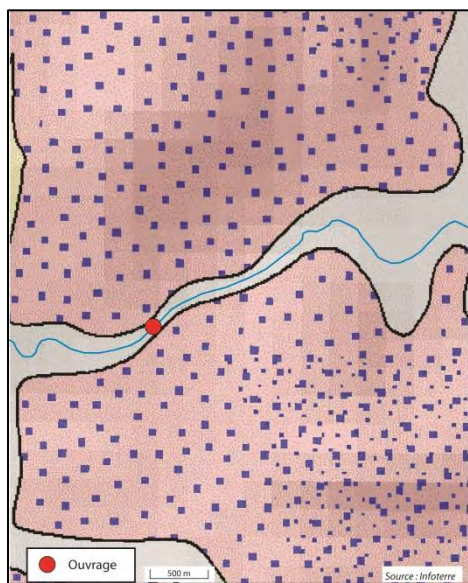


Figure 35 - Géologie de la vallée de l'Ardour

Le lit de l'Ardour a, dans notre zone d'étude, une largeur de 4 à 6 m et une pente moyenne de 0,40 %. La vallée peut être divisée en trois secteurs. Le secteur amont comprend un large fond de vallée et le cours d'eau y est sinueux. Plus en aval, la vallée se rétrécit et le cours d'eau est complètement rectiligne (fig. 35). Sa rectitude et les changements d'orientation à angles droits laissent supposer une rectification de l'Ardour sur ce tronçon. Enfin, en aval de l'ouvrage, le fond de vallée s'élargit de nouveau et reforme des méandres. La pente de la vallée est en moyenne de 0,98 % (SYRAH-CE, 2012). Un moulin est présent à un kilomètre en aval de la zone d'étude, mais il n'affecte pas notre tronçon d'étude, et juste en aval de l'ouvrage les riverains ont enroché les berges.

3.1.3.2. Description de l'ouvrage

Le seuil est en maçonnerie avec une hauteur de chute de 1,8 m. La scierie pour laquelle il a été construit est encore en activité. Son utilisation nécessite le retrait manuel des planches du seuil. La hauteur de chute diminue durant les lâchers, évacuant certainement de ce fait une partie des sédiments stockés dans la retenue. Celle-ci a été curée entre les 9 et 12 octobre 2012, de la vase et du sable ont majoritairement été retirés. Le fond du bassin, jusqu'à 20 m en amont du seuil, est maçonné.

3.1.3.3. Description du profil en long

La pente du fond du lit « grossier » du tronçon amont est plus faible que celle du tronçon aval (0,3 contre 0,67 %). La pente du fond du lit « grossier » du remous liquide est de 0,42 %. Il y a donc une rupture de pente significative entre le fond du lit aval et le fond du lit dans le remous liquide. Cependant, la pente du fond du lit « grossier » est plus importante que celle du tronçon amont. Nous avons estimé que le remous liquide s'étendait jusqu'au niveau du profil P3 car le fond du lit est très légèrement au-dessus de la cote maximale du seuil (1 cm de différence). On peut également supposer que l'impact de la rupture de la ligne d'eau se prolonge jusqu'au niveau du profil P4. Dans ce cas, les pentes du fond du lit « grossier » du remous liquide et du tronçon amont sont respectivement de 0,33 et 0,36 %, soit presque similaires. De part et d'autre de l'ouvrage, il y a une discontinuité du fond du lit « grossier » de 0,4 m. Le fond du lit « grossier » aval théorique est 1 m plus haut que le fond du lit aval correspondant. La proportion de séquence radier-mouille est équivalente en amont et en aval du remous liquide (2 pour 100 m).

3.1.3.4. Géométrie hydraulique

La largeur moyenne à pleins bords est de 4,48 m en amont et de 4,9 m en aval. Les profondeurs moyennes à pleins bords entre l'amont et l'aval sont respectivement de 0,81 et 0,93 m. La largeur augmente légèrement et la profondeur un peu plus, mais pas de manière significative. Les ratios sont donc très similaires (5,52 en amont contre 5,32 en aval).

3.1.3.5. Granulométrie

Les sédiments fins se distribuent graduellement dans la totalité du remous liquide depuis l'amont vers l'aval. Il y a aussi un dépôt localisé de sédiments fins juste en amont du profil P5. La pente du fond du lit, en prenant en considération les dépôts de sédiments fins, est très faible (0,018 %). De part et d'autre de l'ouvrage, la discontinuité entre cette dernière pente et la pente du fond du lit du tronçon aval est de 1,2 m. Les sédiments fins se répartissent sur 53 % de la longueur du profil en long et l'épaisseur maximale recensée est de 1,3 m.

Un échantillonnage granulométrique réalisé n'est pas ici représenté (GR1), une partie du tronçon aval prospecté a été retirée, une erreur de mesure ne permettait pas de rattacher la partie la plus en aval.

Les valeurs de D50 sont en amont de 24 et 2 mm et en aval de 34, 53 et 24 mm. Celles du D90 sont de 91 et 98 en amont, et de 99, 127 et 85 mm en aval. L'échantillonnage GR5 montre une surreprésentation des sables. Beaucoup de sables sont apportés par un affluent en amont de la zone d'étude. Cette surreprésentation en sable peut s'expliquer par la présence d'un foyer de végétation aquatique au droit de ce profil qui, par effet de filtre, a fixé une partie des sédiments circulant par saltation. A l'exception de cet échantillonnage, le D90 est un peu plus grossier en aval qu'en amont mais pas de façon très distinct.

3.1.4. Evaluation de l'impact du seuil à Sanzay sur la Madoire

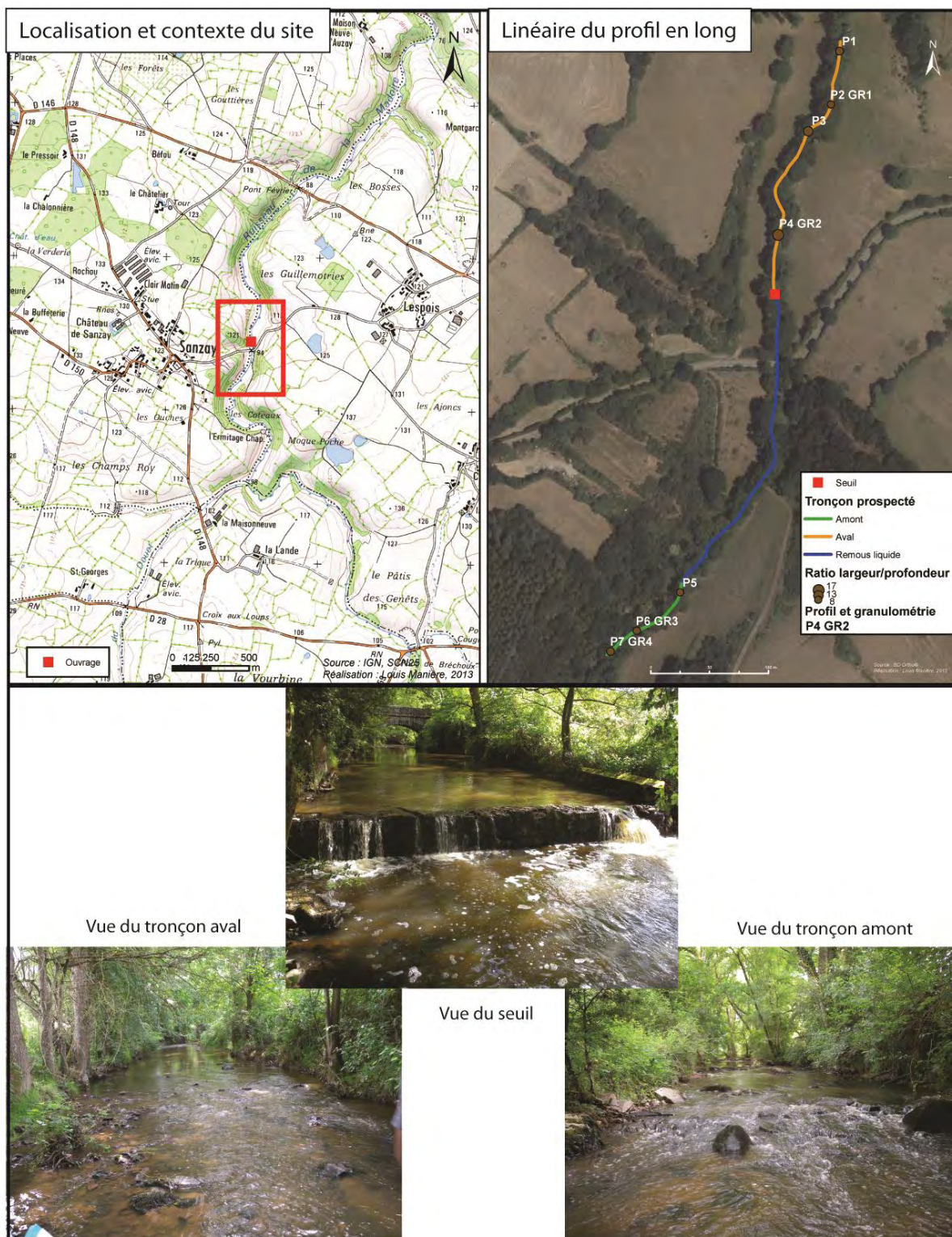
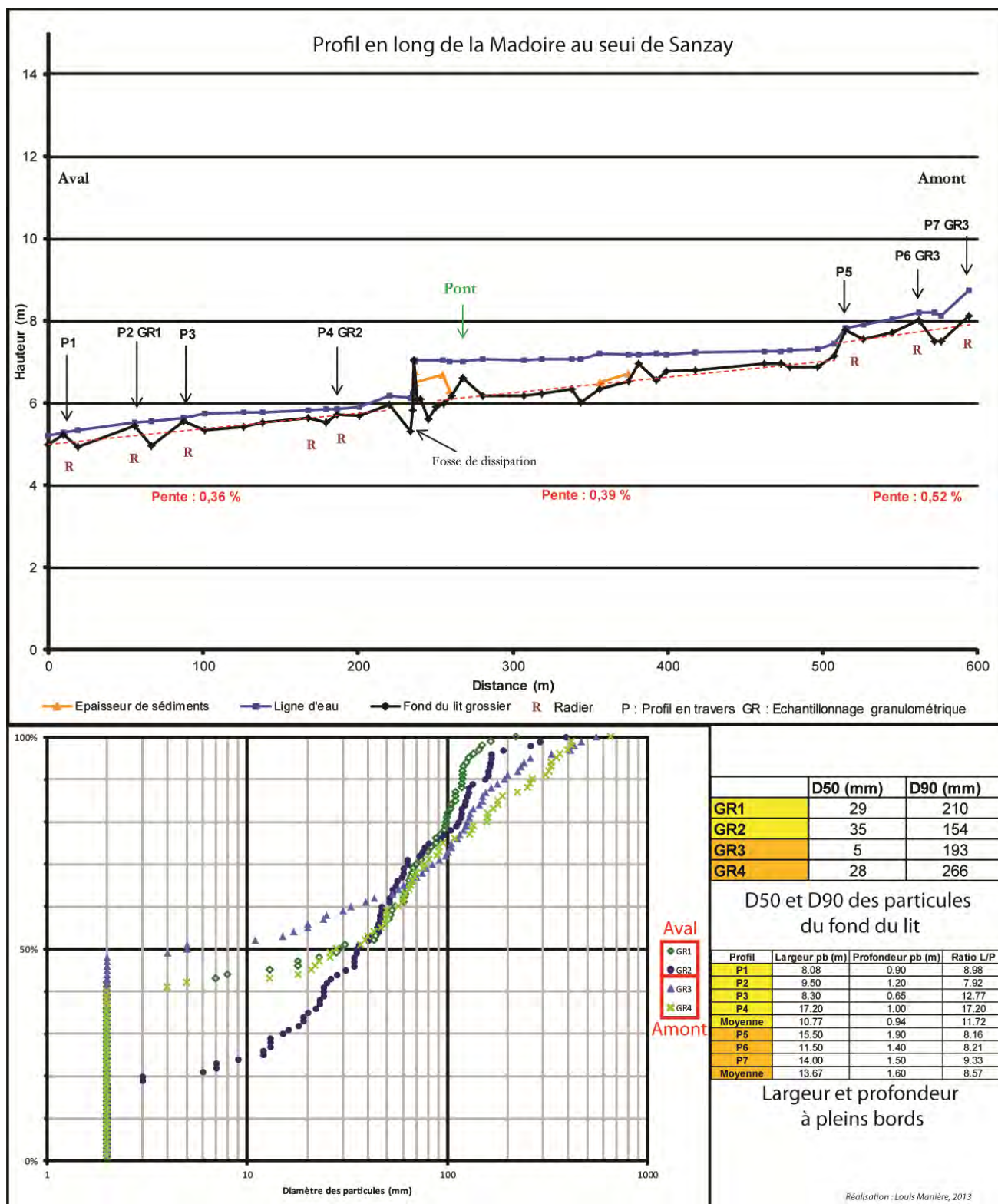


Figure 36 - Contexte et localisation du seuil de la Madoire à Sanzay



Courbes des échantillonnages granulométriques

Figure 37 - Résultats des paramètres mesurés au seuil de la Madoire

3.1.4.1. Contexte géomorphologique de la vallée



Figure 38 - Géologie de la vallée de la Madoire

La Madoire a, dans notre zone d'étude, un lit qui oscille entre 8 et 15 m de large et une pente moyenne de 0,48 %. La vallée présente une pente de 0,98 % (SYRAH-CE, 2012) et est particulièrement étroite. La rivière est peu sinueuse et a une plaine alluviale contrainte par les versants raides (fig. 38). Deux seuils sont présents à 1 kilomètre en amont et en aval de notre zone d'étude. Un rideau d'arbre est présent de part et d'autre du chenal d'écoulement.

3.1.4.2. Description de l'ouvrage

Ce seuil fixe en maçonnerie a une hauteur de chute de 0,6 m avec une brèche vers la rive gauche. Il avait pour vocation de relever le niveau d'eau pour alimenter un lavoir aujourd'hui en ruine. Un pont se situe à 30 m en amont de l'ouvrage.

3.1.4.3. Description du profil en long

Les pentes des tronçons du fond du lit « grossier » en amont et en aval sont respectivement de 0,52 et 0,36 %. La pente du fond du lit « grossier » dans le remous liquide est de 0,39 %. Entre le tronçon aval et le fond du lit du remous liquide, aucune rupture de pente n'est identifiée. Il y en a une entre le tronçon amont et la pente du fond du remous. Il n'y a pas de discontinuité de hauteur du fond du lit « grossier » de part et d'autre de l'ouvrage. Le fond du lit « grossier » aval théorique se situe au même niveau que le fond du lit réel.

Le tronçon aval peut être subdivisé en deux sous-tronçons au niveau du profil P3 où la pente est plus raide à son aval. Cette rupture correspondant à un affleurement du substratum rocheux qui contrôle localement la pente du profil en long. Sur le tronçon amont, deux affleurements, au profil P5 et P6, contrôlent aussi la morphologie du fond du lit. De ce fait, deux ruptures du profil peuvent être observées. A l'aval de ces points de contrôle, la pente augmente tandis que l'accumulation des sédiments en amont a tendance à l'aplanir. En amont du profil P5, l'accumulation de sédiments a formé un banc au milieu du cours d'eau, l'affleurement forme donc un premier obstacle avant l'ouvrage. Dans le remous liquide, le pont constitue aussi un point de contrôle du profil (à 40 m en amont du seuil) et les sédiments fins se sont déposés à son aval. A la distance de 370 m, on peut supposer que la pente est aussi contrôlée par un affleurement. La proportion de radier est à peu près équivalente en amont et en aval du remous liquide (environ 3 pour 100 m).

3.1.4.4. *Géométrie hydraulique*

Entre l'amont et l'aval du remous liquide, la profondeur moyenne à pleins bords évolue de 1,6 à 0,94 m. La largeur moyenne à pleins bords est de 13,67 m en amont et de 10,77 m sur le tronçon aval. La largeur et la profondeur diminuent donc de l'amont vers l'aval mais, proportionnellement, c'est la profondeur à plein bords qui diminue le plus. Par conséquent, le ratio entre la largeur et la profondeur augmente de 8,57 pour le tronçon amont à 11,72 pour le tronçon aval.

3.1.4.5. *Granulométrie*

Les valeurs de D50 sont en aval de 29 et 35 mm et en amont de 5 et 28 mm. Celles du D90 sont de 210 et 154 mm en aval, et de 193 et 266 mm en amont. De façon générale, on retrouve une forte proportion de sables ainsi que des particules très grossières, souvent encastrées dans le fond du lit. Lorsque l'échantillonnage a été effectué sur des affleurements rocheux, la proportion de sables est d'autant plus importante. Ainsi, même si nous observons des différences entre les courbes granulométriques amont et aval, la configuration du tronçon amont nous amène à supposer que les sédiments observés correspondent plus à un « héritage » très ancien qu'à un échantillon représentatif de la charge de fond. Les sédiments fins, dans la retenue, sont stockés juste en amont du seuil.

3.1.5. Evaluation de l'impact du seuil à Saint-Marc sur un affluent du Parc

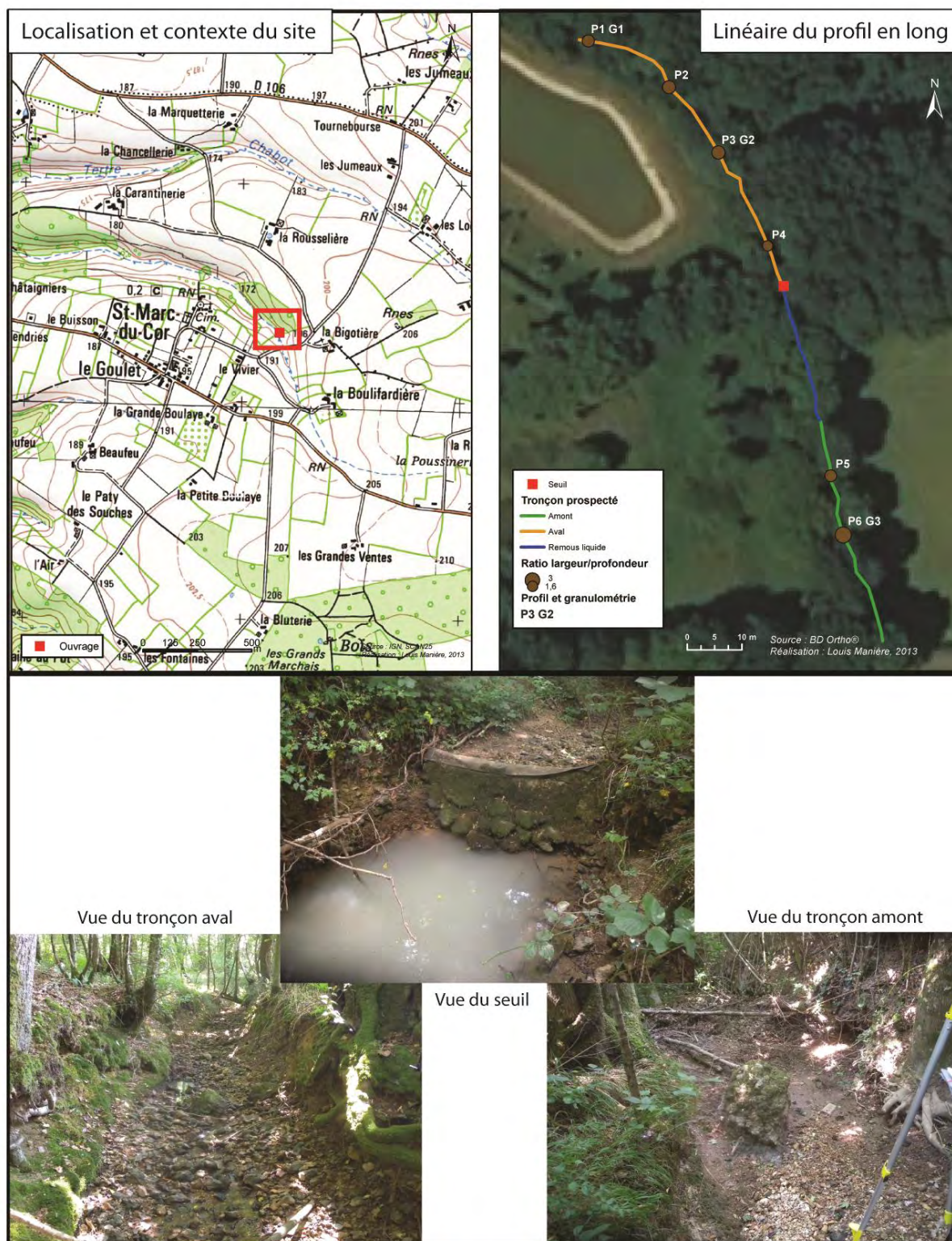
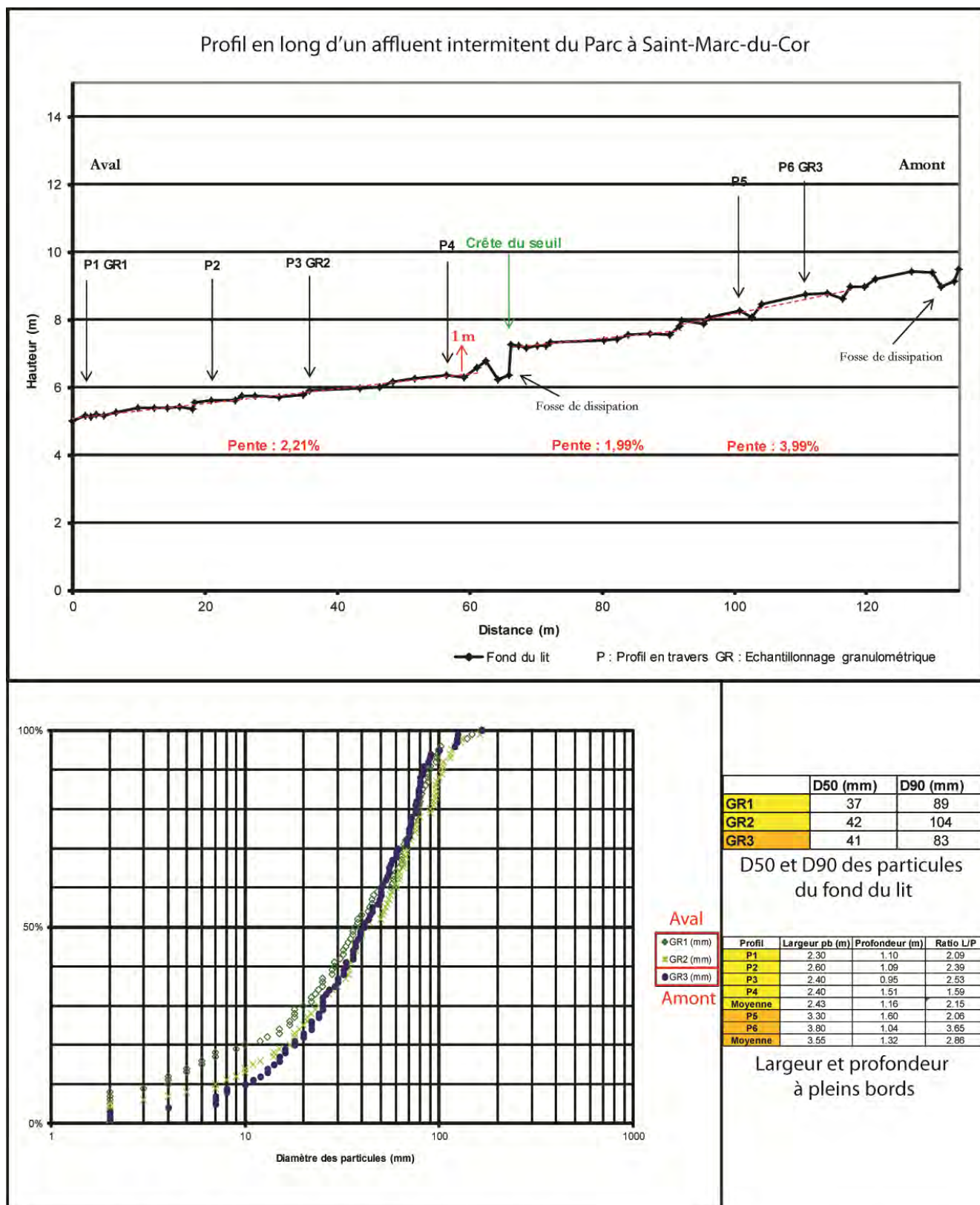


Figure 39 - Contexte et localisation du seuil de l'affluent du Parc à Saint-Marc-du-Cor



Courbes des échantillonnages granulométriques
Figure 40 - Résultats des paramètres mesurés au seuil de l'affluent du Parc

Réalisation : Louis Manière, 2013

3.1.5.1. Contexte géomorphologique de la vallée

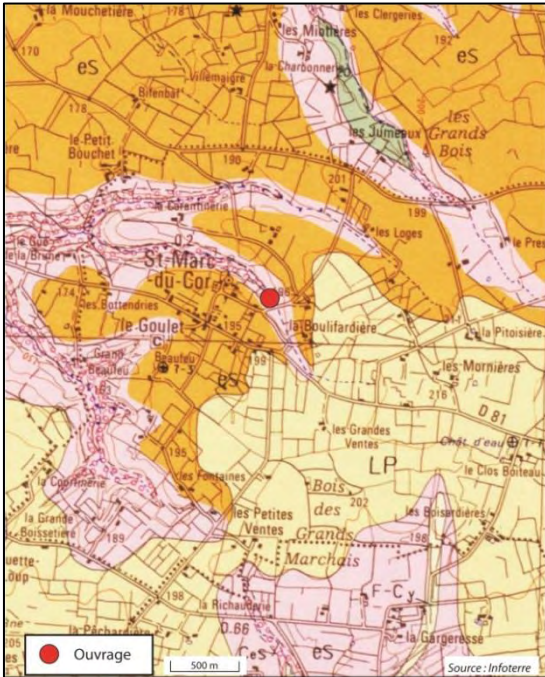


Figure 41 - Géologie de la vallée de l'affluent du Parc

Cette rivière de 2-3 m de large est intermittente. Elle est située en tête du bassin versant de la Grenne. La vallée est étroite, à forte pente, et le cours d'eau très rectiligne (fig. 41). On constate néanmoins une diminution de la pente de la vallée à l'aval du point coté « 172 » (à 300 m en aval de l'ouvrage) par rapport à l'amont. Un rideau d'arbre est présent de part et d'autre du chenal d'écoulement.

3.1.5.2. Description de l'ouvrage

Le seuil a une hauteur de 1 m et sert à alimenter un plan d'eau (à l'ouest du tronçon aval).
Un pont se trouve à la fin du tronçon amont.

3.1.5.3. Description du profil en long

Les pentes des tronçons du fond du lit « grossier » en amont et en aval sont respectivement de 3,99 et 2,21 %. La pente du fond du lit « grossier » dans le remous liquide est de 1,99 %. Aucune rupture de pente significative ne peut être observée entre le fond du lit du tronçon aval et le remous liquide supposé. Ce dernier est cependant 1 m plus haut que le fond du tronçon aval, si on ne prend pas en compte le dépôt de sédiments juste en aval de la fosse de dissipation. L'ouvrage est totalement comblé en sédiments grossiers et le remous solide a tendance à remonter au-dessus de la cote du sommet du seuil. On a choisi volontairement de ne pas calculer la pente sur l'ensemble de ce tronçon pour ne pas intégrer la zone de dépôt sédimentaire en aval du pont (fig. 42). Si l'on prolonge cette pente, le fond du lit du tronçon aval se retrouve plus haut que le fond du lit théorique. En raison de l'absence d'eau durant les mesures, les radiers n'ont pas pu être très clairement identifiés.



**Figure 42 - Dépôt
sédimentaire en aval du pont**

3.1.5.4. Géométrie hydraulique

Entre l'amont et l'aval du remous liquide, la profondeur moyenne à pleins bords évolue de 1,32 à 1,16 m. La largeur à pleins bords moyenne est de 3,55 m en amont et de 2,43 m sur le tronçon aval. Les profondeurs et les largeurs diminuent vers l'aval et, proportionnellement, les valeurs de largeurs baissent plus que celles des profondeurs à pleins bords. Par conséquent, le ratio largeur/profondeur diminue entre le tronçon amont et celui aval de 2,86 à 2,15.

3.1.5.5. Granulométrie



Figure 43 - granulométrie des particules de surface juste en amont du seuil de Saint-Marc-du-Cor

Les valeurs de D50 sont en amont de 41 mm et en aval de 37 et 42 mm. Celles du D90 sont de 83 mm en amont, et de 89 et 104 mm en aval. Les courbes granulométriques sont très similaires, seul le D90 de l'échantillonnage GR2 est légèrement supérieur aux autres. Le fond du lit est constitué en majeure partie de particules grossières, et cela même immédiatement en amont du seuil (fig. 43).

3.1.6. Evaluation de l'impact du moulin de La Chapelle-Taillefert sur la Gartempe



Figure 44 - Contexte et localisation du moulin de la Chapelle Taillefert sur la Gartempe

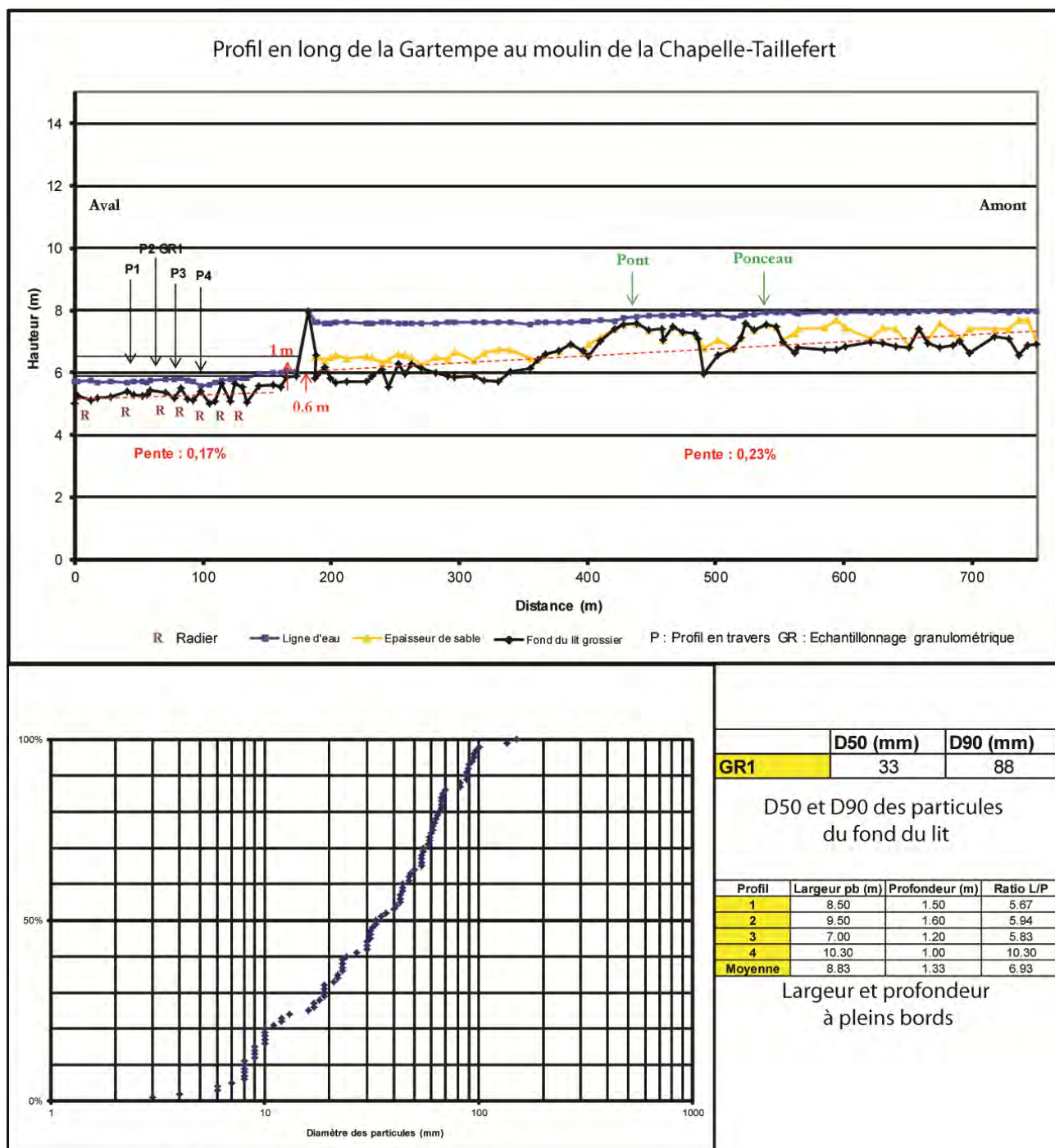


Figure 45 - Résultats des paramètres mesurés au moulin de la Chapelle Taillefert sur la Gartempe

Réalisation : Louis Manière, 2013

3.1.6.1. Contexte géomorphologique de la vallée

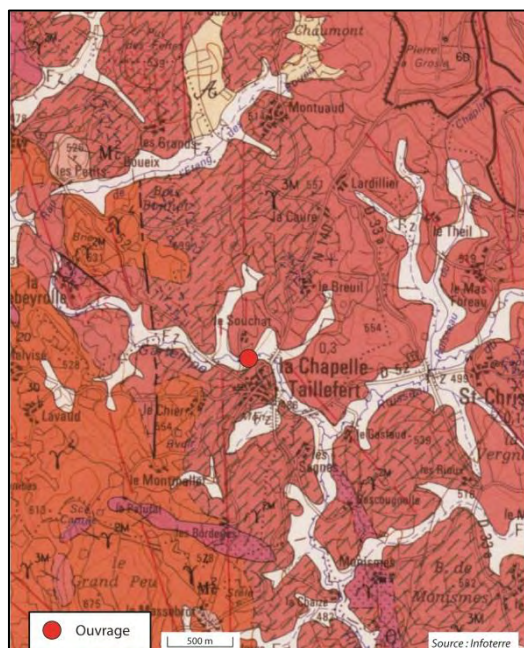


Figure 46 - Géologie de la vallée la Gartempe

La Gartempe est une rivière sinueuse avec une large plaine d'inondation. La vallée peut être sectorisée sur notre secteur d'étude. La partie amont correspond à une large vallée et le cours d'eau forme de nombreux méandres. Vers l'aval, au niveau de notre zone d'étude, la vallée se resserre et devient plus rectiligne (fig. 46). Cette évolution correspond à un changement de tronçon géomorphologiquement homogène SYRAH-CE. Sur la partie la plus en aval, au niveau du point coté « 480 », la vallée s'élargit de nouveau. Entre les deux tronçons, la pente du fond du lit passe de 0,16 à 0,75 % de l'amont vers l'aval, la pente de la vallée de 0,76 à 1,41 % (SYRAH-CE, 2012). La végétation est peu dense sur les marges, un rideau d'arbre est surtout présent en rive droite.

3.1.6.2. Description de l'ouvrage

Cet ouvrage de 2 m de hauteur de chute en maçonnerie dispose d'une vanne levante de vidange de fond au niveau du seuil et d'une autre pour l'alimentation du bief du moulin, qui n'est plus en activité. Seuls le tronçon aval et une partie du remous liquide ont été prospectés en raison de la faible pente du lit et la hauteur de l'ouvrage. Il resterait environ 1,5 km de cours d'eau à prospecter pour pouvoir mettre en œuvre le protocole prévu dans son intégralité. Le cours d'eau est classé en liste 2 au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement. L'ouvrage doit donc être mis en conformité avec la réglementation visant à restaurer la continuité écologique.

3.1.6.3. Description du profil en long

Les pentes du fond du lit « grossier » du tronçon aval et de la zone de remous liquide sont presque identiques (respectivement 0,17 et 0,23 %). Le fond du lit « grossier » du tronçon aval est 0,6 m plus bas que le fond du lit « grossier » de la zone de remous prospectée.

3.1.6.4. Géométrie hydraulique

Le tronçon en amont de la zone de remous liquide n'a pas été prospecté, il n'y a donc pas de station de référence pour évaluer les modifications morphologiques éventuelles en aval de l'ouvrage. Les profondeurs et largeurs moyennes à pleins bords sont respectivement de 1,33 et 8,83 m. Le ratio est donc en moyenne de 6,93. Le profil P4 a néanmoins un ratio largeur/profondeur à pleins bords bien plus élevé que les autres profils.

3.1.6.5. Granulométrie

La morphologie du fond du lit va contrôler la répartition des sédiments. Entre le sommet du seuil et la distance 440 m, le sable s'est accumulé dans cette zone de replat. On repère un point dur là où le sable ne se dépose pas. C'est ici que le pont a été construit. Un autre point dur est visible au niveau du ponceau à la distance 550 m. La pente reste homogène et extrêmement plane à son amont, et le sable s'y dépose.

Le profil en long est très chaotique, alternant rupture de pente et replat. La pente du lit, en prenant en compte la couche de sable déposée, est extrêmement faible (0,002 %). Dans ce cas, on observe une variation de la hauteur du fond du lit de 1 m.

3.2. Interprétation des résultats : évaluation de l'impact des ouvrages

Dans l'optique de mieux évaluer leurs impacts sur le transit sédimentaire, les ouvrages sont comparés entre eux. Il s'agit donc de décrire les différents paramètres morphologiques collectés sur le terrain, de les comparer aux autres valeurs de notre échantillon d'ouvrages et de les interpréter. Au regard des impacts théoriques connus, on cherche à analyser les écarts observés afin de mieux adapter le protocole aux différentes situations rencontrées sur le terrain.

3.2.1. Rôle des ouvrages sur la pente du fond du lit grossier

	S amont (%)	S remous liquide (%)	S aval (%)	S aval - S remous grossier (%)	S amont - S remous grossier (%)	ΔH (m)	Lit th. - lit aval (m)
Gartempe		0,23	0,17	- 0,06		0,6	
Madoire	0,52	0,39	0,36	- 0,03	0,13	0	0
Affl. Parc	3,99	1,99	2,21	0,22	2	1	0,8
Ardour	0,3	0,42	0,67	0,25	- 0,12	0,4	- 1
Gratteloup	0,45	0,03	0,5	0,47	0,42	0	1,4
Courtineau	0,26	0,17	0,68	0,51	0,09	0,2	- 0,5
Théorie							

S : pente du fond du lit « grossier » (en %) ; ΔH : différence de hauteur des pentes du fond du lit « grossier » de part et d'autre de l'ouvrage (en m) ; lit th. - lit aval : différence de hauteur entre le fond du lit « grossier » théorique et le fond du lit réel du tronçon aval (en m) ;

Valeur en rouge : variation positive significative ; Valeur en bleu : variation négative significative ; Valeur en vert : variation peu significative.

Théorie : Couleur des paramètres sur un cours d'eau théoriquement impacté par un ouvrage

Tableau 1 - Les variations des pentes et du fond du lit « grossier »

Au regard des pentes du fond du lit « grossier », seuls les paramètres du Gratteloup correspondent aux valeurs théoriques d'un ouvrage perturbant la continuité sédimentaire. Les pentes en amont et en aval du remous liquide sont équivalentes et on observe une rupture de pente entre ces deux tronçons et le fond du lit « grossier » du remous liquide. La rupture de pente est donc équivalente entre le tronçon amont et aval, respectivement 0,42 et 0,47 %. L'absence de discontinuité des hauteurs de pente de part et d'autre de l'ouvrage n'indique

cependant pas de remplissage dans la retenue. Le fait que le fond du lit aval soit 1,4 m au-dessus du lit théorique indique qu'il y a probablement une rupture naturelle de la pente d'origine.

L'affluent du Parc se retrouve aussi dans cette situation de tronçons non homogènes, néanmoins on a pu observer que la retenue est aujourd'hui totalement comblée. Cette information est confirmée par la variation de la hauteur du fond du lit de part et d'autre de l'ouvrage correspondant à la hauteur de chute de l'ouvrage (1 m). Afin d'expliquer cette situation, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'avant que le comblement atteigne la crête du seuil, la pente de la retenue était beaucoup plus faible que les pentes amont et aval et qu'aujourd'hui le comblement se poursuit de façon régressive, augmentant la pente jusqu'à atteindre des valeurs proches de celles d'origine.

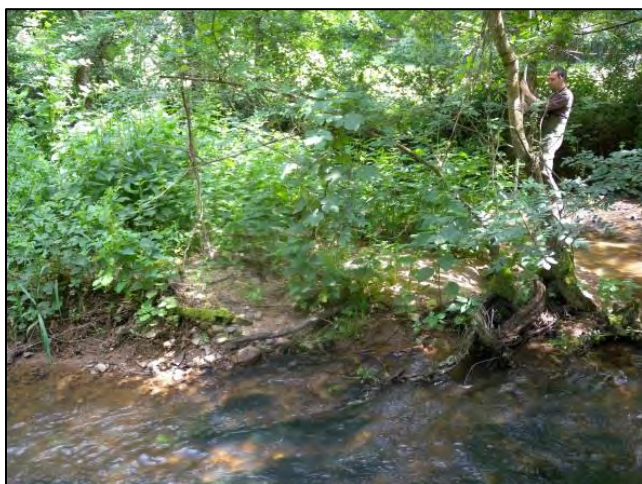


Figure 47 - Banc sédimentaire en amont du remous liquide du seuil de la Madoire

Le fond du lit « grossier » de la Madoire a peu de variation de pente, ΔH est nulle et les hauteurs du fond du lit aval réel et du fond du lit théorique sont identiques. Cet ouvrage peut donc être considéré comme relativement transparent à la circulation de la charge solide. La faible hauteur de chute de l'ouvrage (0,6 m) et la présence d'une brèche conforte l'hypothèse d'une absence d'impact sur les sédiments grossiers. Néanmoins, il est possible que le cours d'eau ne transporte presque plus de matériaux grossiers ou que ceux-ci soient interceptés avant d'atteindre la retenue. Les observations de terrain mis en évidence la présence d'un banc

alluvionnaire graveleux juste en amont du remous liquide qui peut traduire une certaine activité sédimentaire (fig. 47).

La Gartempe se trouve aussi dans une situation où la pente du fond du lit « grossier » du remous liquide est équivalente à celle du tronçon aval (variation de - 0,06 %). Cependant le fond de la retenue est situé 0,6 m au-dessus du fond aval. Faute d'information sur le tronçon amont, nous ne pouvons valider aucune des hypothèses : discontinuité naturelle du fond du lit ou remplissage de la retenue en matériaux grossiers.

L'Ardour et le Courtineau présentent une situation similaire au regard des profils en long. Ils ont tous deux une rupture de pente du fond du lit « grossier » entre le tronçon aval et le remous. Par contre, dans les deux cas, on ne distingue pas de rupture de pente entre le tronçon amont et le tronçon du remous liquide. La pente du fond du lit, en aval des ouvrages, est plus forte que celle du tronçon amont.

On peut émettre l'hypothèse que la pente naturelle avant aménagement n'était pas homogène sur l'ensemble du linéaire prospecté. La carte géologique de la vallée de l'Ardour au 1/50000 confirme cette hypothèse. La largeur de la plaine alluviale présente une forte discontinuité entre le tronçon amont et la retenue. On comprend alors dans ce contexte géomorphologique que la pente du fond du lit « grossier » soit plus faible sur le tronçon amont que dans le remous liquide. De plus, la vallée étant plus large en amont, le cours d'eau peut créer des

sinuosités et ainsi abaisser sa pente alors que dans la zone plus étroite, le lit du cours d'eau est contraint à conserver un tracé plus rectiligne et une pente proche de celle de la vallée.

Par contre, pour le Courtineau, l'analyse de la carte géologique n'apporte pas d'éléments qui viendraient confirmer l'hypothèse avancée. Cette pente plus forte en aval pourrait également s'expliquer par l'aménagement de la rivière par les riverains (enrochement, pose de radier artificiel, détournement). Le fond du lit aval théorique est au-dessus du fond du lit réel pour les deux rivières. Cette information ne peut être utilisée dans les cas où la pente de la vallée présente des discontinuités trop marquées sur le tronçon étudié.

Pour l'Ardour, l'information de la différence d'altitude de 40 cm entre le fond du lit grossier en aval de l'ouvrage et dans la retenue est difficilement exploitable. En effet, le propriétaire de l'ouvrage nous a informé que le fond du bassin de la retenue était entièrement pavé. Il est donc possible que ce fond ait été artificiellement surélevé en amont de l'ouvrage.

3.2.2. Rôle des ouvrages sur la géométrie hydraulique du chenal d'écoulement

	Evol. L/P amont - aval (%)	Evol. L amont - aval (%)	Evol. P amont - aval (%)
Gratteloup	- 55,41	2,69	36,36
Courtineau	- 51,43	- 51,28	- 18,18
Affl. Parc	- 33,02	- 46,09	- 13,79
Ardour	- 3,76	8,57	12,90
Madoire	26,50	- 26,93	- 70,21

Evol. L/P amont - aval : différence des valeurs moyennes du ratio d'aspect (largeur /profondeur à plein bord) des tronçons amont et aval (en %).

Evol. L amont - aval : pourcentage d'évolution de la moyenne de la largeur à pleins bords des tronçons amont et aval.

Evol. P amont - aval : pourcentage d'évolution de la moyenne de la profondeur à pleins bords des tronçons amont et aval.

Tableau 2 - Evolution amont/aval de la géométrie hydraulique

Pour quatre des cinq cours d'eau prospectés, les valeurs du ratio d'aspect diffèrent entre le tronçon amont et le tronçon aval : le Gratteloup, le Courtineau, l'affluent du Parc et la Madoire. Par contre, les largeurs et les profondeurs à pleins bords du lit de l'Ardour sont très peu modifiées. Parmi les quatre autres cours d'eau, cette variation du ratio d'aspect s'explique par :

- la variation de la profondeur pour le Gratteloup et la Madoire,
- par la variation de la largeur pour le Courtineau et de l'affluent du Parc.

Les deux cours d'eau présentant le plus de modifications de leur géométrie hydraulique de part et d'autre du remous liquide sont le Gratteloup et le Courtineau avec une différence du ratio d'aspect de, respectivement, - 55,41 et - 51,43 %. Le Gratteloup a des profondeurs à pleins bords plus élevées en aval qu'en amont (+ 36,36 %). Cela peut traduire un enfoncement du lit du cours d'eau. Ainsi, même si les pentes sont difficilement exploitables du fait de la probabilité d'une rupture de pente naturelle, la géométrie du lit permet d'avancer l'hypothèse d'un déficit sédimentaire en aval de l'ouvrage imputable au moulin.

Pour le Courtineau, la largeur moyenne à pleins bords diminue de plus de 50 %. et la profondeur diminue de 15%. Il ne semble pas possible d'imputer cette modification de la géométrie hydraulique du cours d'eau à l'ouvrage. La présence d'enrochements pourrait expliquer la réduction de la largeur

L'affluent du Parc et la Madoire montrent des modifications moindres de la géométrie du lit aval. L'affluent du Parc présente une diminution de la largeur à pleins bords (- 46,09 %). Rappelons que la pente du lit du tronçon amont est plus forte qu'en aval, que la retenue est atterrie et qu'il n'y a plus de remous liquide. L'hypothèse de l'incision en aval de l'ouvrage est écartée car, en moyenne, la profondeur du lit à pleins bords diminue (- 13,79 % de différence). La Madoire, qui, *a priori*, n'impacte pas le transit sédimentaire, voit sa profondeur à pleins bords fortement diminuer sur son tronçon aval (- 70,21 %). Les radiers étant contrôlés par les affleurements du substratum, la géométrie du lit ne reflète alors que peu les ajustements morphologiques liés à la présence de l'ouvrage.

Les faibles différences de la géométrie du lit de l'Ardour en amont et en aval de la retenue ne permettent pas de soutenir l'hypothèse d'une incision en aval de l'ouvrage.

3.2.3. Rôle des ouvrages sur la granulométrie du fond du lit

	Var. D50 (mm)	Var. D90 (mm)
Gratteloup	4,5	10,5
Courtineau	30,0	74,0
Ardour	13,0	12,7
Madoire	15,5	- 47,5
Affl. Parc	- 1,5	13,5

Var. D50 : moyenne des D50 du tronçon aval - moyenne des D50 du tronçon amont (en mm) ;

Var. D90 : moyenne des D90 du tronçon aval - moyenne des D90 du tronçon amont (en mm) ;

Valeur rouge : augmentation très significative ; Valeur bleu : diminution très significative.

Tableau 3 - Variation du D50 et du D90 moyen des particules de part et d'autre du remous liquide

La comparaison du D50 et du D90 des particules du fond du lit n'affiche que peu de valeurs particulièrement significatives. Les variations les plus fortes sont celles du D90. La présence de sable atténue les variations du D50. Pour le calcul des différences de D50 et de D90 entre le tronçon aval et le tronçon amont de l'Ardour, l'échantillonnage GR5 a été retiré. Il constitue en effet un élément isolé et non représentatif de la granulométrie du fond du lit du tronçon : la station était composée, en rive gauche, d'une zone végétalisée qui piégeait localement le flux de sédiments sableux.

Sur le Courtineau, la forte augmentation des valeurs de D50 et de D90 (respectivement 30 et 74 mm) met en évidence un processus de tri granulométrique des particules du fond du lit en aval de l'ouvrage. Cette évacuation des sédiments les moins grossiers peut conduire à un armurage voir un « pavage » du fond du lit. Ce processus pourrait s'expliquer par une incision du lit en aval ; cette hypothèse doit être croisée avec les autres paramètres étudiés.

Le Gratteloup, l'Ardour et l'affluent du Parc montrent tous trois une petite augmentation du D90 en aval des seuils. Ces variations sont néanmoins encore trop faibles pour conclure à une mise en place d'un véritable tri granulométrique.

Le tronçon aval de la Madoire est le seul avec un D90 moyen plus petit que celui du tronçon en amont du remous liquide. Cette variation s'explique par l'écart de deux valeurs extrêmes,

le D90 du GR2 (154 mm) et celui du GR4 (266 mm). La pente du GR2 est contrôlée par un affleurement du substratum en aval. Elle est plus faible et, ainsi, des particules moins grossières peuvent s'y déposer. La pente locale à l'échantillonnage GR4 est au contraire particulièrement forte et seules les particules très grossières (jusqu'à 658 mm) encastrées dans l'affleurement restent en place. Elles peuvent par ailleurs être issues de l'usure de ces affleurements. De manière générale les tronçons amont et aval sont difficilement comparables du fait des contrôles géologiques.

3.2.4. Rôle des ouvrages sur la répartition des particules fines dans le remous liquide

L'Ardour et la Gartempe présentent tous deux des dépôts de sédiments fins sur l'ensemble du linéaire du remous liquide. Cette répartition peut s'expliquer par des apports importants de sédiments fins venant de l'amont. Le bassin de la Gartempe amont produit beaucoup de sable du fait d'arène granitique très dégradée. Les affluents en rive droite de l'Ardour apportent aussi d'importantes quantités de sable. Les sédiments fins de la Gartempe se stockent aussi dans le remous liquide du fait de la très faible pente du fond du lit. Le profil en long de cette rivière montre aussi des points durs, où sont d'ailleurs implantés un pont et un ponceau. Ce sont ces variations du fond du lit qui vont orienter la répartition des sédiments fins dans la retenue.

3.2.5. Synthèse de l'impact des ouvrages sur le transit sédimentaire

Le Gratteloup : nous supposons une forte variation de la pente de la vallée sur le tronçon étudié ce qui ne nous permet pas d'utiliser les pentes comme indicateur. Les autres paramètres (granulométrie, position du fond grossier et ratio largeur/profondeur) ne traduisent pas d'altération majeure. Alors que l'impact sur la continuité des sédiments fins est évident sur le terrain (envasement de la retenue), l'impact en aval de l'ouvrage ne peut être mis en évidence. La présence d'une zone de stockage en amont du remous liquide et l'analyse du profil en long dans la retenue semble traduire un remplissage partiel de la retenue en sédiments grossiers.

L'Ardour : comme pour le Gratteloup, nous supposons une forte variation de la pente de la vallée sur le tronçon étudié ce qui ne nous permet pas d'utiliser les pentes comme indicateur. Les autres paramètres (granulométrie et ratio largeur/profondeur) ne traduisent pas d'altération majeure. Alors que l'impact sur la continuité des sables est évident sur le terrain (présence généralisée de sables en surface du lit de la retenue, curage répétés), l'impact sur les sédiments grossiers ne peut être mis en évidence.

Le Courtineau : on suppose aussi une variation naturelle de la pente avant aménagement sur notre zone d'étude. Un processus de « pavage » du fond du lit a pu être observé pouvant mettre en évidence une incision du lit qui peut être associée à la faible variation du fond du lit grossier (ΔH de 0,2 m). La géométrie hydraulique ne permet pas de soutenir cette hypothèse.

Ainsi, le Gratteloup, l'Ardour et le Courtineau donnent des signes de remplissage de la retenue et d'incision du lit en aval de l'ouvrage mais la pente naturelle d'origine n'est, *a priori*, pas homogène. Il est donc difficile de conclure sur le niveau d'impact des ouvrages.

L'affluent du Parc : la retenue est totalement atterrie et le transit sédimentaire est assuré. La granulométrie et la géométrie hydraulique ne montre pas de signes d'incision.

La Madoire : le seuil est *a priori* transparent. Pas de signes d'incision ont pu être constaté par la granulométrie et la géométrie hydraulique. Soit le cours d'eau peut faire passer l'ensemble de sa charge solide par-dessus l'ouvrage, soit le cours d'eau ne transporte que trop peu de sédiments grossiers pour que l'ouvrage est un véritable impact.

La Gartempe, de même que l'Ardour, a surtout un impact sur les sédiments fins du fait des apports abondant du bassin versant en sables et d'un remous liquide très long. Elle met aussi en évidence le fait que la présence avant aménagement d'un affleurement peut avoir influencé l'implantation d'un ouvrage.

3.3. Discussions et préconisations d'amélioration du protocole d'évaluation

L'interprétation des résultats a mis en évidence des limites au protocole en fonction de l'ouvrage et du tronçon sur lesquels il a été appliqué.

3.3.1. Utilisation de la pente

3.3.1.1. *L'interprétation de la pente sur un tronçon naturellement non homogène*

La principale limite de la lecture du profil en long est le postulat que l'on se trouve sur un tronçon avec une pente homogène avant aménagement. Si on veut pouvoir estimer le niveau de remplissage d'une retenue et si le fond du lit en aval de l'ouvrage s'est incisé, la pente initiale du fond du lit doit être connue.

Une première solution est de chercher dans les archives des informations sur la pente du lit du cours d'eau au niveau de l'emplacement de notre tronçon. Des plans de construction de l'ouvrage ont peut-être été conservés.

Une autre solution serait, avant réalisation du profil en long, de mesurer la pente de la vallée sur le terrain pour les trois tronçons considérés. La comparaison de ces pentes permettra de vérifier si la pente est homogène. Elles permettent cependant de justifier les difficultés d'interprétation du profil en long. Par ailleurs, on a pu remarquer les ouvrages sont parfois positionnés au droit des point de rupture de pente de la vallée alluviale. Sur la Gartempe, le seuil est probablement situé sur un point dur du profil en long, comme pour les autres ouvrages de franchissement situés sur le linéaire prospecté.

Une autre difficulté pour l'interprétation du profil en long sera le contrôle des pentes par des affleurements rocheux. Le profil en long, dans ce contexte, peut alors ne pas refléter les ajustements de la pente du fond du lit sous l'effet d'une dynamique érosive accrue.

La Madoire montre que l'on peut qualifier la transparence d'un ouvrage, mais les paramètres relevés ne permettent pas d'en déterminer la cause. L'ouvrage peut laisser passer la charge solide comme il est possible que le cours d'eau ne transporte que très peu de sédiments, et plus particulièrement de charge grossière. Cette situation justifie donc la nécessité d'une démarche à l'échelle du bassin versant sur lequel un diagnostic du transport sédimentaire est effectué avant d'appliquer le protocole sur l'ouvrage.

3.3.1.2. L'impact de la longueur des tronçons de référence amont et aval

La pente des tronçons dépend en partie de leur longueur. Le protocole a ici considéré une longueur d'au moins 14 fois la largeur à pleins bords.

	Gratteloup	Courtineau	Ardour	Madoire	Affl. Parc
S amont (%)	0,45 (26)	0,26 (23)	0,3 (49)	0,52 (6)	3,99 (8)
S aval (%)	0,5 (28)	0,68 (21)	0,67 (28)	0,36 (20)	2,21 (25)
S amont 14X (%)	0,74	0,2	- 0,07	0,52	3,99
S aval 14X (%)	0,17	0,75	0,89	0,33	2,23

*S : pente du fond du lit « grossier » (en %) ; S 14X : pente du fond du lit « grossier » pour une longueur de 14 fois la largeur à pleins bords (en %) ; valeur rouge : forte différence de pente du fond du lit ; Valeur bleu : non prospecté sur une longueur supérieure à 14 fois la largeur à pleins bords
Entre parenthèse : nombre de largeurs à pleins bords effectué*

Tableau 4 - Comparaison des pentes des tronçons avec celles prises à 14 fois la largeur à pleins bords

Les pentes calculées sur 14 fois la largeur à pleins bords sont équivalentes à celles calculées sur l'ensemble du tronçon pour 4 tronçons sur 8. Les 4 autres ont des valeurs différentes avec des écarts de 0,22 à 0,37 %.

Sur Madoire, malgré le contrôle de la pente du tronçon aval par des affleurements, la pente du tronçon aval calculée sur 14 fois la largeur à pleins bords reste très similaire à celle calculée sur ce tronçon en entier. On observe aussi cette similitude des pentes du tronçon aval pour l'affluent du Parc. Sur le Courtineau, une variation de 0,07 % est observée entre les deux pentes du fond du lit aval et une variation de 0,06 % pour celles du tronçon amont. Les pentes restent ainsi presque identiques.

Sur le Gratteloup, si on prend en compte des longueurs de tronçon plus restreintes, la pente du tronçon aval se limiterait à la partie la plus plane en aval de l'ouvrage et la pente en amont du remous liquide n'aurait pas intégré la zone de replat (cf. annexe profil en long).

Pour l'Ardour, la pente du fond du lit du tronçon amont à 14 fois la largeur à pleins bords intégrerait le vaste replat lenticulaire juste en amont du remous liquide.

Ainsi, les pentes du fond du lit « grossier » calculées sur 14 fois la largeur à pleins bords ne sont pas assez lissées, dans certains cas, pour permettre leur comparaison. Elles dépendent trop des variations locales de la pente. Cependant cette même remarque pourrait être faite pour les pentes prises sur l'ensemble des tronçons. Il ne faut cependant pas trop développer la longueur du profil en long de façon à ne pas changer de contexte géomorphologique.

3.3.2. Utilisation des paramètres de géométrie hydraulique

Sur les seuils prospectés, il est généralement difficile de conclure à une modification significative de la morphologie du lit. D'après les observations de terrain, mis à part l'affouillement du ponceau en aval de l'ouvrage sur le Courtineau, peu de signes d'incision du lit ont pu être relevés. L'affouillement peut aussi être issu de la concentration de l'écoulement. On peut supposer que, s'il y a effectivement des changements morphologiques, les largeurs et

les profondeurs à pleins bords varient trop peu pour permettre d'identifier clairement une dynamique érosive accrue en aval de l'ouvrage. Une solution pour pouvoir conclure même sur de petites modifications serait de densifier le nombre de mesures et de les effectuer à intervalles réguliers.

Dans les cas d'affleurements du substratum rocheux, les stations amont et aval ne sont pas comparable car les radiers sont contrôlés par ces points durs tout comme les processus d'accumulation.

3.3.3. Utilisation des mesures granulométriques

Les mesures granulométriques ont surtout montré leur intérêt pour caractériser le processus de « pavage » du fond du lit en aval du seuil sur le Courtineau. On peut supposer que la taille des particules augmente en aval de cet ouvrage en raison d'un tri granulométrique lié à une dynamique d'érosion du fond du lit et/ou de l'interception des sédiments fins par l'ouvrage. Sur un cours d'eau disposant d'une faible couche alluvionnaire sur le fond de son lit, comme sur la Madoire, l'échantillonnage granulométrique sur ces radiers constitués d'affleurement du substratum est très limité. Il rendra surtout compte des particules grossières coincées dans les irrégularités du substratum et des particules plus fines en transit.

La méthode de Wolman (1954) exprime bien la distribution granulométrique du fond du lit, cependant, l'intégration des sables peut se révéler problématique pour l'interprétation, en particulier pour le D50 des particules. Il est donc préconisé, pour l'analyse d'une charge de fond grossière, d'analyser le D90 des particules. Une autre solution serait de ne pas prendre en compte le sable lors des mesures de terrain. Cela impliquerait néanmoins de ne pas considérer de manière systématique les particules du fond du lit comme le décrit le protocole de Wolman (1954).

Conclusion

Pour les seuils prospectés nous avons pu mettre en évidence un comblement partiel ou total de certaines retenues mais pas forcément d'altérations évidentes des habitats aquatiques en aval de l'ouvrage. Rappelons que le choix des ouvrages ne s'est pas fait en fonction de son impact potentiel.

L'hétérogénéité de la pente naturelle d'origine avant aménagement est le principal risque d'erreur lors de l'interprétation du niveau de comblement de la retenue. L'étude des pentes ne peut se faire sans leur connaissance à l'origine, avant aménagement. Afin de s'assurer de la véracité de l'évaluation réalisée, il serait nécessaire de connaître ces valeurs de pentes. Cette information est d'autant plus importante pour des ouvrages vraisemblablement construits sur une rupture naturelle de la pente du fond du lit.

Les longueurs du tronçon amont et du tronçon aval de part et d'autre du remous liquide ne doivent pas être inférieurs à 14 fois la largeur à pleins bords. D'après notre échantillon des longueurs plus importantes pourrait aussi convenir pour davantage de précision, mais il faut éviter des tronçons trop longs prenant en compte différents contextes géomorphologiques.

De façon à pouvoir déterminer une altération hydromorphologique en aval de l'aménagement, il est préconisé de densifier le nombre de mesures sur la géométrie hydraulique du lit du cours d'eau, afin d'améliorer la pertinence des résultats. De même, pour la granulométrie du fond du lit, le nombre de mesures est à densifier dans le cas de faibles variations de taille de particules observées.

L'hypothèse de la transparence a pu être émise sur deux sites. L'affluent du Parc met bien en valeur la transparence de l'ouvrage sur la continuité sédimentaire dans le cas d'une retenue totalement atterrie. Le cas de la Madoire montre, quant à lui, l'intérêt d'un diagnostic sur le transport sédimentaire à l'échelle du bassin versant avant la mise en place d'un protocole de mesure de l'impact.

Compte tenu du nombre de cas envisageables en fonction du contexte géomorphologique de la vallée, des variations naturelles locales de la pente, de la dynamique de la rivière et de la configuration de l'aménagement, une expertise complémentaire au protocole testé semble nécessaire pour l'évaluation de l'impact de l'ouvrage. L'objectif est néanmoins, d'après les limites et préconisations apportées, de compléter et de standardiser le protocole afin qu'il puisse s'adapter aux différentes situations et s'affranchir le plus possible de l'expertise.

Bien que l'ensemble de la démarche par emboîtements successifs d'échelle spatiale n'ait pas été réalisé pour la sélection des sites d'étude, l'interprétation des résultats justifie bien cette méthodologie. La planification à l'échelle du bassin Loire-Bretagne doit donc s'orienter vers les secteurs avec un risque d'altération fort, de façon à mener en priorité des études sur les zones où le fonctionnement hydromorphologique est potentiellement le plus impacté. Avant diagnostic à l'échelle d'un tronçon, le choix des ouvrages doit être guidé par une caractérisation de la dynamique hydrosédimentaire des cours d'eau et une identification plus précise des dysfonctionnements hydromorphologiques. Cette démarche pourra donc permettre une optimisation des actions à mener vers les ouvrages les plus impactants.

Bibliographie

Ouvrages

Bravard J.-P. et Petit F. (2000) - *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin. 222 p.

Malavoi J.-R., Garnier C.-C., Landon N., Recking A., Baran Ph. (2011) - *Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière*. ONEMA. 216 p.

Malavoi J.-R., Bravard J.-P. (2010) - *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA. 224 p.

Roussel P. (1999) - *La gestion des rivières. Transport solide et atterrissements. Guide méthodologique*. Agence de l'eau Rhône - Méditerranée - Corse. Les études des agences de l'eau n°65. 93 p.

Rapport, mémoires et articles

Bertrand M. (2009) - *Caractérisation du fonctionnement hydro - sédimentaire du bassin versant de l'Arc en Maurienne Mise en place d'un Système d'Information Géographique, analyse spatiale et segmentation de l'espace*. Rapport de stage, Université Jean Monnet - ENISE - Saint Etienne. Cemagref, Unité de recherche Hydrologie-Hydraulique, Lyon. 62 p.

Braud S. et Alber A. (2013) - *Synthèses des connaissances & proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau*. 77 p. En ligne : http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/etudes/TS_OuvragesT_V2_20130607.pdf

Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.-R., Souchon Y., Pella H., Wasson J.-G. (2008) - *SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Principes et méthodes*. Version V 3.1.CEMAGREF, laboratoire d'hydroécologie quantitative. 81 p.

Chapuis. M. (2008) - *Contribution à l'étude du transport solide par charriage en conditions naturelles (torrent du Bouinenc, Alpes-de-Haute-Provence) : mise en place de la technique de traçage de particules par radio-identification*. Mémoire de science de la Terre, de l'univers et de l'environnement à l'université Joseph Fourier de Grenoble. 112 p.

Charrais J. (2013) - *Vers la définition du transport solide suffisant en rivière : utilisation d'indicateurs biologiques. Etude bibliographique et propositions d'indices*. Mémoire de Master 2 IMACOF, Université François Rabelais - Tour. DREAL Centre. 73 p.

Degiorgi F., Morillas N., Grandmottet J.-P. (2002) - *Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station : l'IAM*. TELEOS. Conseil supérieur de la Pêche. 7 p.

Hallot E. J., Schmitt L., Mols J., Petit F. (2004). *Elaboration d'une typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau dans l'Euregio Meuse-Rhin*. Actes du Colloque « Spatialisation et Cartographie en Hydrologie », Metz, Mosella, 309-322.

Kreutzenberger (2010) - CARHYCE. *Protocole de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau à l'échelle stationnelle*. ONEMA. 48 p.

Languille F., Roubertou D. (2001) - *Quantification de la perte de diversité d'habitat sur les cours d'eau du Massif armoricain. Impacts sur les peuplements piscilaires*. Rapport de stage. D.E.S.S. Ingénierie des Hydrosystèmes Continentaux en Europe, Université François Rabelais - Tour. Conseil Supérieur de la Pêche. 81 p.

Malavoi J.-R., Souchon (2002) - *Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques*. Note Technique. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 365/366: 357-372.

Navarro L. (AERMC), Peress J. (ONEMA), Malavoi J.-R. (Pôle ONEMA IRSTEA) (2012) - *Aide à la définition d'une étude de suivi. Recommandations pour les opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau*. ONEMA. 48 p.

Souchon Y., Andriamahéfa H., Cohen P., Breil P., Pella H., Lamouroux N., Malavoi J.R., Wasson J.G. (2000) - *Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire*. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 297 p.

Souchon Y., Nicolas V. (2011) - *Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux*. ONEMA, CEMAGREF. 28 p.

Valette L., Chandesris A., Malavoi J.R., Souchon Y. et Willet B. Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema/Cemagref (2010). *Protocole AURAH-CE. AUDIT RAPIDE de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Méthode de recueil d'informations complémentaires à SYRAH-CE sur le terrain*. ONEMA. 35 p.

Valette L., Piffady J., Chandesris A., Souchon Y. (2012) - *SYRAH-CE : description des données et modélisation du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'Etat des lieux DCE*. IRSTEA, ONEMA. 104 p.

Valette L., Cunillera A., (2010) - *Cahiers techniques SYRAH-CE. Pôle Hydroécologie des cours d'eau* ONEMA. CEMAGREF. Lyon. 93p.

Wasson J.-G., Chandersris A., Pella H., Blanc L. (2002) - *Les hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés*. CEMAGREF, HYDRECO, contrat n°2001 06 9 084 U. Ministère de l'écologie et du développement durable. 190 p.

Wolman, M.G. (1954) - *A method of sampling coarse bed material*. American Geophysical Union, Transaction.

Etudes et expertises

Hydro concept (2013) - *Etude préalable au contrat territorial « Loir médian et affluents »*. Syndicat intercommunal d'études, de réalisations et d'aménagement de la vallée du Loir

HTV (2013) - *Expertise hydro-géomorphologique du bassin-versant de la Suisse*. Syndicat intercommunal d'aménagement de la Loire et de ses affluents, de Haute-Loire. 61 p.

Impact Conseil (2013) - *Etude de connaissance de la dégradation des eaux de la rivière « la Gartempe »*. D.D.A.F. de la Creuse service rural et forêt. 92 p.

Riparia (2012) - *Expertise hydro-géomorphologique du bassin versant de la Suisse*. Syndicat intercommunal d'aménagement de la Loire et de ses affluents. 48p.

TELEOS (2006) - *Diagnostic initial des composantes biologiques et physico-chimiques du ruisseau de Valbois - 25. Étude préparatoire de sa reconnexion à la Loue. Actions A1-2005-1-1 et A1-2005-1-1 bis*. Du programme LIFE 04 NAT/FR/000082. Parc Naturel Régional du Morvan. 88 p.

Table des figures

Figure 1 - L'évaluation du bon état des eaux de surface	8
Figure 2 - La balance de Lane (1955).....	11
Figure 3 - Mécanisme de transport des particules	12
Figure 4 - Impact théorique d'un ouvrage sur l'interception du transit sédimentaire et sur l'altération du substrat et de la morphologie à son aval	13
Figure 5 - Schéma de l'évolution des fonds après la construction d'un seuil	13
Figure 6 - Processus de mise en place d'un pavage	14
Figure 7 - Seuil à vannes à Quingey	15
Figure 8 - Seuil à clapet à Lisieux.....	16
Figure 9 - Seuil à aiguilles	16
Figure 10 – Schéma de synthèse des différentes situations de transparence des ouvrages à la continuité sédimentaire	16
Figure 11 - L'emboîtement hiérarchisé d'échelles spatiales.....	18
Figure 12 - Bassins versants d'étude.....	20
Figure 14 - Bassin versant de la Madoire dans le bassin du Thouet.....	21
Figure 13 - Bassins versants d'étude dans le bassin de la Gartempe.....	21
Figure 15 - Bassin versant du Courtineau dans le bassin de la Manse.....	21
Figure 16 - Classification de l'impact des ouvrages	23
Figure 17 – Paramètres utilisés pour l'évaluation d'impact	24
Figure 18 - Schéma de synthèse de la topographie par cheminement	26
Figure 19 - Utilisation d'un niveau de chantier et d'une mire.....	26
Figure 20 - Détermination de la largeur et de la profondeur à pleins bords.....	27
Figure 21 - Mesure de la largeur à pleins bords en situation naturelle.....	27
Figure 22 - Echantillonnage granulométrique par la méthode de Wolman (1954).....	28
Figure 23 - Définition des axes caractéristiques d'une particule.....	28
Figure 24 - Exemple de l'utilisation des tamis.....	29
Figure 25 - Contexte et localisation du moulin des Branloirs sur le Gratteloup	30
Figure 26 - Résultats des paramètres mesurés au moulin des Branloirs sur le Gratteloup	31
Figure 27 - Géologie de la vallée du Gratteloup	32
Figure 28 – Schéma de l'aménagement	32
Figure 29 - Contexte et localisation du seuil sur le Courtineau	34
Figure 30 - Résultats des paramètres mesurés au seuil du Courtineau.....	35
Figure 31 - Géologie de la vallée du Courtineau	36
Figure 32 - Affouillement du pied du ponceau en aval de l'ouvrage	37
Figure 33 - Contexte et localisation de la scierie de l'Ardour	38
Figure 34 - Résultats des paramètres mesurés au seuil du Courtineau.....	39
Figure 35 - Géologie de la vallée de l'Ardour	40
Figure 36 - Contexte et localisation du seuil de la Madoire à Sanzay.....	42
Figure 37 - Résultats des paramètres mesurés au seuil de la Madoire.....	43
Figure 38 - Géologie de la vallée de la Madoire	44
Figure 39 - Contexte et localisation du seuil de l'affluent du Parc à Saint-Marc-du-Cor	46
Figure 40 - Résultats des paramètres mesurés au seuil de l'affluent du Parc	47
Figure 41 - Géologie de la vallée de l'affluent du Parc.....	48
Figure 42 - Dépôt sédimentaire en aval du pont	48
Figure 43 - granulométrie des particules de surface juste en amont du seuil de Saint-Marc-du-Cor.....	49

Figure 44 - Contexte et localisation du moulin de la Chapelle Taillefert sur la Gartempe	50
Figure 45 - Résultats des paramètres mesurés au moulin de la Chapelle Taillefert sur la Gartempe	51
Figure 46 - Géologie de la vallée la Gartempe	52
Figure 47 - Banc sédimentaire en amont du remous liquide du seuil de la Madoire	54

Tables des tableaux

Tableau 1 - Les variations des pentes et du fond du lit « grossier »	53
Tableau 2 - Evolution amont/aval de la géométrie hydraulique	55
Tableau 3 - Variation du D50 et du D90 moyen des particules	56
Tableau 4 - Comparaison des pentes des tronçons avec celles prises à 14 fois la largeur à pleins bords	59

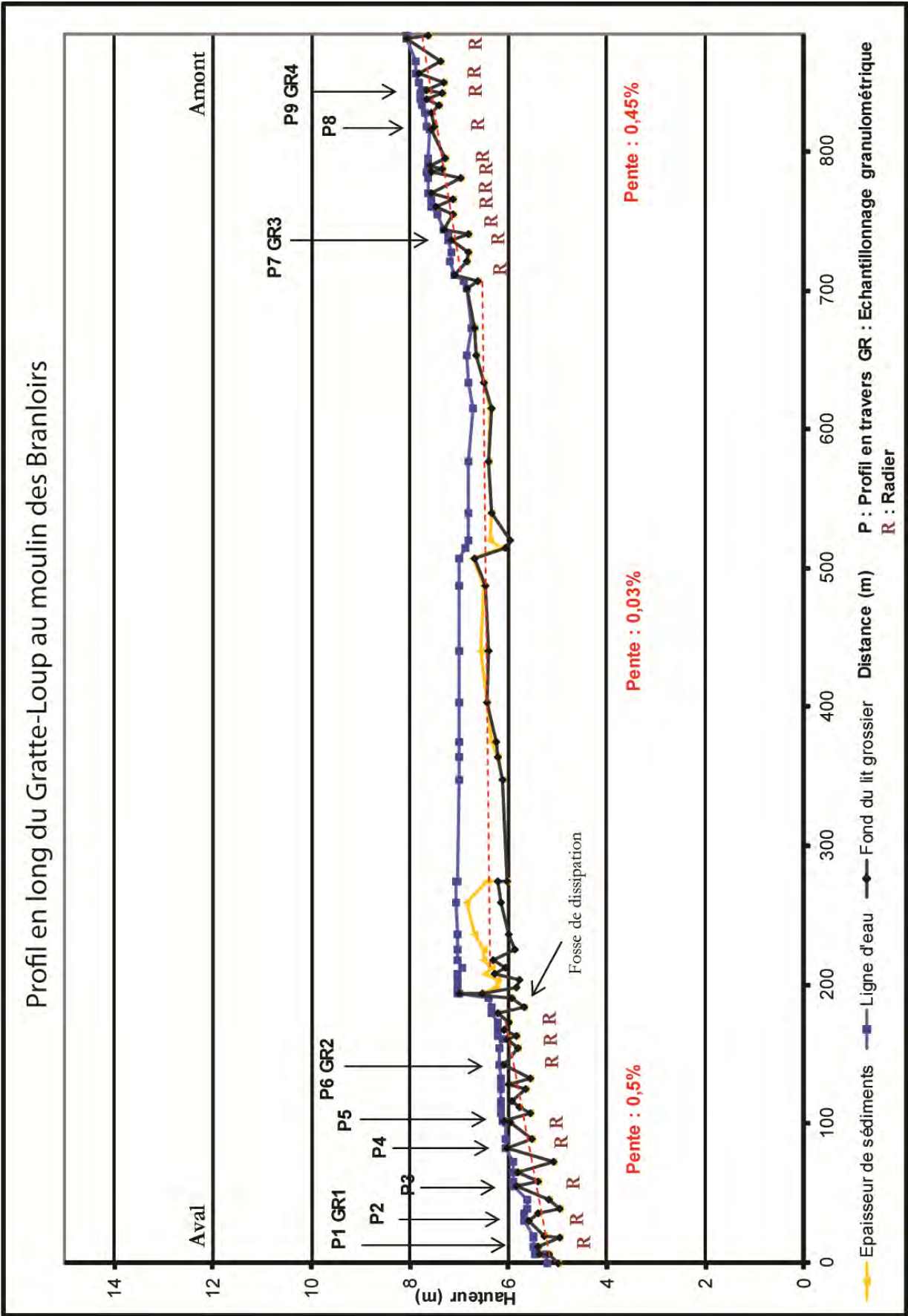
Table des matières

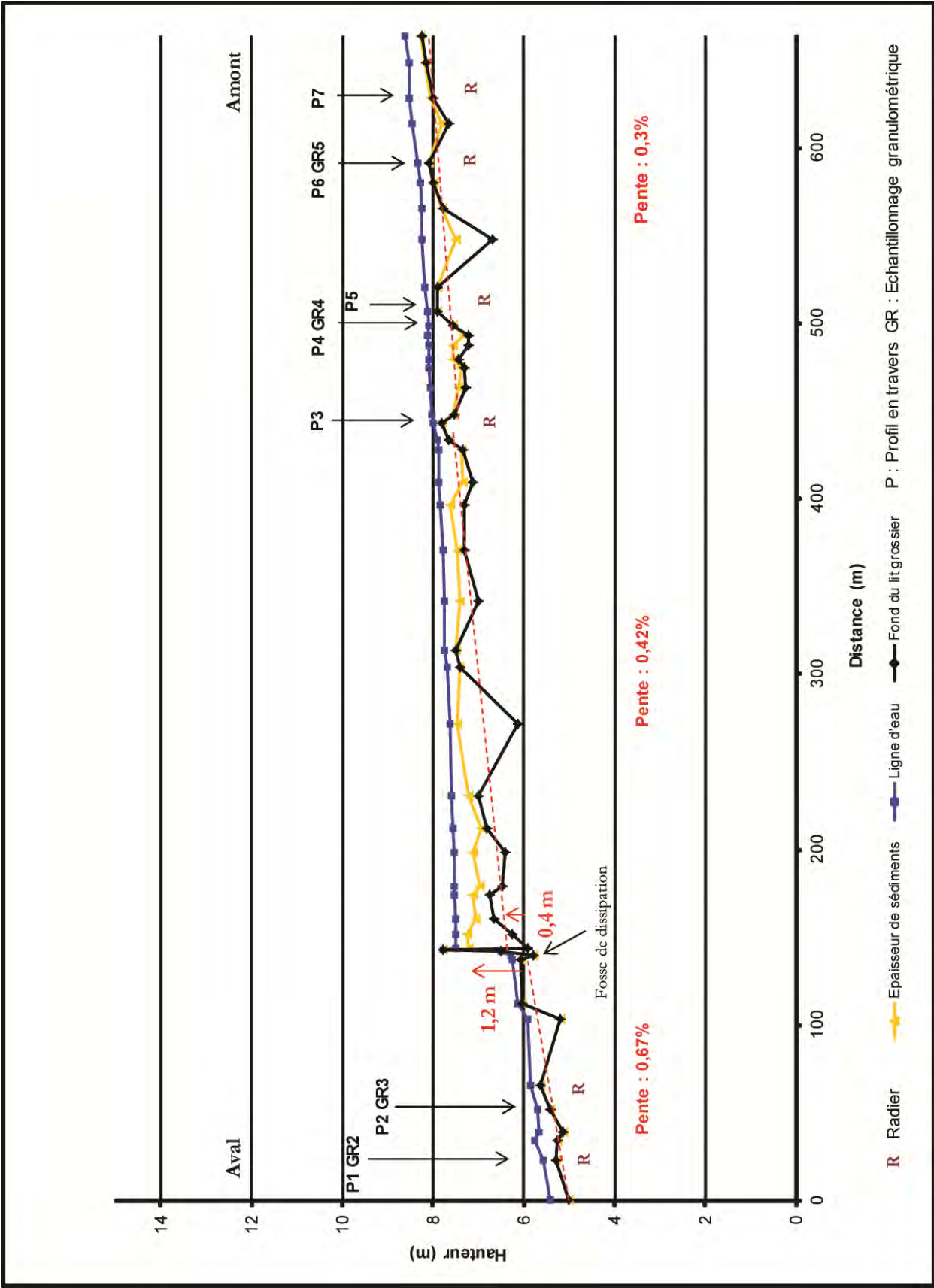
Remerciements	3
Sommaire	4
Introduction	5
1. Contexte et objectifs du stage	7
1.1. L'agence de l'eau Loire-Bretagne et la DREAL Centre	7
1.2. La mise en application de la législation sur la continuité sédimentaire	7
1.2.1. L'hydromorphologie dans l'évaluation de l'état écologique des eaux	7
1.2.2. La notion de transport suffisant	9
1.2.3. Le besoin d'une méthodologie d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire	10
1.3. Le transport solide en rivière et l'altération hydromorphologique	10
1.3.1. Le transport solide en rivière	11
1.3.2. L'impact des ouvrages transversaux sur le transit sédimentaire	12
1.3.2.1. Influence de la retenue sur le transit sédimentaire	12
1.3.2.2. Conséquence d'un déficit sédimentaire sur la dynamique fluviale.....	13
1.3.3. Typologie des ouvrages transversaux	15
1.3.4. Paramètres à prendre en compte dans l'estimation de l'impact d'un ouvrage sur le transit sédimentaire.....	17
1.4. Démarche et problématiques pour l'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire	18
1.4.1. Planifier les enjeux de gestion de la dynamique sédimentaire des cours d'eau à l'échelle du bassin Loire-Bretagne	18
1.4.2. Diagnostic du niveau d'impact d'un seuil ou d'une série de seuils	19
1.4.2.1. Objectifs du protocole d'évaluation.....	19
1.4.2.2. Problématiques pour la mise en application du protocole	20
2. Définition du protocole d'évaluation de l'impact d'un seuil sur le transit sédimentaire	22
2.1. Le choix des ouvrages	22
2.2. Description et utilisation des paramètres d'évaluation de l'impact des seuils sur le transit sédimentaire	24
2.3. Protocole de mesures de terrain	25
2.3.1. La réalisation du profil topographique en long	26
2.3.2. Mesurer la géométrie hydraulique du lit	27
2.3.3. La granulométrie des particules du fond du lit	28
3. Résultats, interprétation des données et retour méthodologique	30
3.1. Description des résultats issus du protocole.....	30
3.1.1. Le moulin des Branloirs sur le Gratteloup.....	30

3.1.1.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	32
3.1.1.2.	Description de l'ouvrage.....	32
3.1.1.3.	Description du profil en long.....	32
3.1.1.4.	Géométrie hydraulique	33
3.1.1.5.	Granulométrie.....	33
3.1.2.	Le seuil sur la rivière du Courtineau	34
3.1.2.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	36
3.1.2.2.	Description de l'ouvrage.....	36
3.1.2.3.	Description du profil en long.....	36
3.1.2.4.	Géométrie hydraulique	37
3.1.2.5.	Granulométrie.....	37
3.1.3.	La scierie du Camp sur l'Ardour	38
3.1.3.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	40
3.1.3.2.	Description de l'ouvrage.....	40
3.1.3.3.	Description du profil en long.....	40
3.1.3.4.	Géométrie hydraulique	41
3.1.3.5.	Granulométrie.....	41
3.1.4.	Evaluation de l'impact du seuil à Sanzay sur la Madoire	42
3.1.4.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	44
3.1.4.2.	Description de l'ouvrage.....	44
3.1.4.3.	Description du profil en long.....	44
3.1.4.4.	Géométrie hydraulique	45
3.1.4.5.	Granulométrie.....	45
3.1.5.	Evaluation de l'impact du seuil à Saint-Marc sur un affluent du Parc	46
3.1.5.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	48
3.1.5.2.	Description de l'ouvrage.....	48
3.1.5.3.	Description du profil en long.....	48
3.1.5.4.	Géométrie hydraulique	49
3.1.5.5.	Granulométrie.....	49
3.1.6.	Evaluation de l'impact du moulin de La Chapelle-Taillefert sur la Gartempe 50	
3.1.6.1.	Contexte géomorphologique de la vallée	52
3.1.6.2.	Description de l'ouvrage.....	52
3.1.6.3.	Description du profil en long.....	52
3.1.6.4.	Géométrie hydraulique	52
3.1.6.5.	Granulométrie.....	53
3.2.	Interprétation des résultats : évaluation de l'impact des ouvrages	53

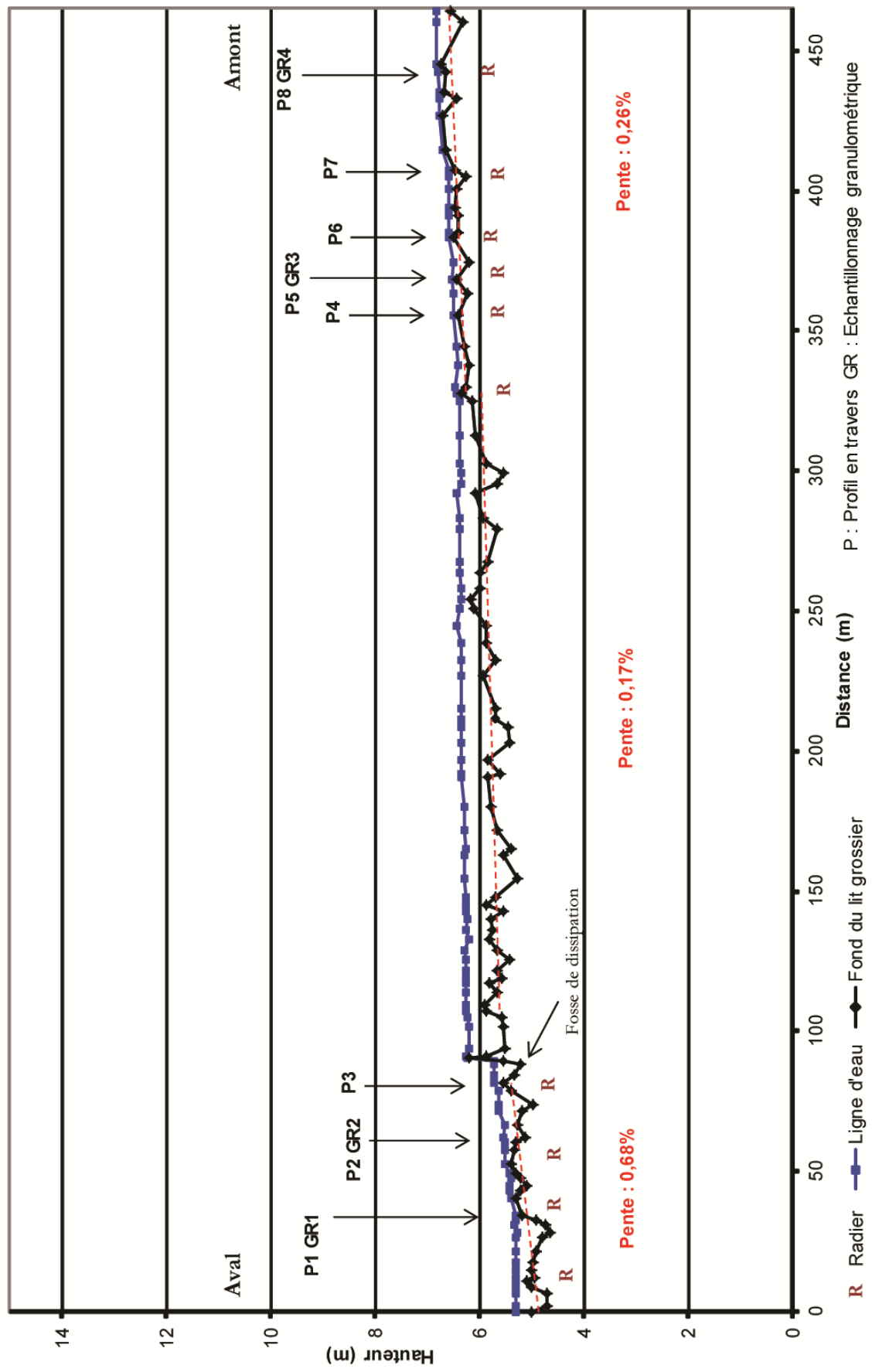
3.2.1.	Rôle des ouvrages sur la pente du fond du lit grossier.....	53
3.2.2.	Rôle des ouvrages sur la géométrie hydraulique du chenal d'écoulement	55
3.2.3.	Rôle des ouvrages sur la granulométrie du fond du lit	56
3.2.4.	Rôle des ouvrages sur la répartition des particules fines dans le remous liquide 57	
3.2.5.	Synthèse de l'impact des ouvrages sur le transit sédimentaire.....	57
3.3.	Discussions et préconisations d'amélioration du protocole d'évaluation	58
3.3.1.	Utilisation de la pente.....	58
3.3.1.1.	L'interprétation de la pente sur un tronçon naturellement non homogène	58
3.3.1.2.	L'impact de la longueur des tronçons de référence amont et aval	59
3.3.2.	Utilisation des paramètres de géométrie hydraulique	59
3.3.3.	Utilisation des mesures granulométriques	60
	Conclusion	61
	Bibliographie	62
	Table des figures	65
	Tables des tableaux	66
	Table des matières.....	67
	Annexe 1 : Profil en long.....	70
	Annexe 2 : Granulométrie des particules	76

Annexe 1 : Profil en long

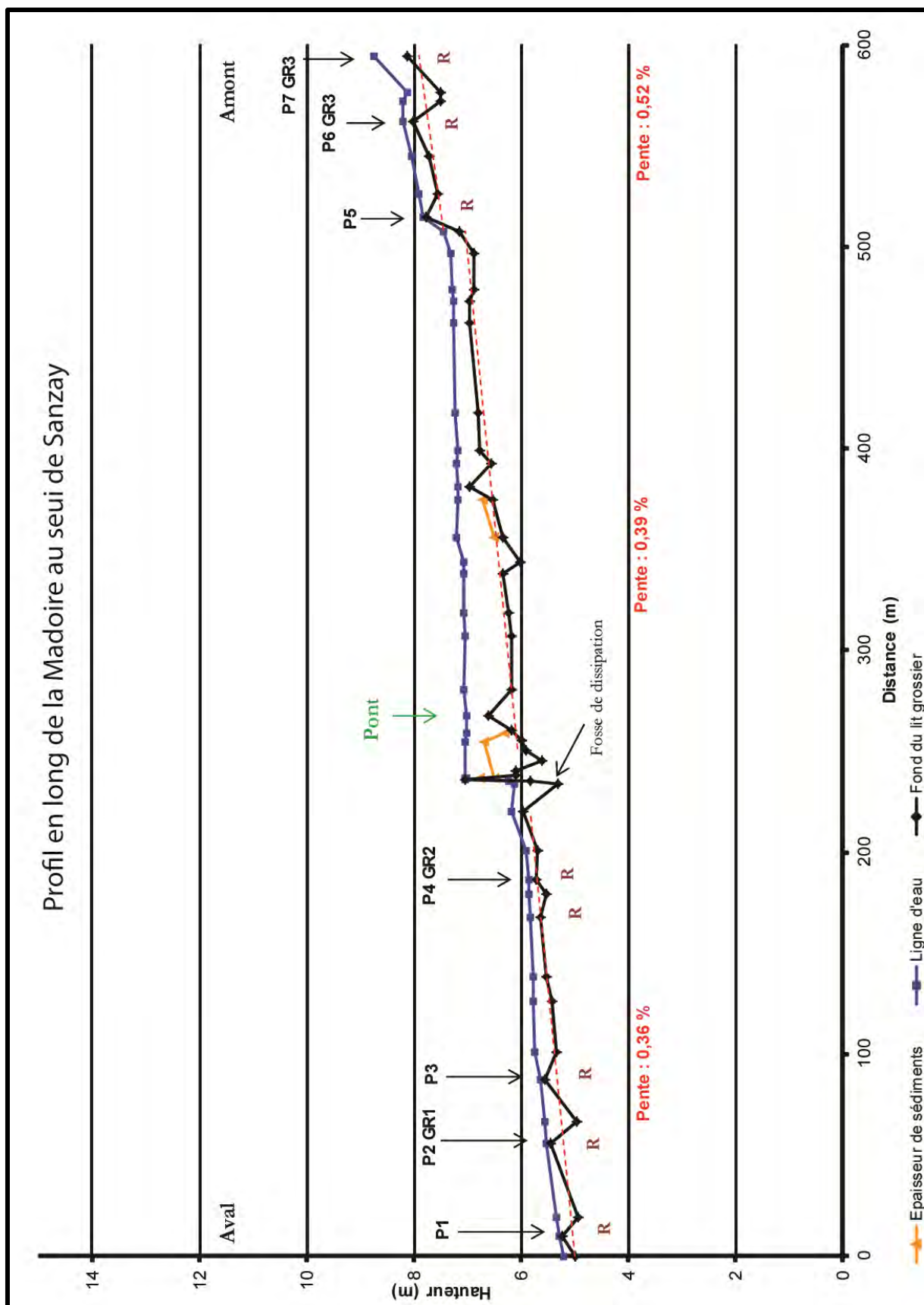




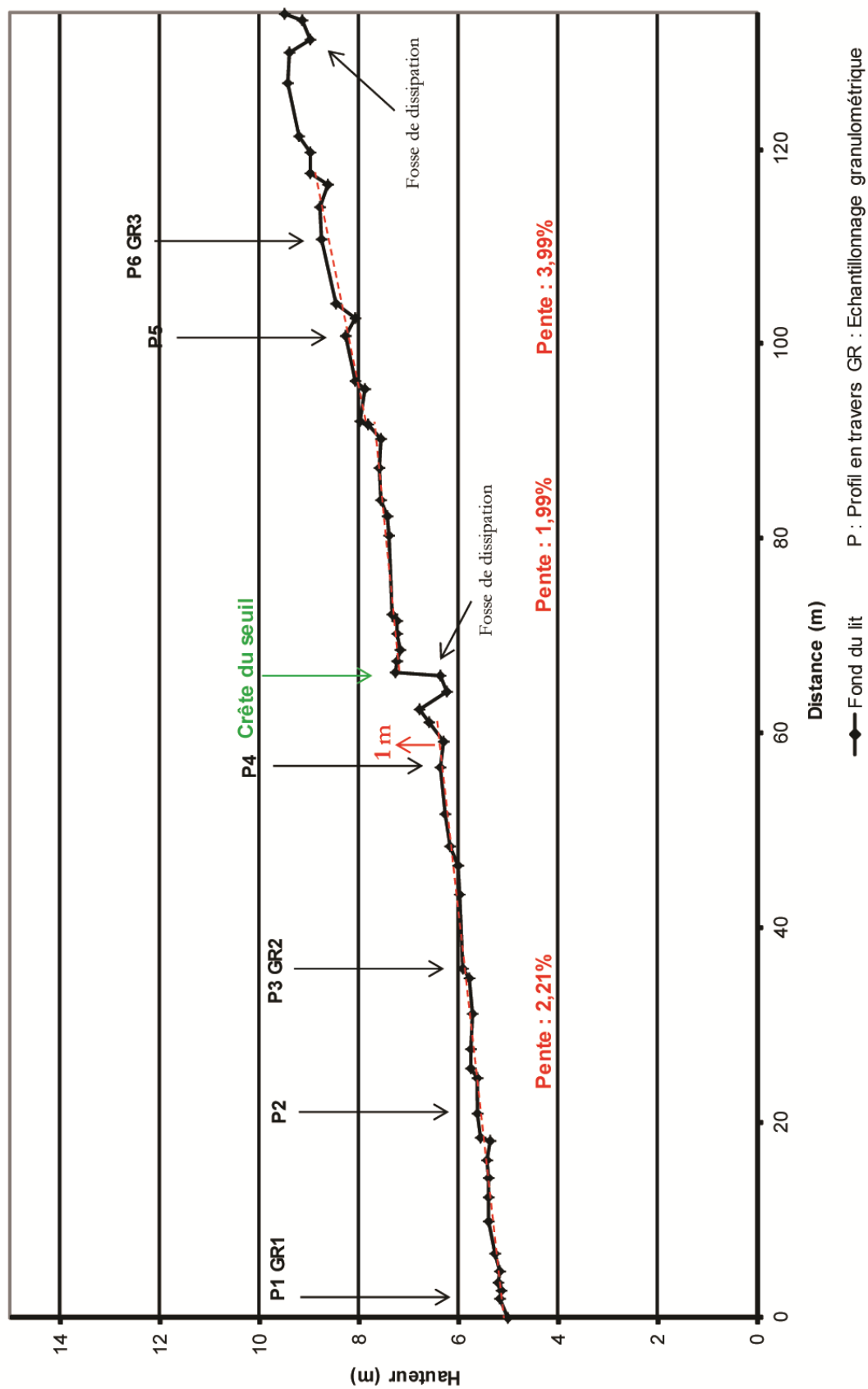
Profil en long de la rivière du Courteineau au seuil du Courteineau



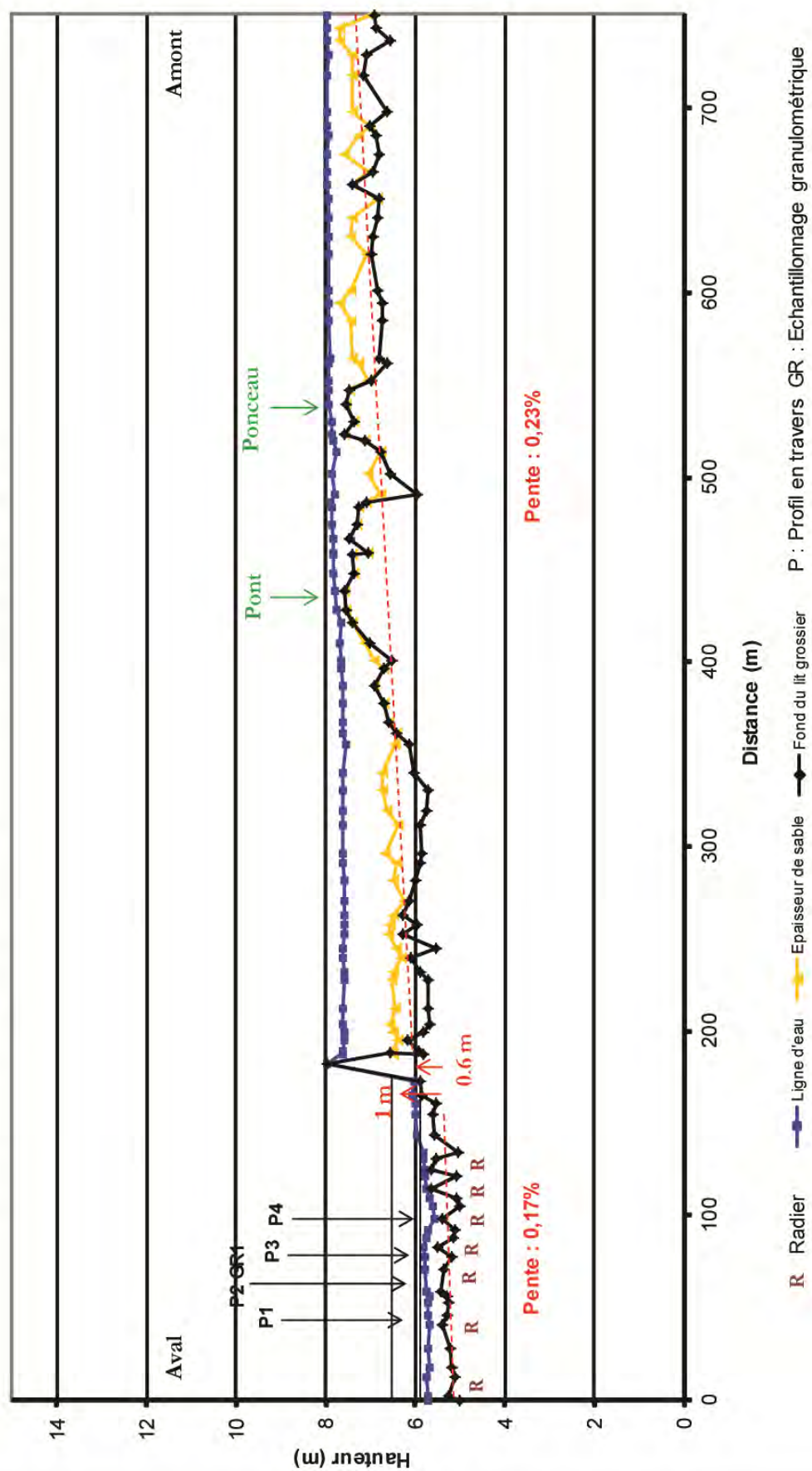
Profil en long de la Madoire au seuil de Sanzay



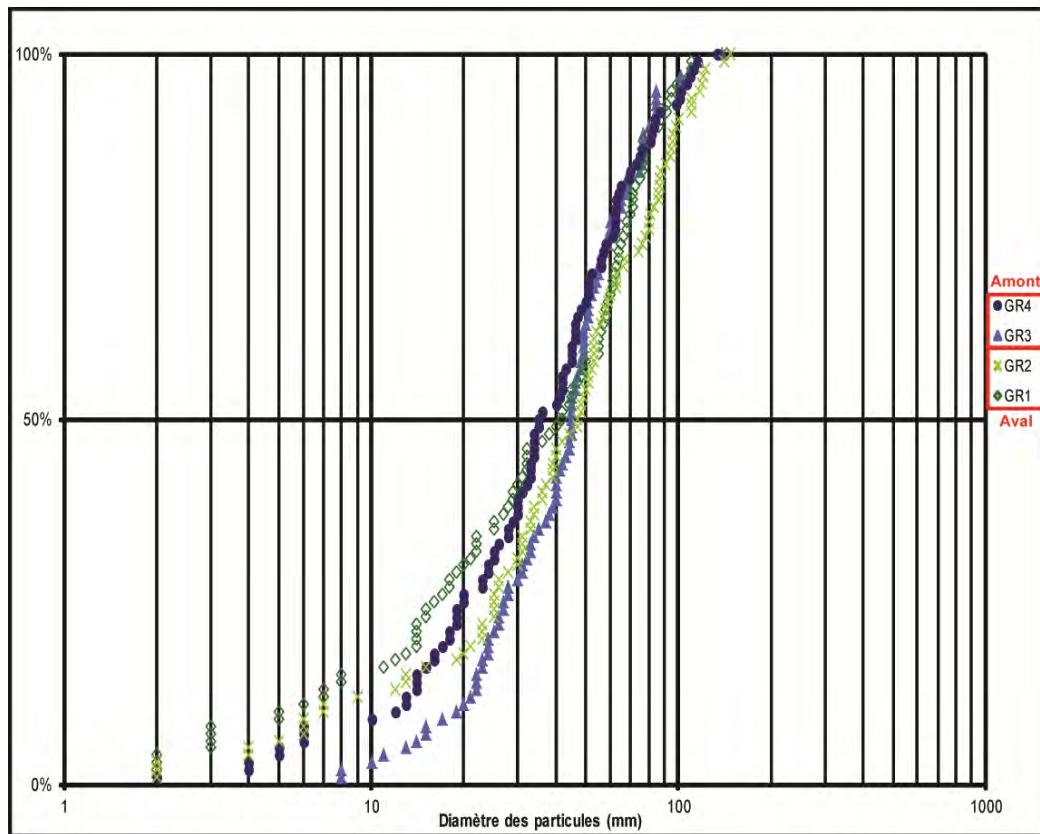
Profil en long d'un affluent intermittent du Parc à Saint-Marc-du-Cor



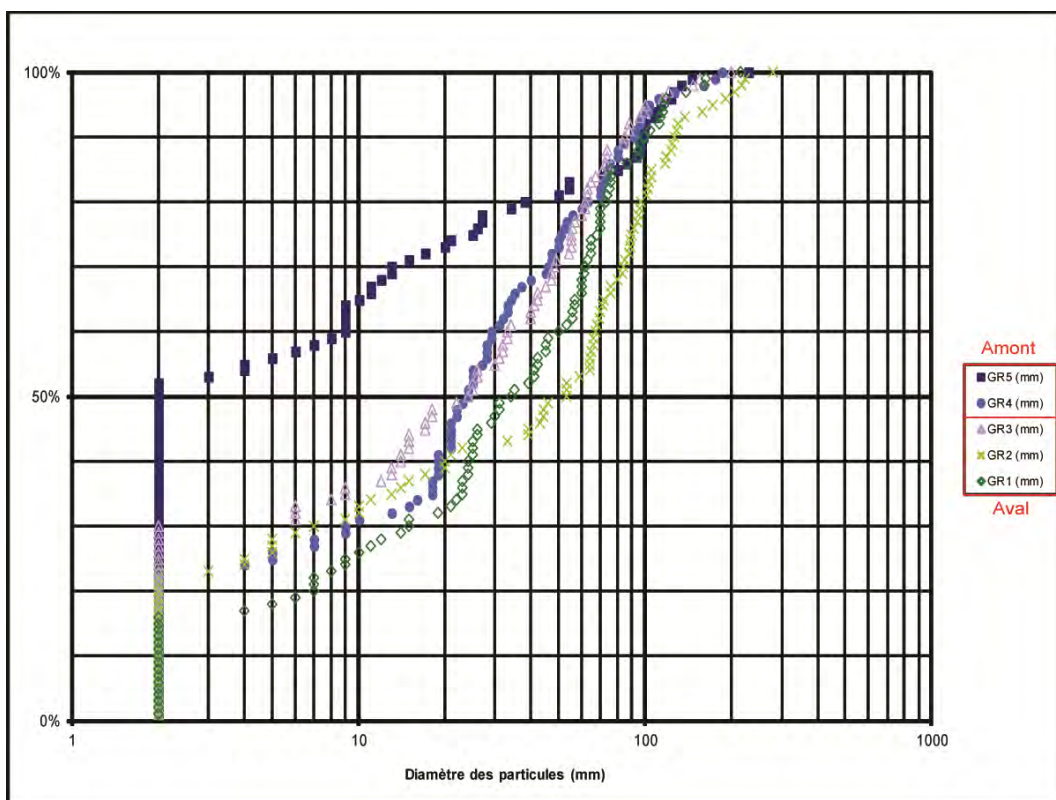
Profil en long de la Gartempe au moulin de la Chapelle-Taillefert



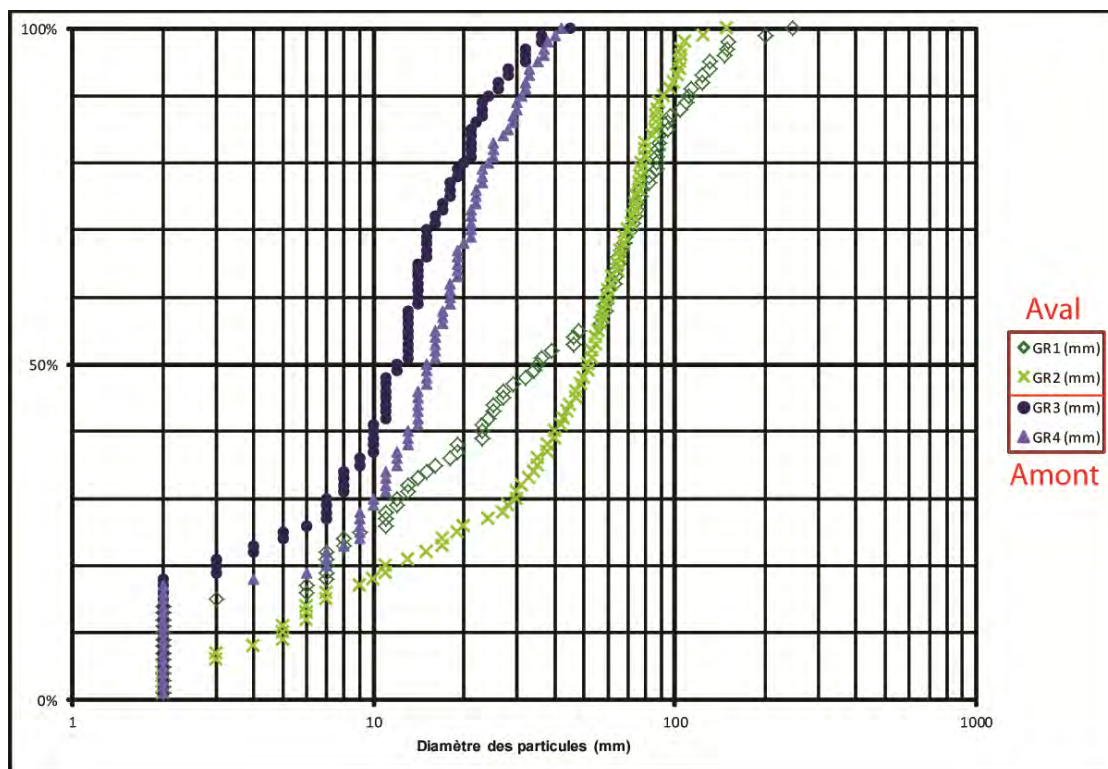
Annexe 2 : Granulométrie des particules



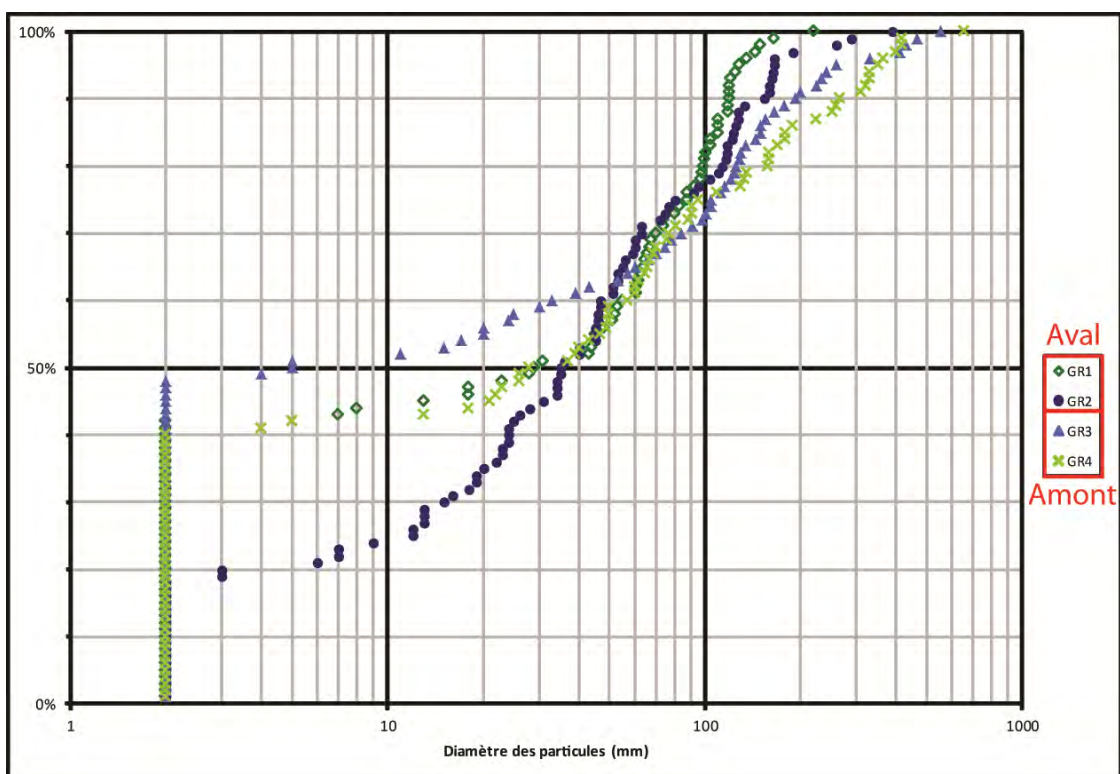
Granulométrie des particules sur le Gratteloup



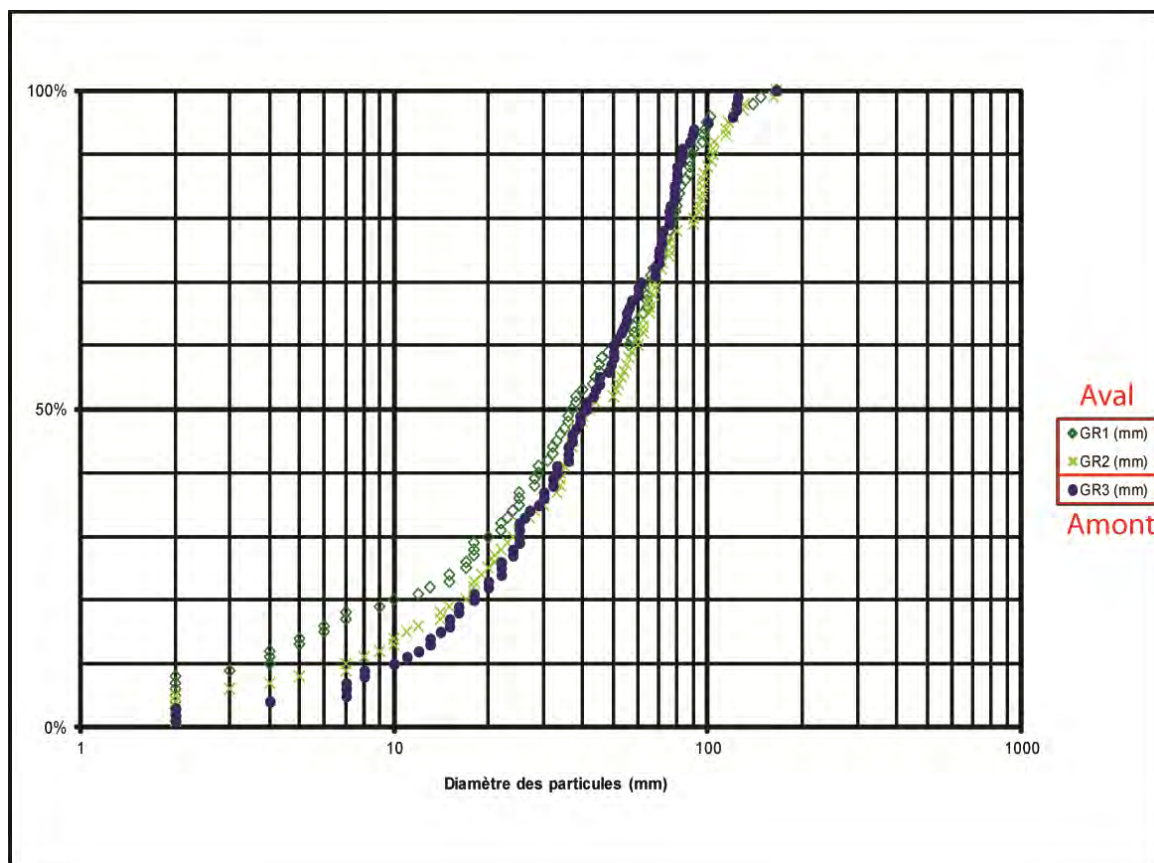
Granulométrie des particules sur l'Ardour



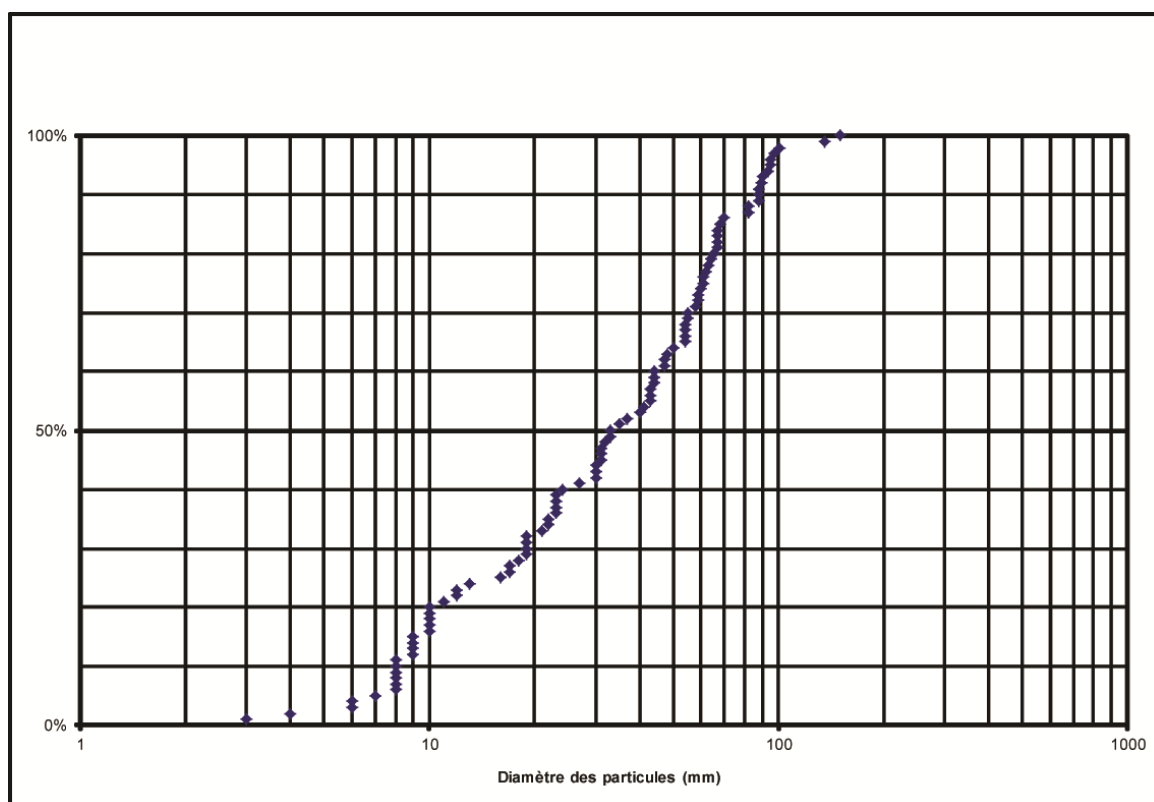
Granulométrie des particules sur le Courineau



Granulométrie des particules sur la Madoire



Granulométrie des particules sur l'affluent du Parc



Granulométrie des particules sur la Gartempe