



DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE ET PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT DE LA LEUE BASALE

Rapport final



Bureau d'Étude **TELEOS suisse** :
Les Rangiers 11 E – Commune d'Asuel –
CH-2883 MONTMELON

Hervé DÉCOURCIÈRE (rapporteur),
François DEGIORGI (rapporteur),
Stéphane ÉCUER (aide logistique),
Jonathan PARIS,
Guy PÉRIAT,

Daniel SCHLUNKE

Alain LIMANDAT (hydrologie et hydraulique)



Juin 2015

Sommaire

I. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	3
II. DIAGNOSTIC : ETAT ECOLOGIQUE ET CAUSES D'ALTERATION.....	5
II.1. QUALITE BIOLOGIQUE ACTUELLE	5
<i>II.1.1. Biocénoses benthiques de la Leue basale</i>	<i>5</i>
<i>II.1.2. Etat des peuplements piscicoles de la Leue basale</i>	<i>7</i>
II.2. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE	9
II.3. QUALITE PHYSIQUE	11
<i>II.3.1. Qualité physique à l'échelle de la station</i>	<i>11</i>
<i>II.3.2. Qualité physique à l'échelle du tronçon</i>	<i>12</i>
II.4. BILAN DU DIAGNOSTIC	14
III. RECHERCHES DES CAUSES ET DES MECANISMES D'ALTERATIONS.....	15
III.1. APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE : HISTORIQUE DES TRACES.....	15
III.2. TOPOGRAPHIE	19
III.3. HYDOLOGIE ET HYDRAULIQUE	20
IV. PROJET DE RESTAURATION.....	25
IV. 1. ORIENTATIONS ET STRATEGIE DE RESTAURATION.....	25
IV. 2. MODALITES DE RESTAURATION.....	28
<i>IV. 2.1. Diversification et remodelage du lit entre la RD11 et la STEP</i>	<i>28</i>
<i>IV. 2.3. Reméandrement entre la STEP et l'amont immédiat de la confluence</i>	<i>28</i>
<i>IV. 2.4. Option A : recharge et rehaussement de la confluence</i>	<i>30</i>
<i>IV. 2.5. Option B : recréation d'une confluence amont pour la Leue</i>	<i>30</i>
<i>IV. 2.6. Option C : déplacement de la confluence intermédiaire</i>	<i>32</i>
IV.3. HYDRAULIQUE : EVALUATION DES IMPACTS DU PROJETS.....	32
<i>IV. 3.1. Impacts de l'option A</i>	<i>33</i>
<i>IV. 3.2. Impacts de l'option B</i>	<i>35</i>
<i>IV. 3.3. Impacts de l'option C</i>	<i>35</i>
IV.4. BILAN, CUBAGE ET CHIFFRAGE DES COUTS POUR LES OPTION A ET C.....	35
CONCLUSION.....	38
BIBLIOGRAPHIE	39
ANNEXES.....	42

DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE ET PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT DE LA LEUE BASALE

I. Contexte et problématique

La Leue est un petit cours d'eau qui naît à une altitude de 275 m au sud-est de la Forêt de Chaux près d'Arc-et-Senans. Après un court parcours forestier, il arrose la plaine agricole qui s'étend entre Chissey-sur-Loue, Chatelay, Germigney et Montbarrey (fig. 1). Ce ruisseau change plusieurs fois de nom avant de confluer avec la Basse Loue en rive droite sur la commune de Balmont à une altitude de 209 m.

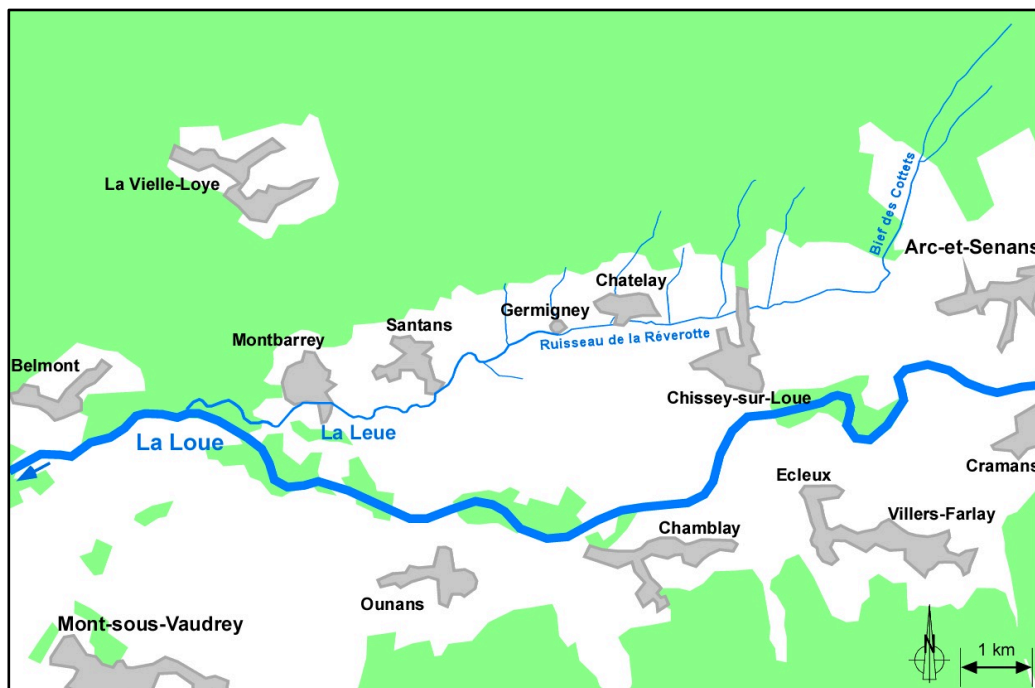


Figure 1. Localisation et cours de la Leue

Depuis le XIXe siècle, la Leue a subi plusieurs phases d'aménagement qui ont profondément modifié son tracé et son gabarit. Les simplifications morphologiques successives qui en ont résulté ont fini par entraîner l'appauvrissement des potentiels biologiques ainsi que des tendances à l'assèchement et au colmatage des fonds.

Aussi, le Syndicat d'Aménagement de la Leue, l'AAPPMA de la Gaule du Val d'Amour, la Communauté de communes du Val d'Amour et l'Agence de l'Eau RM ont ils décidé de mener ensemble une réflexion sur les possibilités et les modalités d'une restauration au moins partielle de ce cours d'eau lourdement altéré. Cependant, compte tenu de l'importance des pressions foncières agricoles sur la partie médiane du cours d'eau, cette démarche a été dans un premier temps ciblée sur la Leue basale, entre le pont de la RD11 et la confluence à la Loue (fig. 2).

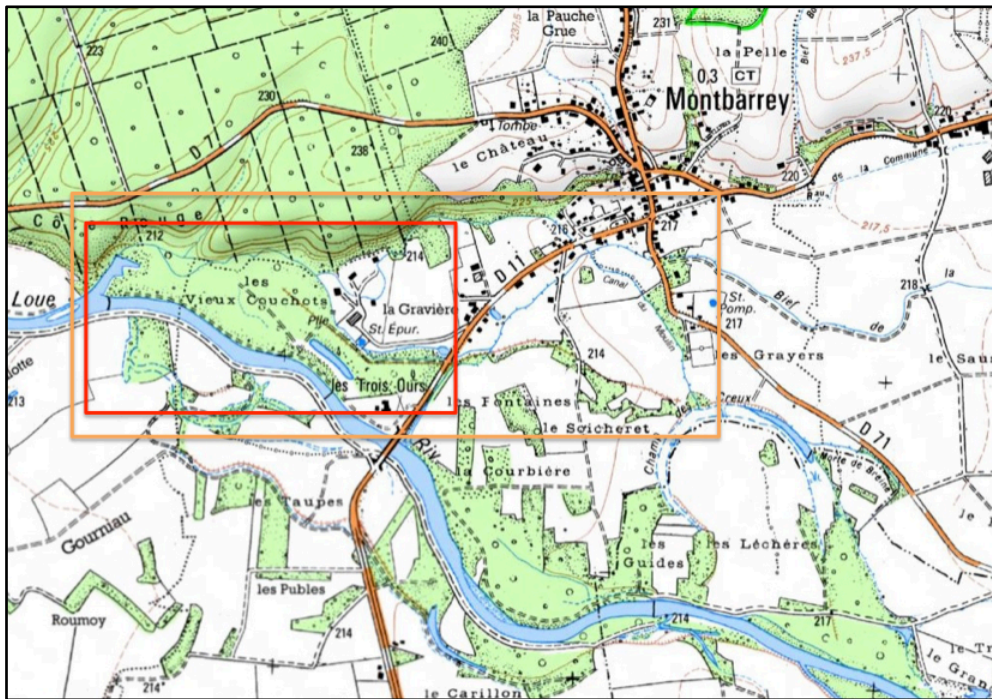


Figure 2. Localisation du secteur d'étude

Cette étude a pour but, dans un premier temps, de déterminer l'état écologique de la Leue aval et d'en déduire la nécessité et la faisabilité d'une restauration qui tienne compte des potentiels biologiques à reconstituer mais aussi des usages et des contraintes spatiales propres à ce secteur.

Dans cette optique, un diagnostic écologique de cette portion du cours d'eau a d'abord été établi, pour caractériser ses capacités biologiques et physiques actuelles, comme pour explorer les potentialités de restauration. Ces données serviront aussi à établir un état initial et à enregistrer des données témoins qui pourront ensuite servir à évaluer l'efficacité des éventuels travaux de restauration du secteur.

Dans cette optique, des prélèvements de faune benthique (selon le protocole DCE) et des inventaires piscicoles (par pêches électriques exhaustives) ont été effectués afin de déterminer à la fois le potentiel de la Leue et sa qualité biologique actuelle. En effet, les macro-invertébrés benthiques et les poissons sont des groupes fortement intégrateurs de la qualité général des hydrosystèmes.

En complément, la thermie et les données bibliographiques disponibles sur la qualité physico-chimique du secteur ont été analysées pour déceler et hiérarchiser les facteurs qui limitent ou perturbent peuplements. Parallèlement, les capacités habitationnelles ont été décrites pour connaître les lacunes de la qualité physique à différentes échelles du cours d'eau (méthode tronçon et IAM).

Dans un deuxième temps, un projet de restauration de la Leue aval a été élaboré en tenant compte des anciens tracés retrouvés dans les archives, des caractéristiques topographiques de la vallée, des contraintes hydrauliques actuelles et des gains écologiques optimaux.

II. Diagnostic : état écologique et causes d'altération

II.1. Qualité biologique actuelle

II.1.1. Biocénoses benthiques de la Leue basale

Des prélèvements benthiques ont réalisés en juin 2014 sur deux stations de la Leue aval, selon le protocole de la norme XP T 90-333 (fig. 3 et Annexe X.1). Ceux-ci montrent que **la situation biocénotique est moyenne à médiocre** (tab. 1). En effet, les descripteurs globaux des peuplements de macro-invertébrés benthiques sont **éloignés des références** et montrent des signes de perturbation importants à sévères, **avec une régression nette entre les deux stations d'étude** (Erreur! Source du renvoi introuvable. Tableau 1). L'abondance sur les deux sites est très faible. La variété générique est moyenne à assez élevée à l'amont ; elle perd 8 unités d'amont en aval.

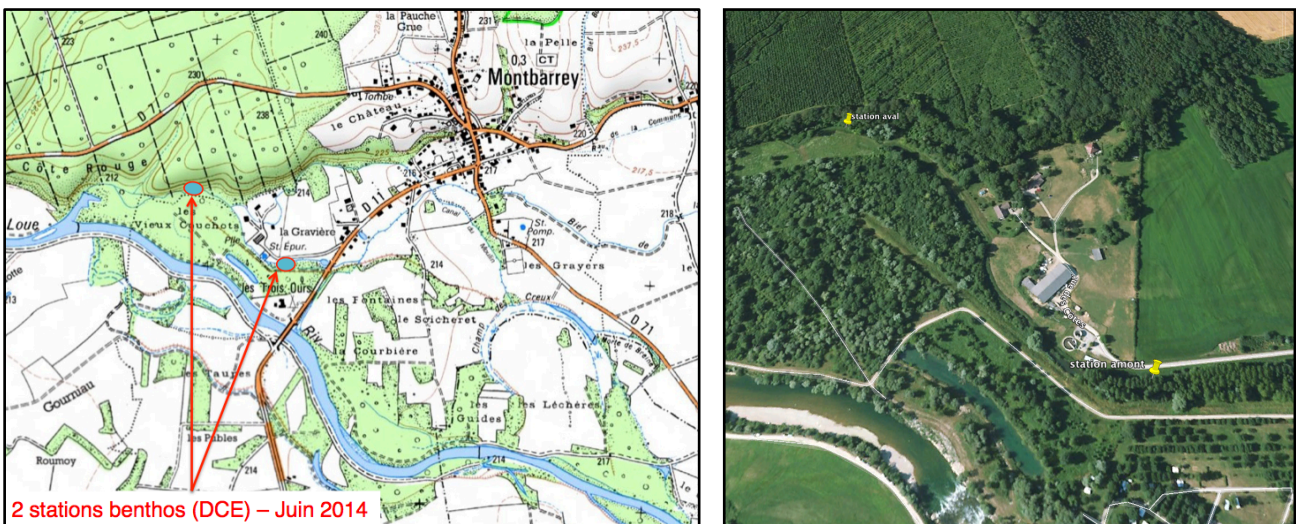


Figure 3. Localisation des stations d'étude

La composition de l'échantillon benthique prélevé dans la station amont montre qu'il y subsiste un potentiel relictuel encore intéressant. La communauté comprend en effet :

- deux genres de Plécoptère de la famille des *Leuctridae* : *Euleuctra* et *Leuctra* ;
- deux genres d'Éphéméroptère : *Ephemera* et *Habrophlebia* ;
- cinq genres de Trichoptère : *Goera*, *Lepidostoma*, *Molannodes*, *Tinodes* et *Sericostoma*.

L'édifice benthique reste toutefois fragile, puisque 40% des taxons ne sont représentés que par moins de 4 individus.

Sur la station aval, située en aval de la STEP de Montbarrey, le peuplement d'invertébrés benthiques est encore plus nettement altéré. Par rapport à la station amont, la simplification est marquée par la disparition de tous les taxons sensibles cités ci-dessus, ainsi que par la prolifération de taxons résistants et/ou ubiquistes : *Baetis*, *Chironomidae*, *Radix*, *Erpobdella*, Oligochètes. La densité cumulée de ces groupes saprobiontes augmente de 180 % entre l'amont et l'aval de la STEP.

La Leue à Montbarrey	Station amont	Station aval	Évolution
Abondance (12 placettes DCE)	2 364	2 430	=
Variété générique (12 placettes DCE)	47	39	↘
Variété familiale (12 placettes DCE)	38	32	↘
Var. géné. / Abond. Plécoptères	2 / 10	0 / 0	↘ / ↘
Var. géné. / Abond. Éphéméroptères	6 / 104	5 / 90	↘ / ↘
Var. géné. / Abond. Trichoptères	12 / 416	3 / 18	↘ / ↘
Var. géné. / Abond. Coléoptères	5 / 277	5 / 82	= / ↘
IBGN (/20)	16	12	↘
Taxon indicateur (GI)	<i>Leuctridae</i> (7)	<i>Hydroptilidae</i> (5)	↘
Variété IBGN	34	28	↘
Cb2 (/20)	15,0	12,5	↘
Indice variété (Iv /10)	7,5	6,2	↘
Indice nature (In /10)	7,5	6,5	↘
Saprobiontes et/ou polluo-résistants et/ou ubiquistes (%)	1 568 (66%)	2 132 (88%)	↗ (↗)
Abond. <i>Gammarus</i>	1 135	35	↘
Abond. <i>Elmidae</i>	269	19	↘

Tableau 1. Caractérisation du peuplement benthique de la Leue sur deux sites aval en 2014

Selon l'étude effectuée en 2009 par IRH pour le Syndicat Intercommunal des Eaux et de l'Assainissement du Val d'Amour, la différence mesurée à cette époque entre les 2 stations encadrant la STEP de Montbarrey montrait un impact plus intense du rejet :

- la station amont, implantée au niveau du pont de la RD11, abritait un peuplement similaire à celui décrit en 2014 : l' IBGN s'élevait à 15 /20 contre 16 /20 en 2014 ;
- la station à 100 mètres environ en aval du rejet présentait une note IBGN de 5/20 bien plus faible qu'en 2014, sanctionnant une variété plus basse (11 unités taxonomiques contre 28 en 2014) combiné avec un niveau de polluo-sensibilité de 2 seulement pour le groupe indicateur (*Elmidae*), contre 5 (*Hydroptilidae*) en 2014.

En 2002, l'étude des affluents de la Basse Vallée de la Loue du cabinet REILE indiquait une note IBGN de 12 /20 en aval de la STEP, identique à celle de 2014. La faiblesse de l'indice mesuré en 2009 s'explique en partie par la plus grande proximité de la station aval prospectée à avec le rejet de la STEP.

En revanche, la station aval de 2014 a été implantée sur un secteur sujet à des pertes induisant des débits d'étiage plus faibles, voire des assèchements. Cette configuration explique la diminution de la densité de gammars (22 individus sur 8 placettes, contre 504 en 2009) ainsi que la régression, d'amont en aval, des taxons holobiotiques (qui effectuent tout leur cycle dans le milieu aquatique) au profit des taxons amphibiotiques (qui possèdent une phase terrestre ou aérienne dans leur cycle de développement).

Le peuplement d'invertébrés benthique de la Leue aval présente un potentiel réel en amont de la STEP de Montbarrey, malgré des déficits important qui révèlent l'existence de pollutions diffuses dans le bassin versant. Les rejets de la station d'épuration de Montbarrey exercent un fort impact sur les biocénoses benthiques. Cependant, la simplification de la morphologie du cours d'eau contribue également à la banalisation des peuplements d'invertébrés benthiques.

II.1.2. Etat des peuplements piscicoles de la Leue basale

En octobre 2013, des inventaires piscicoles ont été réalisés dans la Leue, en amont et en aval du rejet de la STEP de Montbarrey (fig. 4). Ces inventaires exhaustifs réalisés à l'électricité par enlèvement successifs lors de deux passages constituent la technique idéale pour assurer une robustesse idéale des résultats.

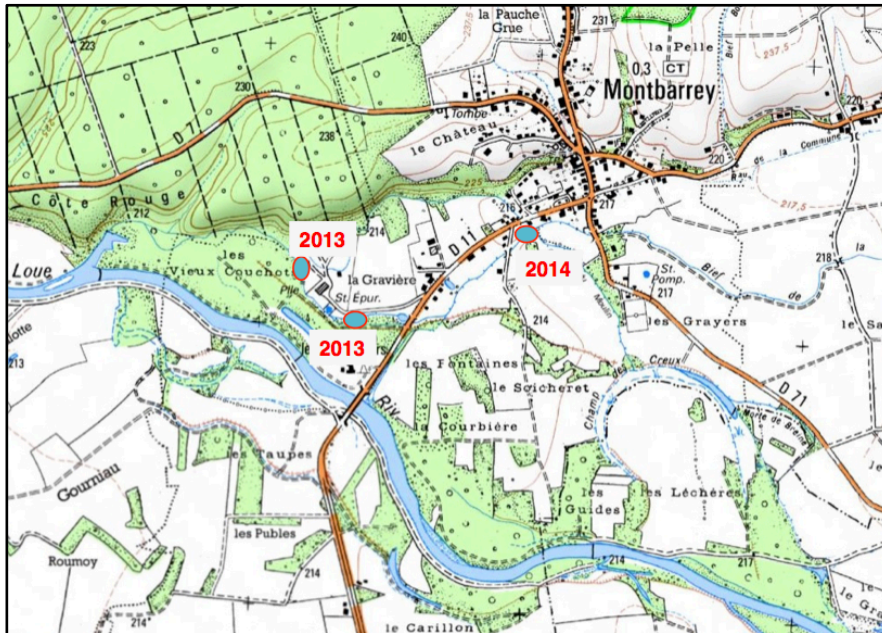


Figure 4. Localisation des stations d'étude

Comme l'étude du macrobenthos, l'analyse des peuplements de poissons de la Leue indique **une différence notable** entre les deux sites (fig. 5).

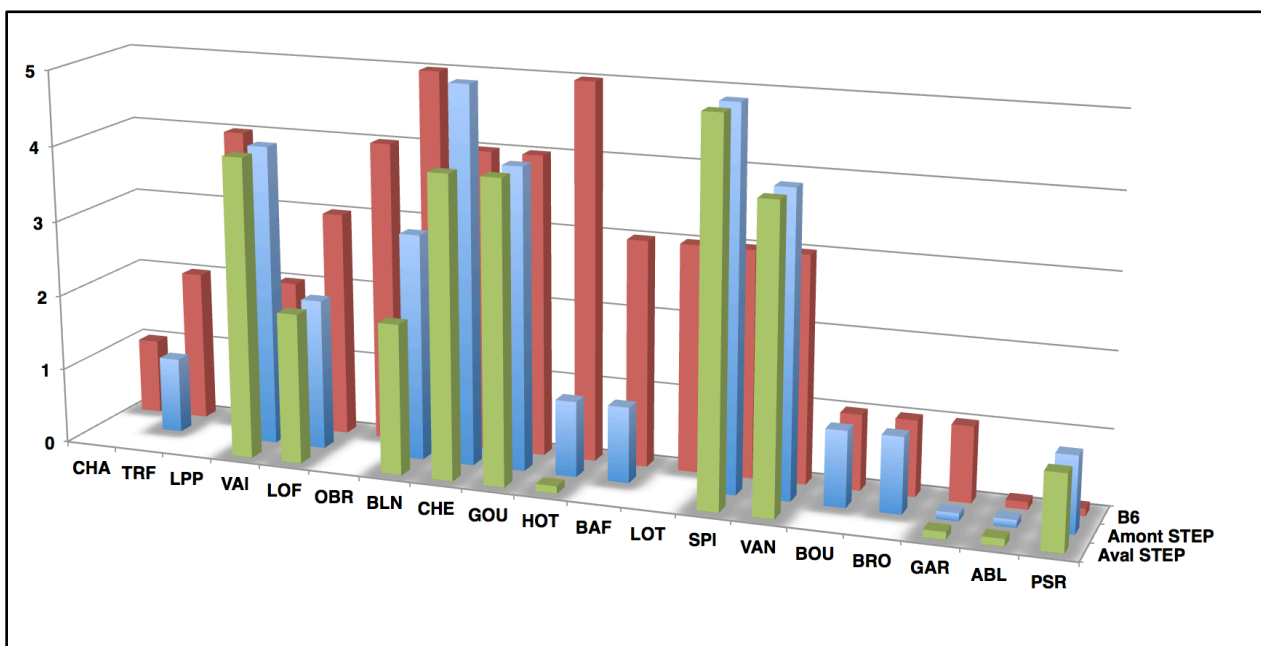


Figure 5. Structures du peuplement de poissons en amont et en aval de la STEP en 2013 et comparaison à la référence B6 (d'après données Fédération de Pêche du Jura).

Tout d'abord la biomasse est nettement plus élevée à l'amont puisqu'elle y atteint 561 kg/ha, contre 373 kg/ha en aval. De même, la variété spécifique est plus importante en amont : 15 espèces répertoriées contre seulement 11 en aval.

La truite, le barbeau, la bouvière et le brochet, présentes en amont, manquent en aval. Parallèlement, les abondances du blageon, du chevesne et du hotu sont plus élevées en amont de la STEP qu'en aval. Enfin, par rapport au biocénotype B6 (zone à ombre ou hyporhithral), le peuplement de la station amont est plus proche du niveau de référence.

Toutefois, le peuplement piscicole échantillonné à l'amont de la STEP est lui aussi **fortement déstructuré**. Les espèces électives du biocénotype manquent (la lamproie de Planer, l'ombre, la lote) ou sont nettement déficitaires (le hotu, le blageon, le barbeau). A *contrario*, le chevesne, espèce ubiquiste et peu exigeante, est très majoritaire sur les deux stations : 53 % de la biomasse en amont et 39% en aval.

Le peuplement piscicoles inventorié en aout 2014 à Montbarrey, à environ 1 km en amont de la STEP est encore plus appauvri et plus déstructuré (fig. 6). En effet, la biomasse échantillonnée n'y dépassait pas 130 kg/ha tandis qu'une grande partie des espèces peuplant naturellement ce type de cours d'eau y faisait défaut.

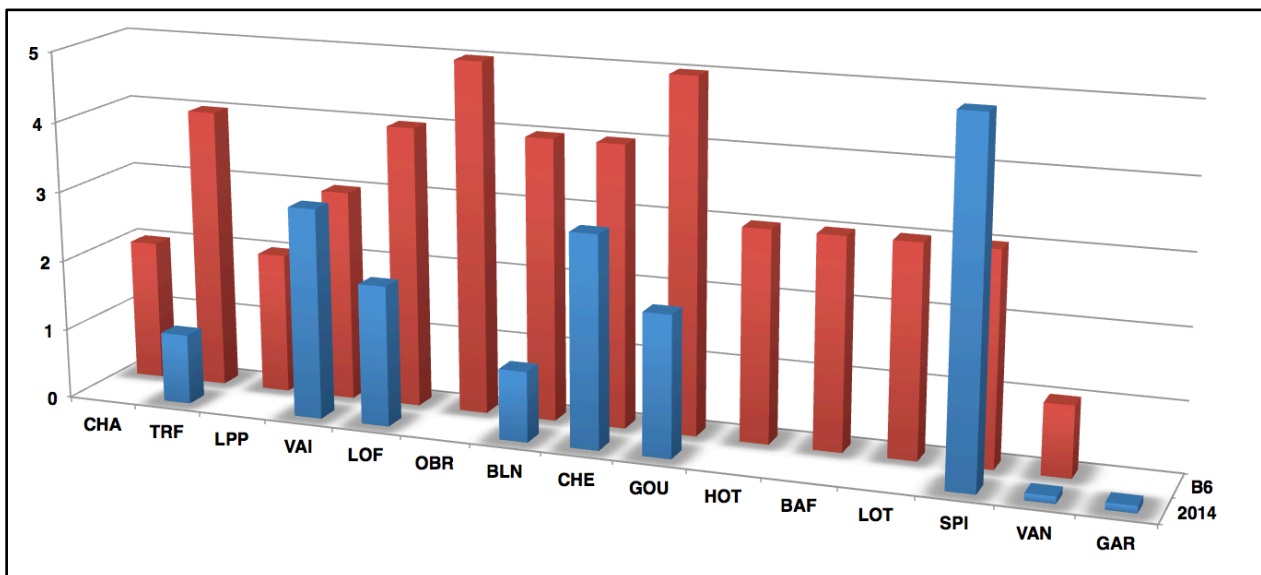


Figure 6. Structure du peuplement de poissons à Montbarrey en 2014 et comparaison à la référence B6 (d'après données Fédération de Pêche du Jura).

En résumé, les peuplements de poisson de la Basse Leue sont fortement déstructurés. Si la proximité de la Loue contribue au maintien de potentiels piscicoles résiduels, l'absence ou le déficit accentués de la quasi totalité des espèces électives du type écologique de la Leue indiquent à la fois une dégradation de la qualité de l'eau et une altération de la qualité physique.

II.2. Qualité physico-chimique

Les données physico-chimiques disponibles pour la Leue aval rares. Les plus récentes sur la Leue basale sont issues de l'étude d'IRH (tab. 2).

Paramètres	Leue Amont Step de Montbarrey	Leue Aval Step de Montbarrey
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	<3	<3
DCO (mg O ₂ /L)	<20	<20
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ /L)	0,16	3,45
NKJ (mg N /L)	<1	4,5
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ /L)	8,04	7,03
Ptot (mg /L)	0,038	0,507
MES (mg /L)	4,8	6,5
Conductivité (µS /cm)	501,51	541,25

Tableau 2. Mesures physico-chimiques sur la Leue (d'après IRH septembre 2013)

En amont de la STEP de Montbarrey, les eaux de la Leue présentent, d'après les grilles d'évaluation du SEQ-Eau (version 2), **une qualité physico-chimique bonne à moyenne**. Toutefois, il est difficile de statuer sur les résultats d'une seule campagne. En effet, l'analyse des biocénoses benthiques montre que la qualité chimique de la Leue est au moins périodiquement altérée y compris en amont de la STEP.

En outre, l'unique analyse disponible sur la Leue en aval de la STEP confirme que **la qualité chimique du cours d'eau est dégradée par le rejet**. En effet, l'ammonium, l'azote Kjeldahl et le phosphore total présentent des concentrations élevées qui dénoncent **une charge nutritive excessive** dont l'importance suffit à expliquer une grande partie des déséquilibres biologiques observés sur les peuplements en aval de la STEP.

Les données thermiques disponibles sur le secteur basal de la Leue ainsi que pour la Loue entre Montbarrey et Souvans **tendent à classer la Leue comme une rivière chaude** (données Fédération de Pêche du Jura et Communauté de Communes du Val d'Amour, Figure 7). En effet, les température y dépassent 20°C en dehors de la période la plus chaude de l'année 2014, qui fut fraîche et pluvieuse : cette valeur de 20°C est déjà élevée pour un affluent salmonicole d'une rivière à ombre telle que la Loue.

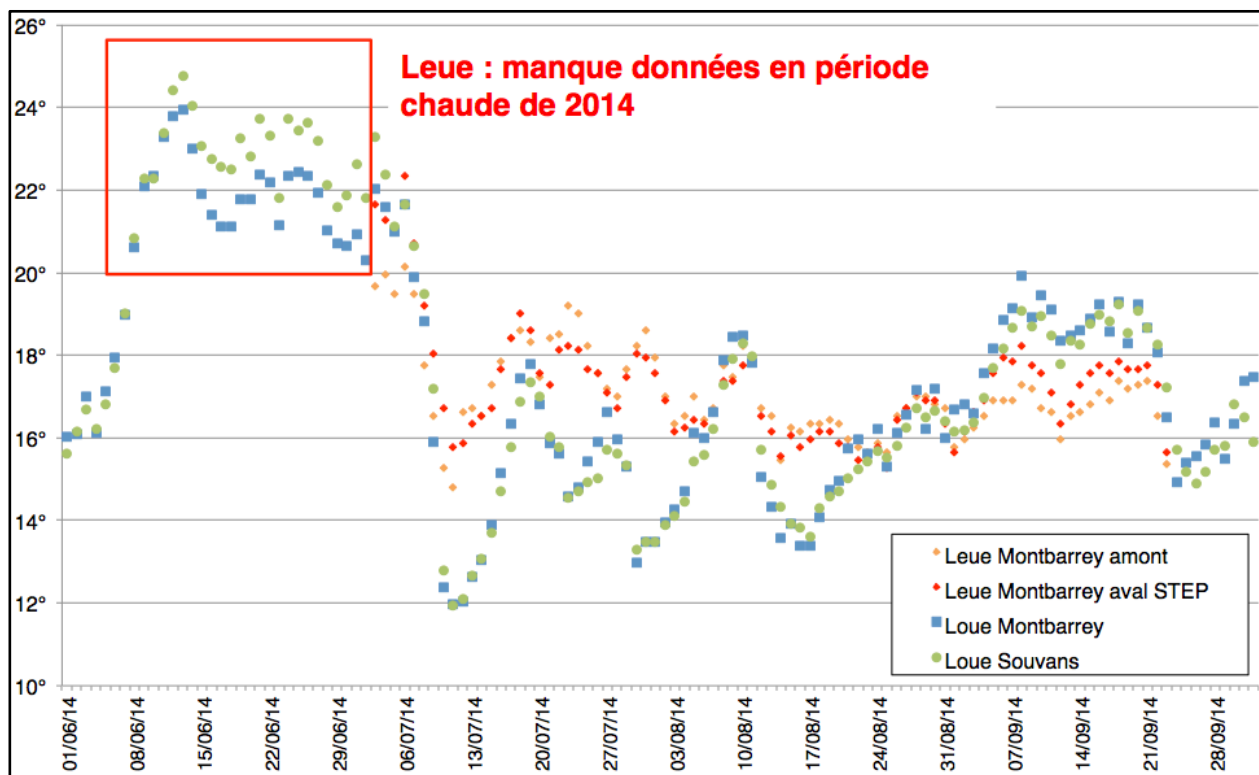


Figure 7. Profils thermiques relevés sur deux stations de la Leue et de deux stations de la Loue durant la saison estivale de 2014

En fait, durant la période la plus chaude de 2014 (entre début juin et début juillet), les sondes n'étaient pas encore installées dans la Leue. Toutefois, elles continuent désormais d'enregistrer les températures et les valeurs maximales de la période d'étiage estival pourront être caractérisée et analysées à partir de 2015. Elles serviront de base pour l'état initial avant travaux.

II.3. Qualité physique

II.3.1. Qualité physique à l'échelle de la station

La qualité physique a été analysée à l'échelle stationnelle à l'aide du protocole IAM (CSP-Teleos 1999-2001). Cette approche, qui consiste à cartographier les composantes des mosaïques d'habitats aquatiques puis à évaluer leurs combinaisons, a été appliquée aux deux sites où des prélèvements benthiques et des pêches ont été effectués.

La très mauvaise qualité physique de ces deux stations limite leurs capacités biogènes et explique à elle seule les déficits biologiques constatés (tab. 4). En effet, les Indices d'Attractivité Morphodynamique calculés sur chacun des deux sites sont très faibles. Ils n'atteignent que 1058 points en amont contre 397 points en aval, soit à peine 18% contre 6% des potentiels optimaux pour un cours d'eau de ce gabarit.

La Leue à Montbarrey	Station amont	Station aval
Nombre de pôles d'attraction	19	17
Pôle dominant	GalH2V1 (45,5%)	GalH2V1 (35,0%)
Indice de diversité	0,73	0,87
Hauteur d'eau maximale	31 cm	50 cm
Hauteur d'eau modale	11 cm	11 cm
Vitesse d'écoulement maximale	14 cm/s	36 cm/s
Vitesse d'écoulement modale	6 cm/s	7 cm/s
Substrat dominant	Fonds nus organiques (50,3%)	Mélange galet gravier (61,3%)
Variété de substrats	7	4
Variété de classes de hauteur	3	3
Variété de classes de vitesse	2	2
Attractivité des substrats	25,2	16,5
Indice d'Attractivité Morphodynamique	1058	397
Rapport à la référence	18%	6%

Tableau 3. Caractérisation de l'habitat aquatique sur deux stations de la Leue basale en 2014.

Sur chacune des deux stations, la mosaïque d'écoulement est réduite à des courants lents sous de faibles hauteurs d'eau. Les substrats sont uniformes et peu attractifs, voire colmatés. Les substrats-soutiens les plus biogènes ne sont que très peu représentés et se résument essentiellement à des herbiers d'hydrophytes très peu étendus (2,4% et 0,1%).

En résumé, les mosaïques d'habitats aquatiques de la Leue sont uniformes et peu attractives. Ces caractéristiques grèvent fortement les capacités biogènes de ce cours d'eau.

I.3.2. Qualité physique à l'échelle du tronçon

La qualité physique de la Leue basale a été appréhendée à l'échelle globale à l'aide de la méthode dite « Tronçons » (Teleos – CSP 2001). Ce protocole permet, pour chaque secteur homogène sur le plan de la dissipation de l'énergie, de déterminer les aptitudes biogènes potentielles déterminée par la morphologie et l'hydrodynamique de chaque tronçon de cours étudié.

Dans cette optique, sur le linéaire de 2 400 mètres qui s'étend entre Montbarrey et la confluence avec la Loue, la Leue a été découpée en 7 tronçons suivant la variation des principaux descripteurs hydro-géomorphologiques : pente, débit, largeur, nature et occupations des sols, degré d'artificialisation (fig. 8). Chaque tronçon a ensuite été décrit et caractérisé à l'aide d'une grille standard qui sert à évaluer la valeur des composantes morphologique et hydrodynamiques qui déterminent la qualité physique : l'hétérogénéité, l'attractivité, la connectivité et les tendances érosives ou colmatantes.

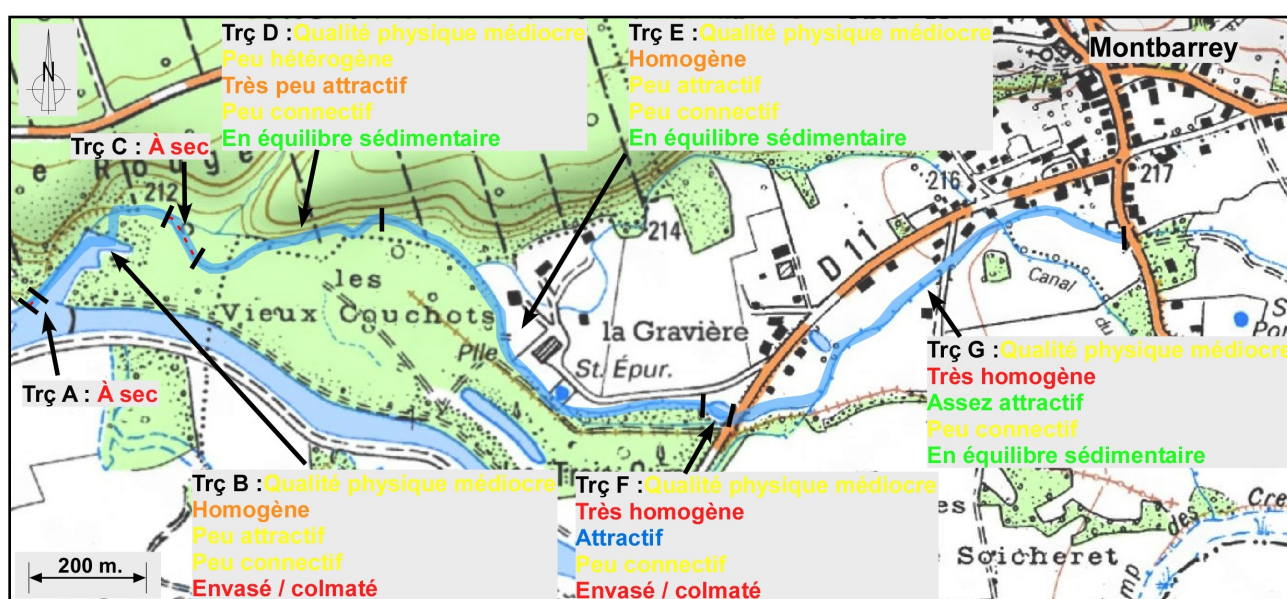


Figure 8. Cartographie de la qualité physique des 7 tronçons terminaux de la Leue en 2014.

D'après cette approche, la qualité physique de l'ensemble des tronçons est **sérieusement altérée** (fig. 8 et Tableau 3).

En particulier, les tronçons A et C s'assèchent en étiage. Cette tendance traduit l'enfoncement du chenal, l'assèchement des franges humides et la déconnection du cours d'eau d'avec sa nappe d'accompagnement. Parallèlement, sur tous les tronçons, le lit présente une hétérogénéité réduite. Le chenal est rectiligne, les fonds sont uniformes, les mosaïques d'écoulements monotones...

De même, sur les tronçons B, D et E, l'attractivité des fonds et des berges est très limitée : les caches et anfractuosités sont modestes tandis que galets et les graviers qui constituent les substrats ultra-dominants sont colmatés. Seuls les tronçon F et G présentent des franges d'herbiers d'hélophytes qui ménage des caches attractives.



Photos 1 à 4. Différentes vues de la Leue basale en période d'étiage (trçons A, B, D et E).

Tronçons	Linéaire (m)	Score Hétérogénéité /111	Score Attractivité /90	Score Connectivité /130	Score Stabilité -60 / 40	Qualité physique /30600
Leue Trç A	20					À SEC
Leue Trç B	310	25 - D	26 - C	48 - C	25 sédimentation	1 836 - C
Leu Trç C	89					À SEC
Leue Trç D	343	38 - C	16 - D	45 - C	-7 équilibre	2 066 - C
Leue Trç E	707	17 - D	24 - C	44 - C	3 équilibre	1 533 - C
Leue Trç F	48	6 - E	49 - A	48 - C	11 sédimentation	1 980 - C
Leue Trç G	820	12 - E	41 - B	40 - C	-10 équilibre	1 802 - C

Tableau 4. Scores de la qualité physique à l'échelle du tronçon de la Leue basale.

La connectivité latérale, elle aussi médiocre, est fortement limitée par la hauteurs de berges, comprises entre 130 et 180 cm. Enfin, l'état dynamique de la Leue basale oscille entre le colmatage et l'équilibre sédimentaire.

En résumé, la Basse Leue présente une qualité physique médiocre, fortement limitée par l'uniformité et par l'enfoncement du chenal. Le sur-élargissement du lit mineur renforce l'homogénéisation des écoulements et des substrats minéraux régulièrement colmatés par des algues filamenteuses.

II.4. Bilan du diagnostic

L'étude des peuplements de macro-invertébrés benthiques et de poissons de la Leue basale révèle **une banalisation et une simplification importantes des potentiels écologiques de ce cours d'eau**. Si **les rejets** de la station d'épuration de Montbarrey dégradent considérablement la qualité de l'eau, **la qualité physique** de l'ensemble du secteur, présente des altérations très fortes, qui suffisent à expliquer les déficits biologiques observés.

En effet, en aval de Montbarrey, la Leue présente **une morphologie homogène et inattractive** résultant à la fois de l'enfoncement et de l'uniformité du lit, ainsi que de sa largeur trop importante pour les débits d'étiage. Le **colmatage des fonds** par des proliférations d'algues filamenteuses diminue encore l'hospitalité des fonds et donc les capacités d'autoépuration de la Leue.

Le projet de restauration de la Leue est donc justifié. Pour en garantir l'efficacité, il convient d'élucider les mécanismes de ces altérations physiques, et d'en circonscrire les causes. Dans cette optique, une recherche de l'historique des pressions physiques subie par la Basse Leue a été menée, en parallèle à une analyse topographique.

III. Recherches des causes et des mécanismes d'altérations

III.1. Approche géomorphologique : historique des tracés

Les destins de la Leue et de la Loue sont étroitement liés dans le temps. En effet, la Leue basale s'écoule dans le corridor fluvial de la Loue dont le tracé en plan a beaucoup évolué sur ce secteur depuis 180ans. En effet, en 1837, la Loue y présentait de grands méandres et beaucoup d'annexes connectives : bras secondaires et morte. Depuis cette époque, elle y a subi plusieurs phases de chenalisation puis de rectification (fig. 9).

Le tracé de la Leue a, lui aussi, été malmené au cours du temps. Sur les plus anciennes cartes, la Leue apparaît déjà partiellement dérivée vers un canal qui alimentait un moulin sur le flanc droit de la vallée, en aval de Montbarrey (fig. 9). Ce bief devait capter une part importante du débit de la Leue.

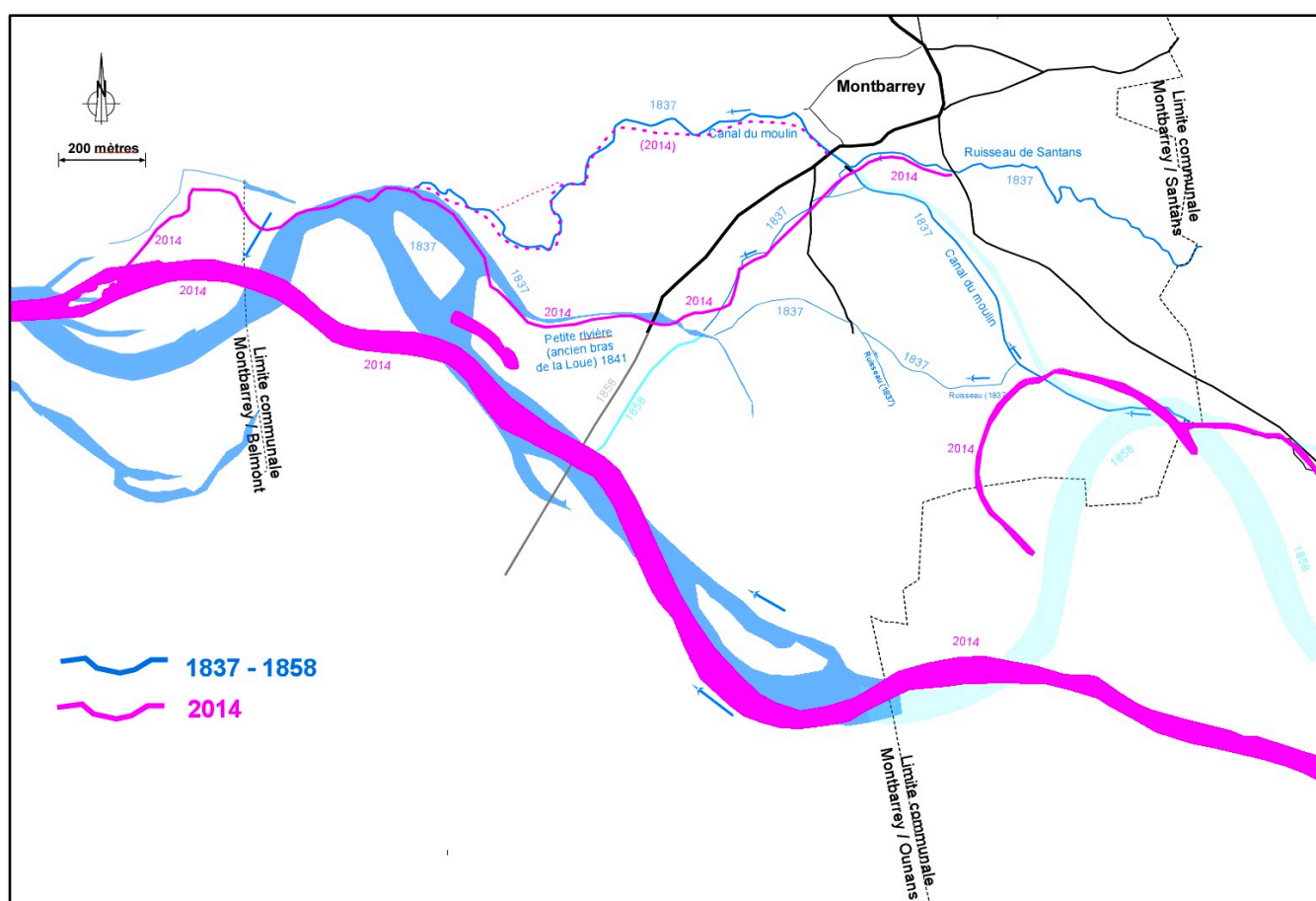


Figure 9. Evolution des tracés de la Loue et de la Leue depuis le début du XIXe siècle.

Un autre canal d'aménagé en provenance de la Loue (méandre des Léchères) alimentait aussi la Leue aval. En fait, le ruisseau ne prenait ce nom de "Leue" qu'à l'aval de cet apport d'eau de la Loue. En amont, il s'appelait "Ruisseau de Santans" (ou Reverotte ou Riverotte). Quoiqu'il en soit, les premiers projets de curages, d'élargissements et de redressements de la Leue aval apparaissent dès 1841 (fig. 10 et 11).

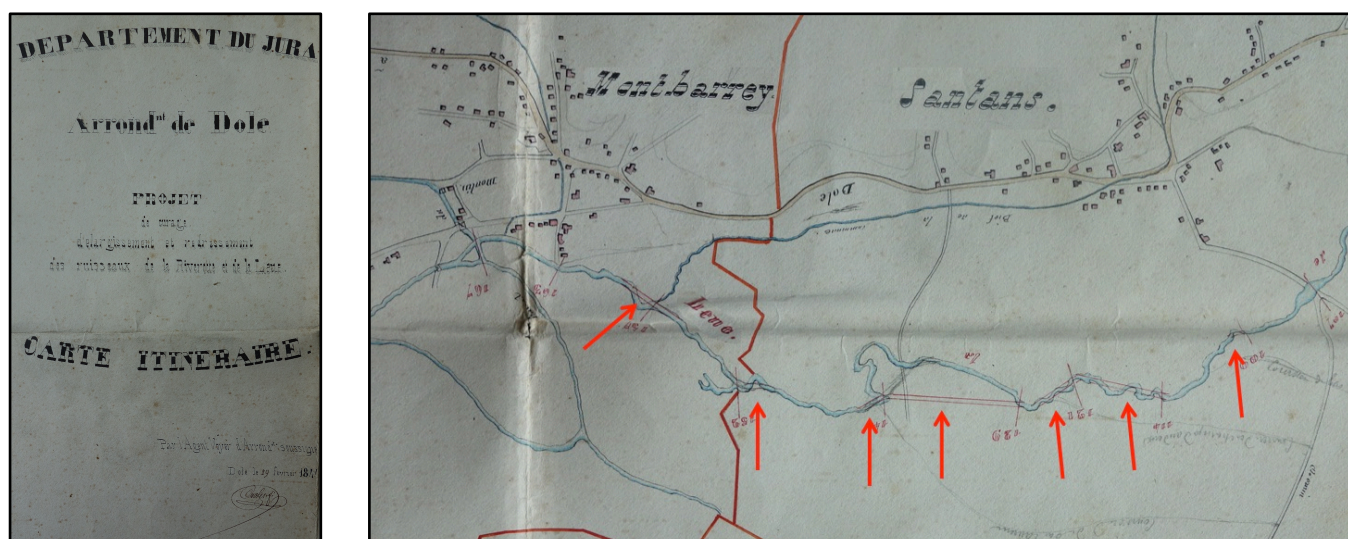


Figure 10 et 11. Projet de rectifications de la Leue en 1841.

Peu après, en 1868, des plans pour le rescindement des méandres de la Loue dans le secteur de Montbarrey (en amont de la RD11) sont dressés (fig. 12). D'autres projets de même nature naissent vers 1877.

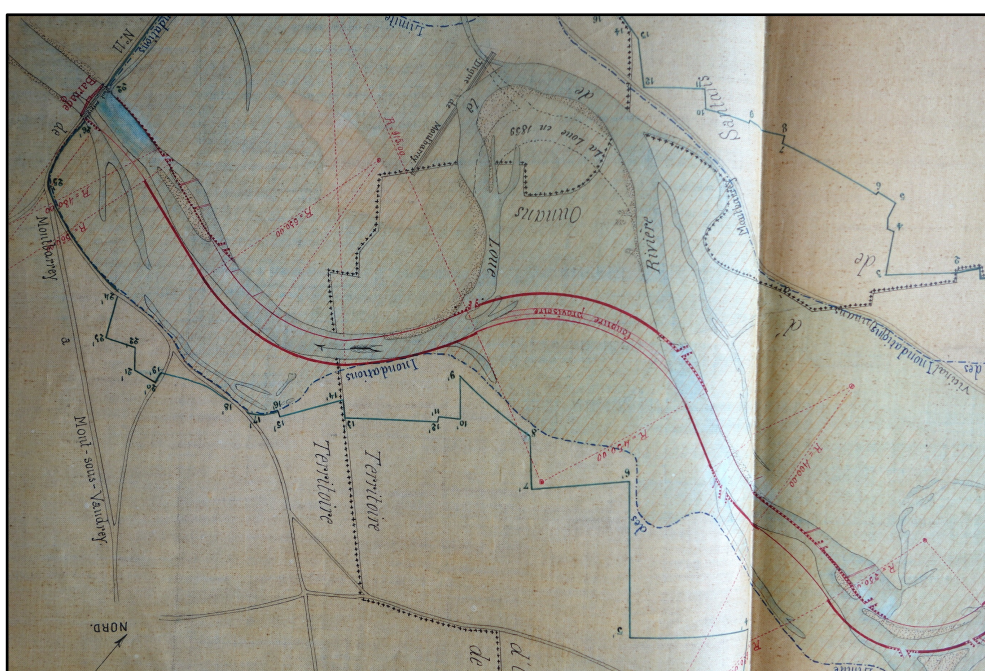


Figure 12. Projet de travaux d'amélioration de la Loue en amont du pont de Montbarrey en 1868.

Plus récemment, une digue de protection entre la Loue et le village de Montbarrey est édifée sur environ 1500 mètres en 1955 ou 1956 (fig. 13). Toujours présente actuellement, elle isole aussi la Leue de son lit majeur en rive gauche.

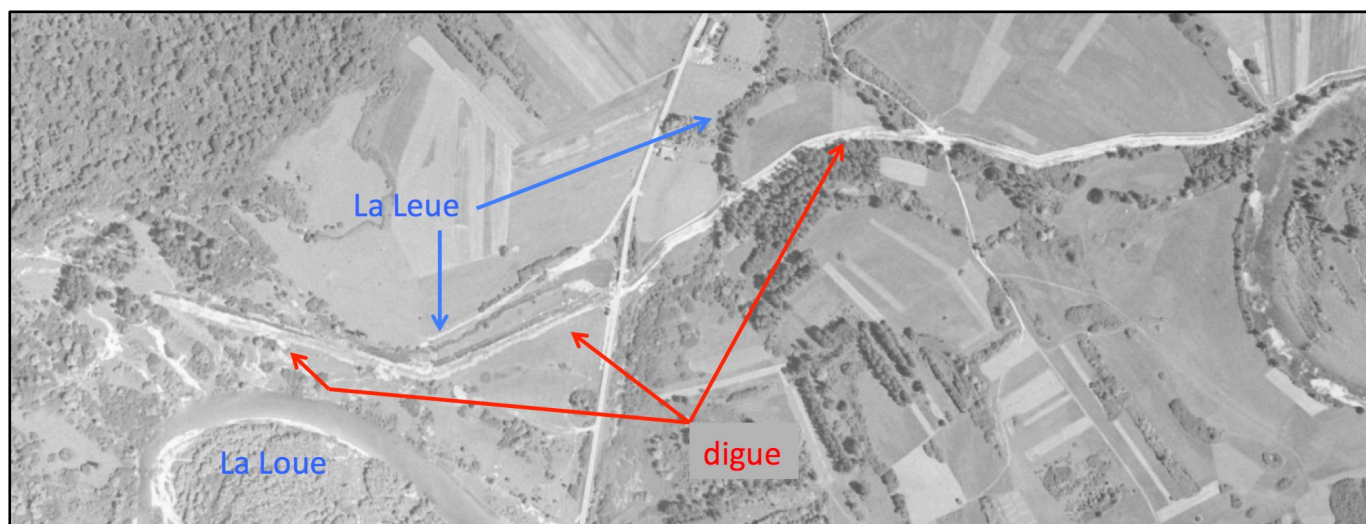
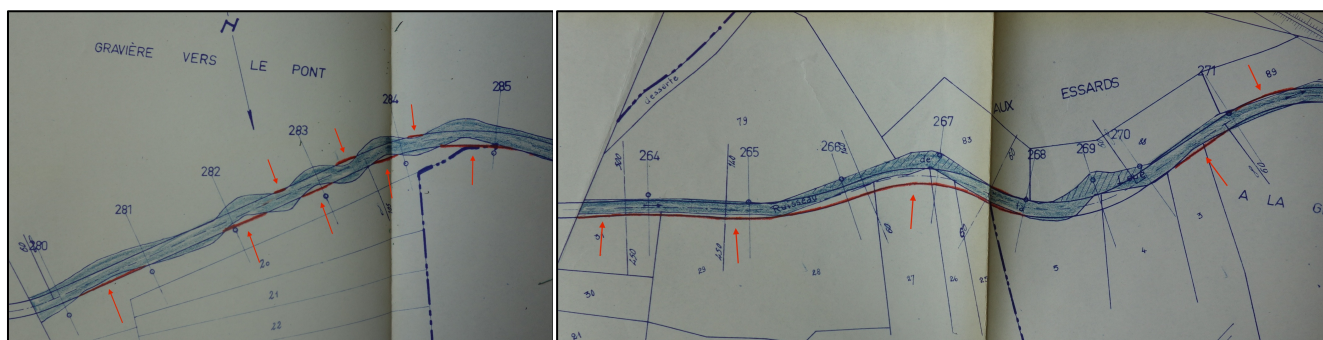


Figure 13. Construction de la digue entre la Leue et la Loue dans le secteur de Montbarrey en 1955.

Enfin, dans les années '1960, la dernière phase de travaux de rectification et recalibrage de la Leue est programmée pour obtenir le tracé actuel (fig. 14).



Figures 14. Plans du calibrage et de la rectification de la Leue de l'amont de Chissey à sa confluence (1960, Syndicat Intercommunal de calibrage et d'assainissement de la Leue).

En près de 180 ans les tracés de la Loue et de la Leue dans le secteur d'étude ont donc fortement varié (fig. 15 et 16).

Actuellement, le secteur terminal de la Leue (en aval de la RD 11) emprunte un ancien bras mort de la Loue (appelé "petite rivière – ancien bras de la Loue" en 1841), puis une partie de l'ancien lit principal de la Loue (tracés de 1837 et de 1962 à 1969) sur le secteur des "Vieux Couchots" jusqu'à la confluence actuelle.

Parallèlement, un vestige du Bief du Moulin existe toujours. Il est à sec durant les périodes d'étiage, voire en moyennes eaux. En revanche, le canal d'aménagé en provenance du méandre la Loue (les Léchères) a disparu, il n'existe plus de prise d'eau, ni d'ouvrage répartiteur sur la Leue, ni de passage sous la RD 11.

Enfin, l'étang entre la Leue et la Loue près du camping des "Trois Ours" correspond à un témoin du tracé de la Loue des années '1960. Cependant ce secteur, d'abord remblayé, a été recreusé dans les années 1980 pour extraire du gravier qui a servi à stabiliser les chemins de desserte bordant la Loue.



Figures 15. Plan de la DDE indiquant les principaux aménagements effectués entre 1908 et 1971

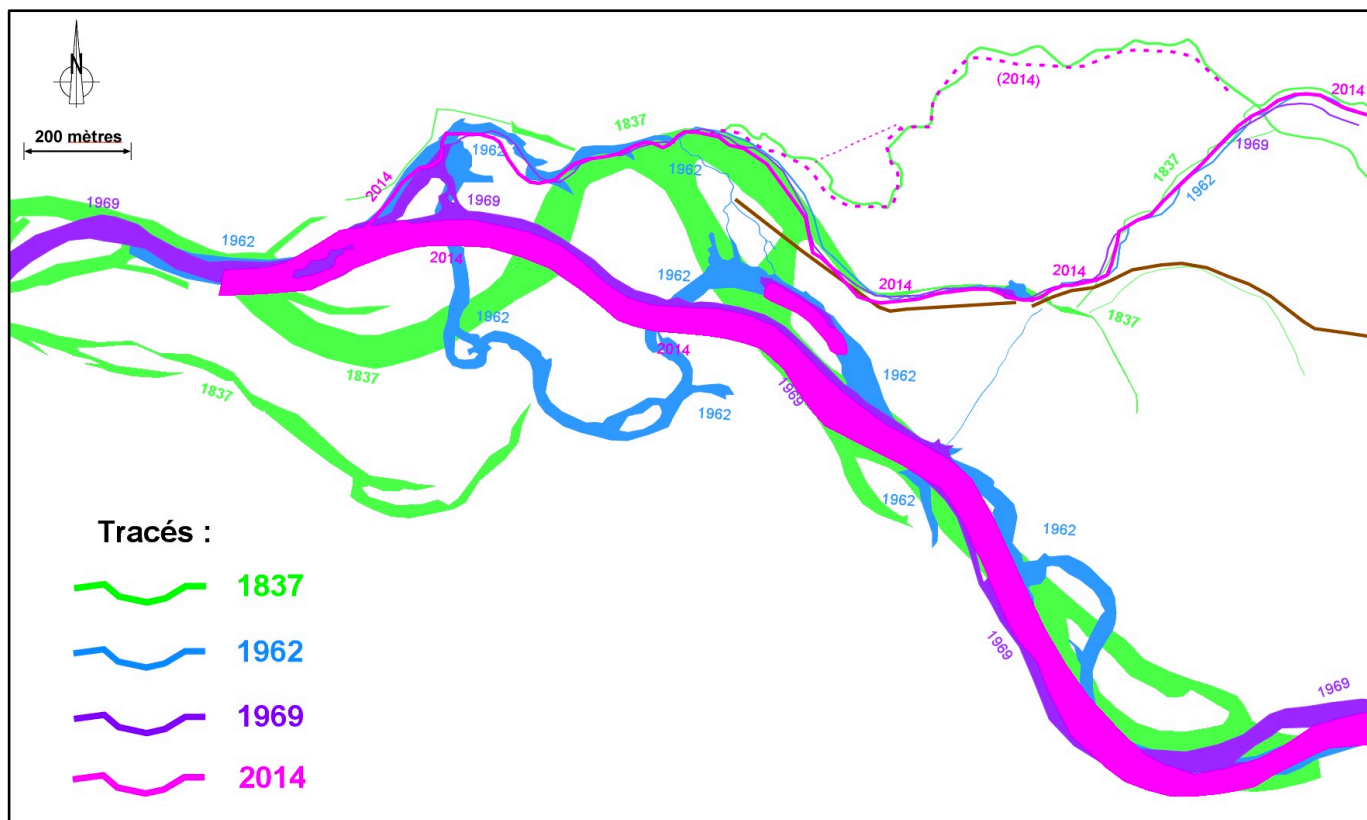


Figure 16. Évolution des différents tracés de la Loue et de la Leue dans le secteur de Montbarrey entre en 1837 et 2014.

III.2. Topographie

Des relevés topographiques de la Leue et de son lit majeur ont été effectués pour fonder l'étude hydraulique, préciser les caractéristiques morphologiques actuelles, puis pour bâtir le projet de restauration (fig. 17). Au total, 650 points répartis sur une trentaine de transects, sur une zone de 53 ha, ont été levés.

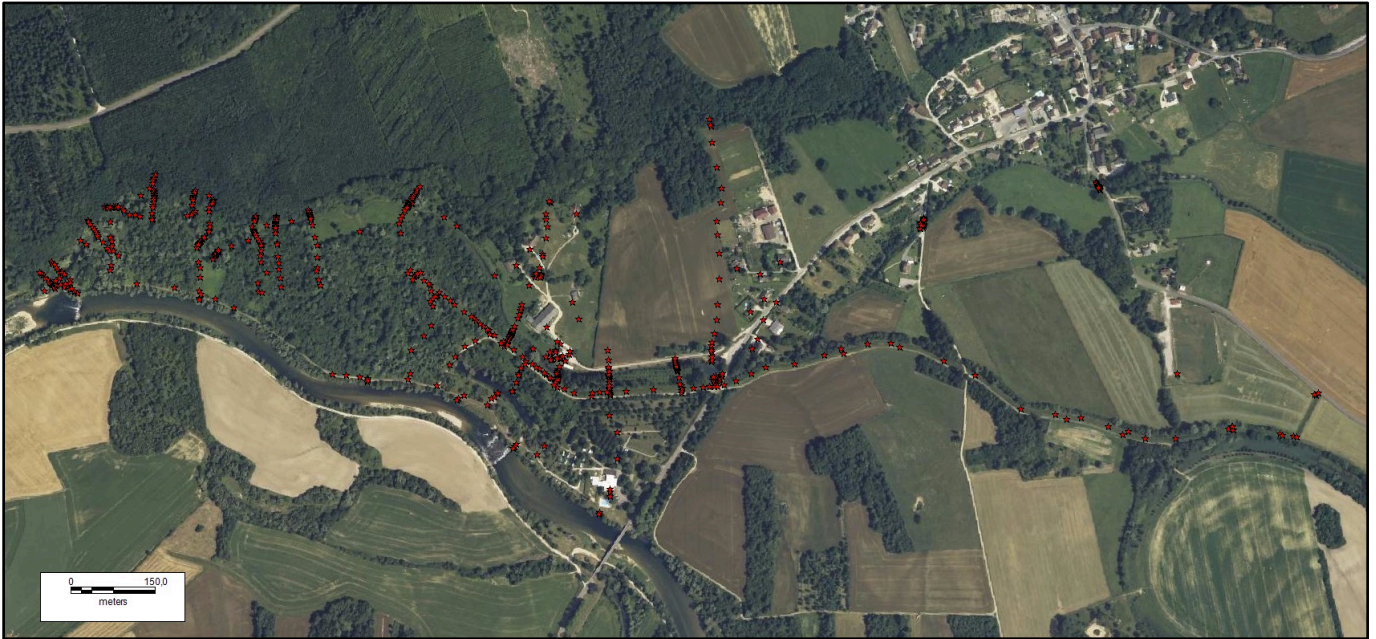


Figure 17. Relevés topographie de la zone d'étude

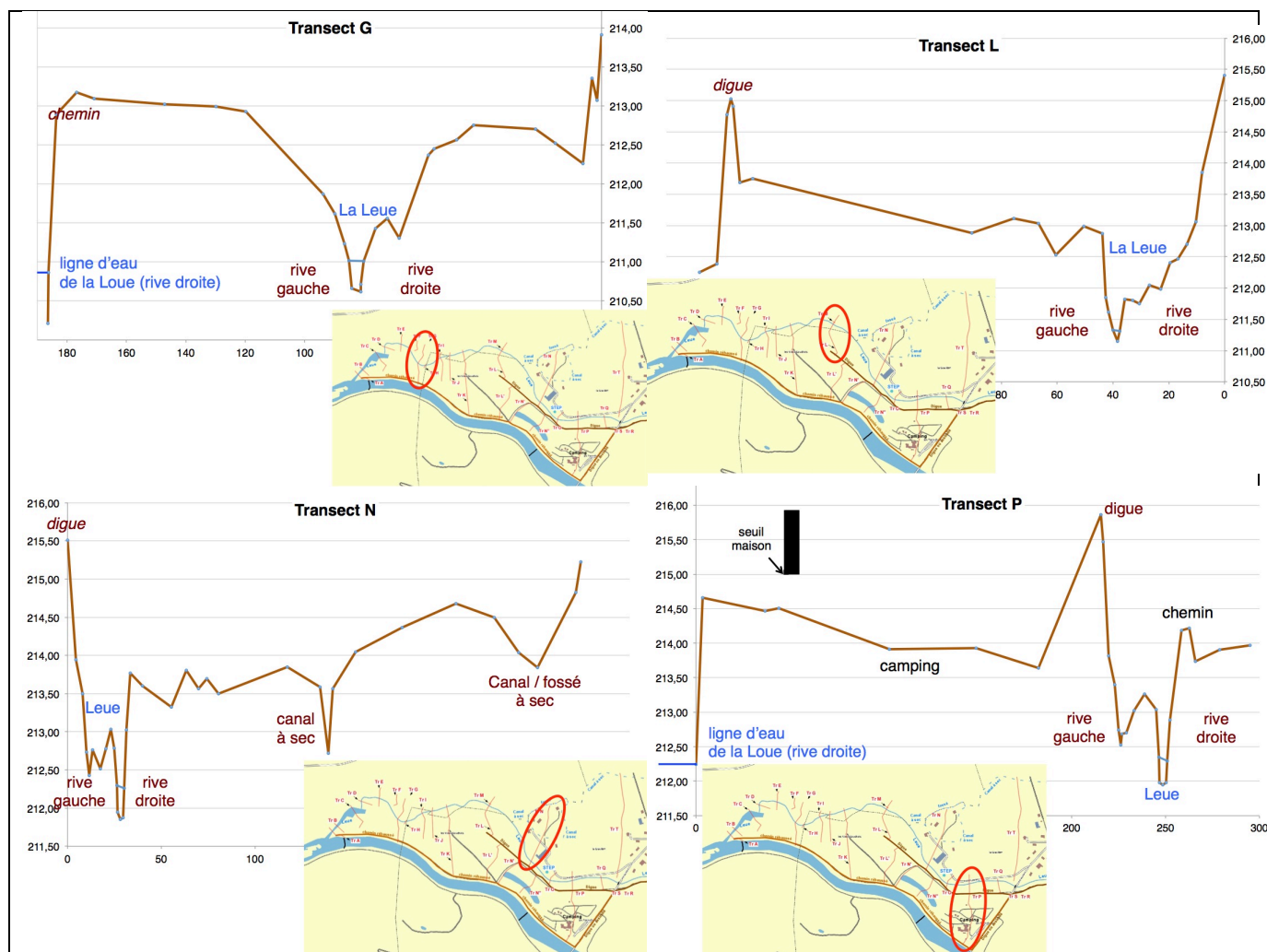
Ces mesures topographiques ont permis de caractériser (figures 18 à 22) :

- l'importance de l'élargissement et de l'enfoncement du lit de la Leue aval ;
- l'influence de la digue en rive gauche, qui limite les possibilités de reconstitution d'un espace de liberté pour la Leue ;
- l'altitude du canal perché en rive droite et notamment de sa cote de fond (jusqu'à 1,46 mètres au dessus de celle de la Leue) ;
- la pente du cours actuel : 2,6 ‰ (entre le pont de la RD 11 et la confluence).

III.3. Hydrologie et hydraulique - Cf. le rapport conjoint d'Alain LIMANDAT -

L'évaluation des débits au droit de la zone d'étude a été calée sur les données du bassin de la Clauge dont le contexte géologique est proche de celui de la Leue. Pour les débits caractéristiques, l'étude hydraulique donne les valeurs suivantes :

- **Q_{MNA5}** : **10 l/s**
- **Module** : 270 l/s arrondi à **0,25 m³/s**
- **Crués** : biennale = **13 m³/s** quinquennale = **19 m³/s**
 décennale = **23 m³/s** centennale = **35 m³/s**



Figures 18, 19, 20 et 21. Exemple de transects topographiques sur la Leue basale

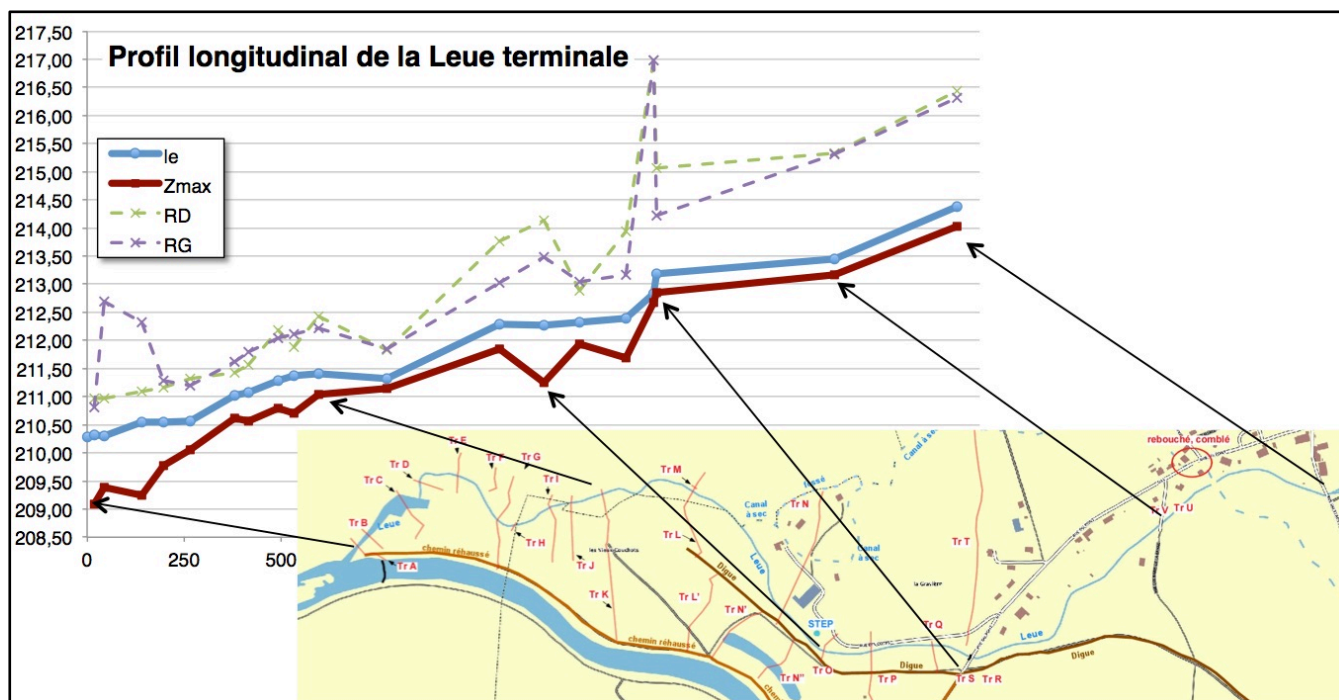


Figure 22. Profil longitudinal de la Leue terminale

Les débits d'étiage sont donc nettement inférieurs au 1/10^{ème} du module, ce qui est très inférieurs aux moyennes régionales. La Leue s'assèche d'ailleurs régulièrement.

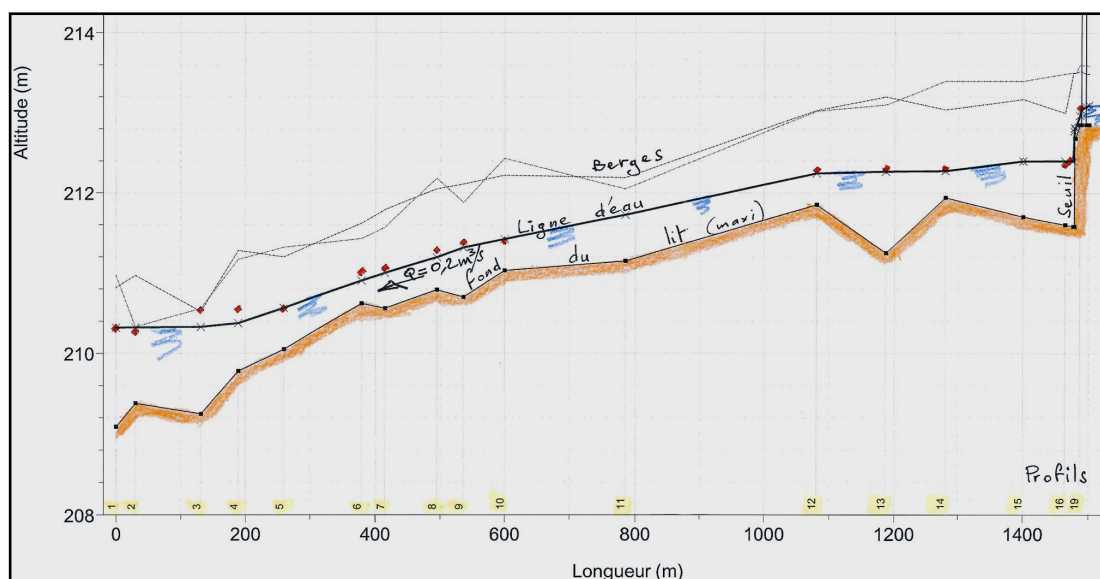


Figure 23. Calage du modèle en basse eau pour un débit proche du module (200 L/s)

Les débits de crue modélisés peuvent paraître élevés, cependant :

- l'étude ayant aboutit au calibrage de la Leue, en 1962, avait sommairement évalué à 23 m³/s le débit à évacuer et à 30 m³/s la capacité de la Leue aval ;
- une évaluation de la capacité des ouvrages en aval, tels le pont sous la RD 71, et celui situé immédiatement en aval, conduit à des valeurs proches du débit centennal retenu.

Pour les crues considérées, le contour de la zone inondée a été tracé et le niveau d'eau a été calculé en chaque profil. La méthodologie et les calculs sont exposés dans l'étude hydraulique conjointe.

Sous ces conditions et dans l'état actuel, pour la cru biennale, aucune habitation n'est touchée (fig. 24).

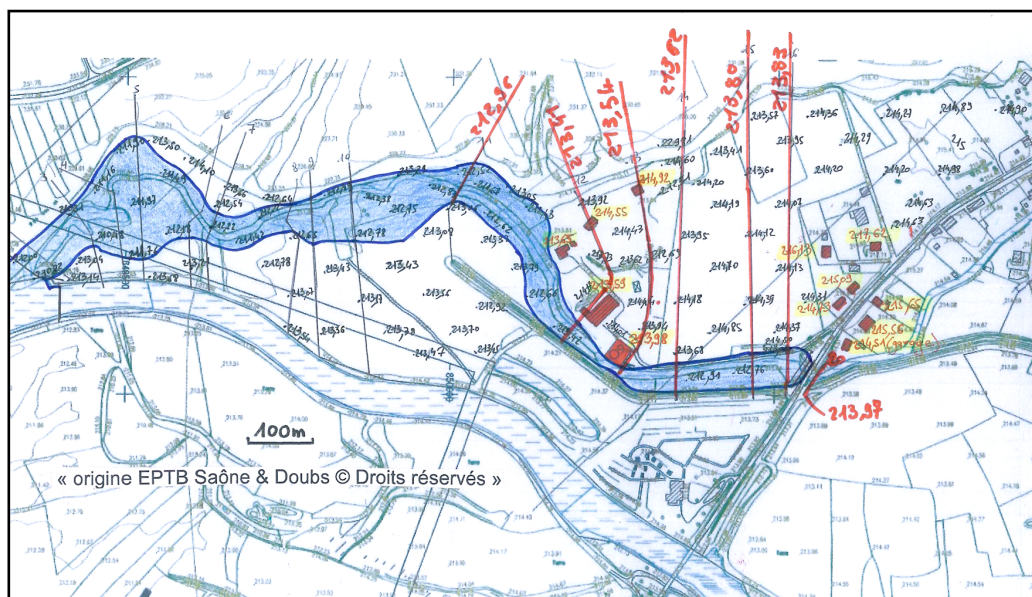


Figure 24. Modélisation de la zone inondable pour $Q_2 = 13 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la cru quinquennale : seul le bâtiment d'exploitation, situé en aval de la STEP, est concerné : la hauteur d'eau calculée est de 5 cm (fig. 25).

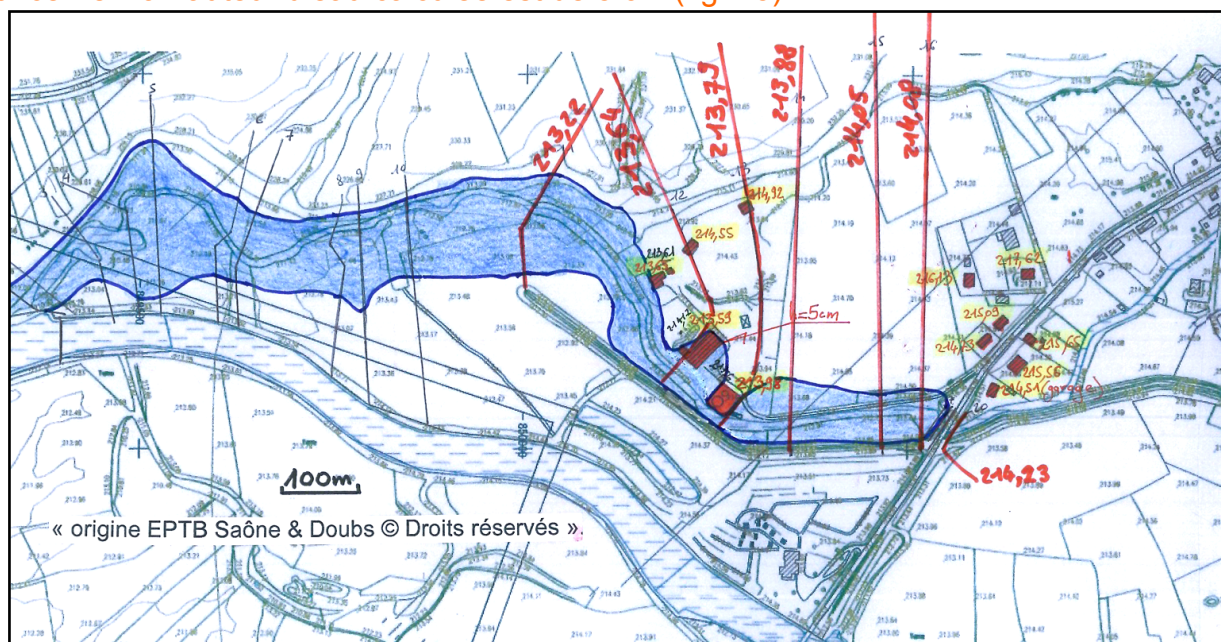


Figure 25. Modélisation de la zone inondable pour $Q_5 = 19 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la crue décennale : le même bâtiment d'exploitation est inondé par 16 cm d'eau ; le niveau de la crue est sensiblement égal au niveau de l'habitation la plus proche de la Leue, entre les profils 11 et 12 (fig. 26).

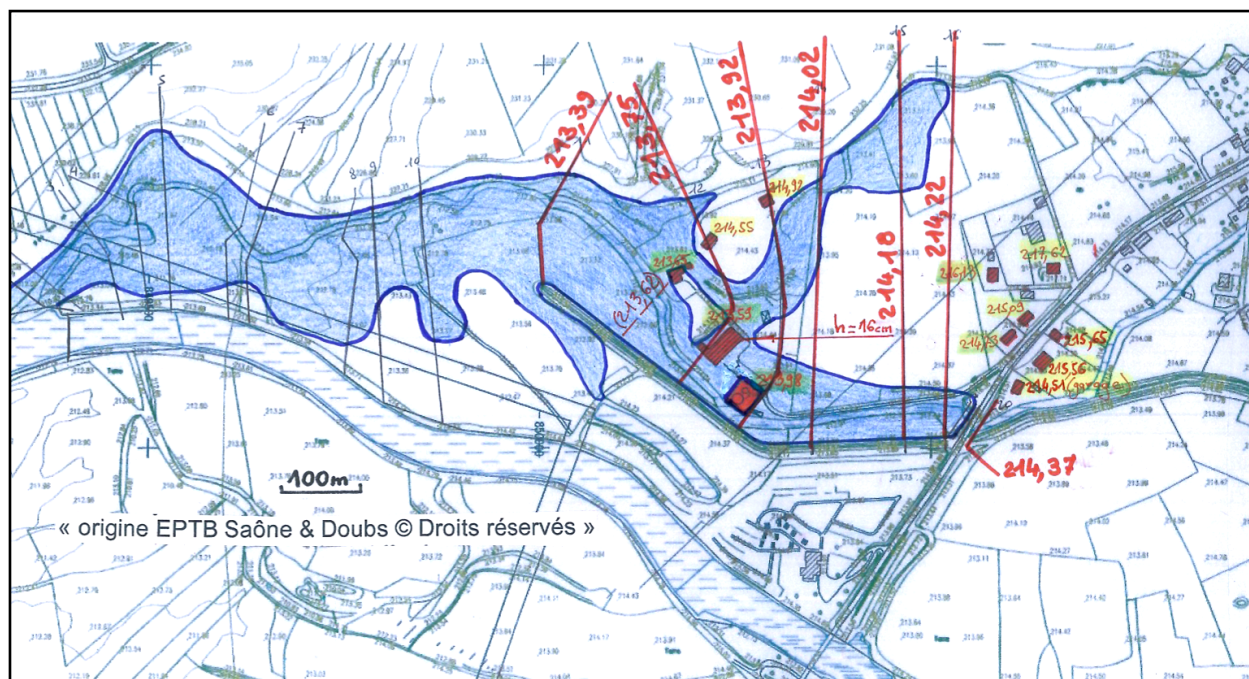


Figure 26. Modélisation de la zone inondable pour $Q_{10} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la crue centennale : la condition limite aval prend en compte le **niveau décennal de la Loue** et non pas le niveau centennal. En effet, la concomitance entre les crues centennales des 2 cours est une hypothèse très pessimiste ; en outre, dans ce cas, les débordements de la Loue en amont de Montbarrey primeraient sur ceux de la Leue.

Sous cette condition, quatre constructions seraient inondées en crue centennale.

- Le bâtiment d'exploitation : sous 41 cm d'eau.
- La maison située en aval de ce bâtiment : sous 23 cm d'eau.
- La STEP : sous 18 cm d'eau.
- Le garage de la maison rive droite de la Leue en amont du pont RD11 : 20 cm d'eau.

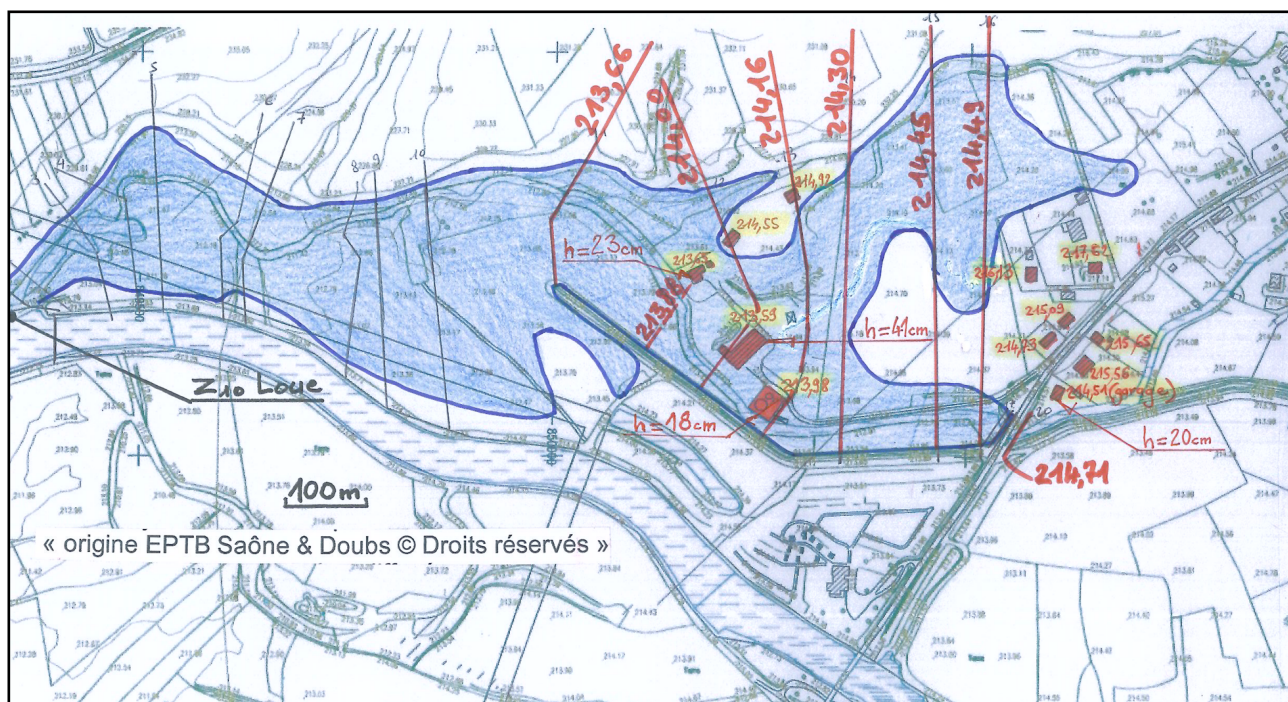


Figure 27. Modélisation de la zone inondable pour $Q_{100} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$

Attention : les calculs précédents sont basés sur des données, notamment topographiques et hydrologiques, toujours perfectibles. De plus les hypothèses faites quant à la concomitance des crues des deux cours d'eau seront toujours infirmées lors des crues réelles dont la combinaison est quasiment illimitée.

En fait ces simulations ont permis de constituer un « état de référence » de l'état actuel permettant de tester les incidences des scénarios d'aménagement (les hypothèses faites étant strictement conservées pour garantir la comparaison des situations).

IV. Projet de restauration

IV. 1. Orientations et stratégie de restauration

Pour reconquérir les capacités biogènes de la Leue basale, une stratégie de restauration intégrée a été conçue (fig. 28 et 29). Les modalités en ont été élaborées secteurs par secteurs de façon à garantir des gains écologiques optimisés, tout en tenant compte des contraintes locales.

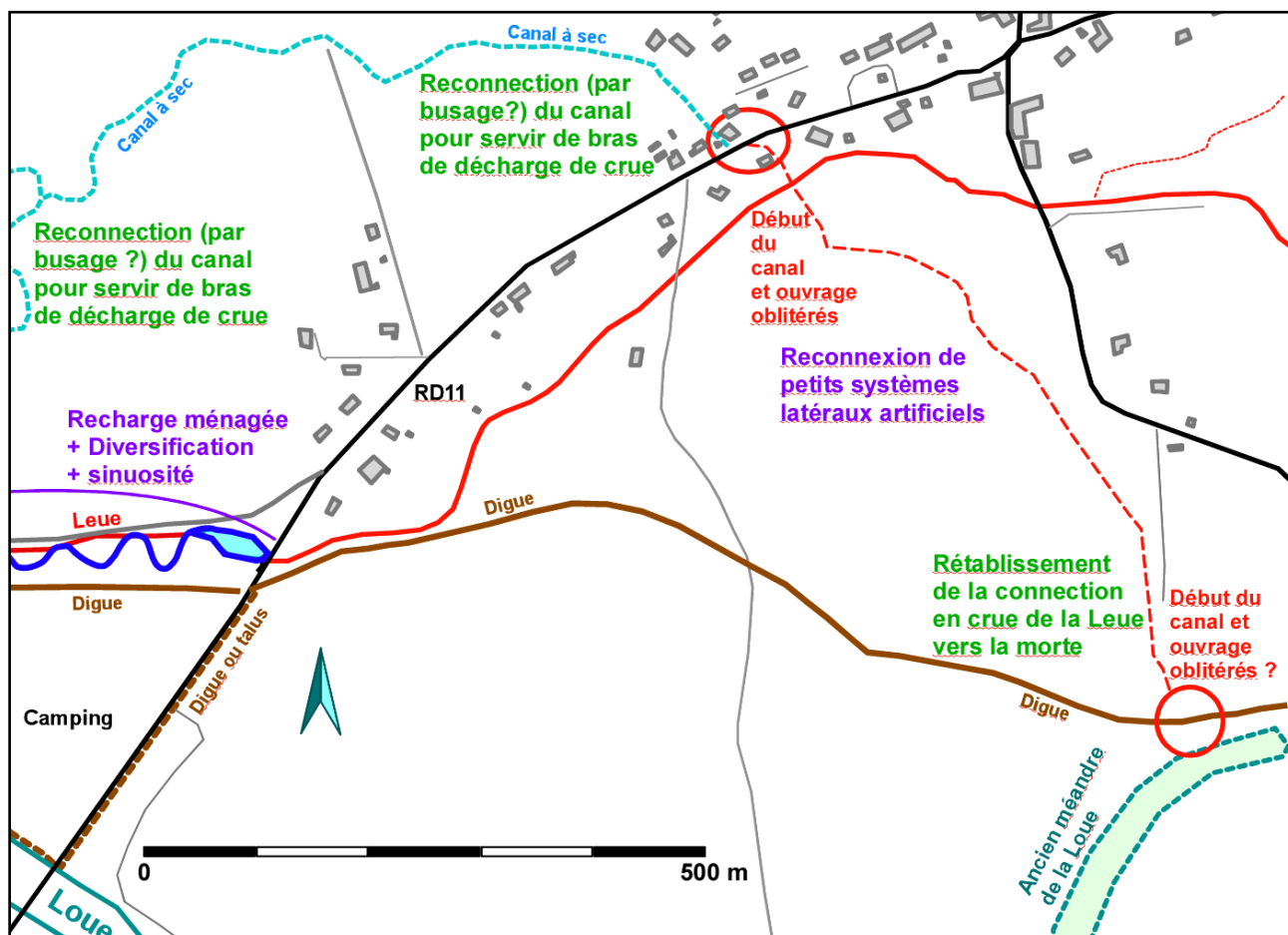


Figure 28. Avant Projet de restauration de la Leue basale : partie amont.

Ainsi sur la Leue basale en amont du pont de la RD 11, il serait judicieux de reconnecter, pour les débits de crue, les 2 anciens canaux qui respectivement alimentait et dérivait une partie du débit de la Leue (fig. 28). Ces opérations sont destinées à la fois à réduire le débit de crue dans le chenal de la Leue et à contribuer à la réactivation des zones humides et des systèmes latéraux associés.

Entre l'aval du pont de la RD 11 et le rejet de la STEP, une diversification du lit avec resserrement et rehaussement de la lame d'eau d'étiage est préconisée. L'espace délimité par le chemin allant à la STEP et par la digue est suffisant pour recréer une sinuosité en plan. Des recharges ménagées en graviers galets permettront de compléter la diversification et de régler le niveau d'étiage à l'altitude optimale.

Sur la plus grande portion traitée, entre le rejet de la STEP et la confluence, un reméandrement induisant un fort rehaussement des altitudes du fond du chenal et du niveau d'étiage est recommandé (fig. 29). Cette stratégie requiert le remblaiement du lit actuel, incisé et surélargi. Plus marginalement, le rehaussement du fond du lit permet d'envisager la reconnexion de l'étang des Trois Ours (ancien méandre de la Loue remblayé puis partiellement recreusé comme gravière) avec le chenal restauré.

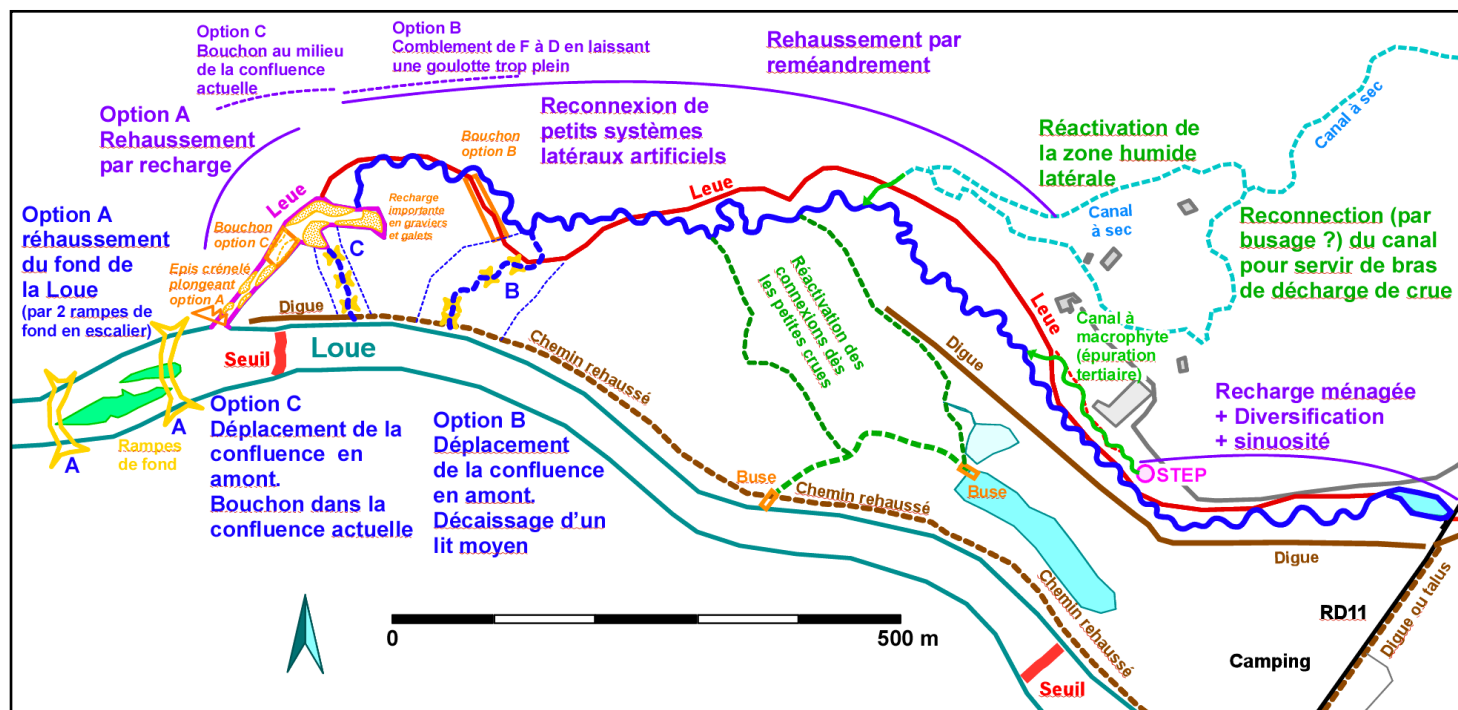


Figure 29. Avant Projet de restauration de la Leue basale : partie aval.

Enfin, pour la confluence proprement dite, la difficulté consiste à connecter deux lits dont la différence d'altitudes va être amplifiée : la Loue incisée et le lit de la Leue restauré et désormais rehaussé. Pour atteindre ces objectifs trois options ont été envisagées (fig. 30).

Option A

Cette option, optimale sur le plan écologique, consiste à rehausser et à diversifier les fonds de l'ancien bras originel de la Loue, qui constitue la confluence actuelle, à l'aide de recharges conséquente en graviers et en galets. L'implantation de deux épis crénelés plongeants croisés sera nécessaire pour ralentir ou juguler l'érosion régressive de ces bancs rapportés, et pour stabiliser la pente de rattrapage du dénivelé.

Pour être efficace et pérenne, cette solution requiert aussi le rehaussement simultanée du fond de la Loue à l'aval immédiat de la confluence sur au moins 25 cm. Cet aménagement conjoint constitue un supplément de cout et un surcroit de difficultés techniques. Cependant, il présente, sur le plan écologique, de nombreux avantages :

- le seuil de la Loue deviendra franchissable en toute période pour les ombres et une grande partie de l'année pour les autres espèces ;
- l'attractivité, l'hétérogénéité et la connectivité de la Loue seront améliorées sur une distance variant de 200 à 500 m selon les débits considérés ;
- la confluence actuelle gagnera en connectivité et en linéaire maintenu toujours en eau.

Option B

Une solution alternative, apparemment plus simple, consisterait à faire confluer la Leue en amont du seuil barrant la Loue en amont de la confluence actuelle. Cette option permet de bénéficier d'une réduction de dénivelé entre la Leue restaurée et la Loue.

Toutefois, elle requiert un important décaissage pour traverser la bande de terrain « perché » qui sépare à cet endroit la Loue et la Leue. Parallèlement, elle nécessite l'aménagement d'un « bouchon » dans le lit actuel de l'affluent. Les risques de contournement et d'érosion de cet ouvrage sont importants. En outre, la partie terminale de la confluence actuelle risque de s'envaser à très courts termes.

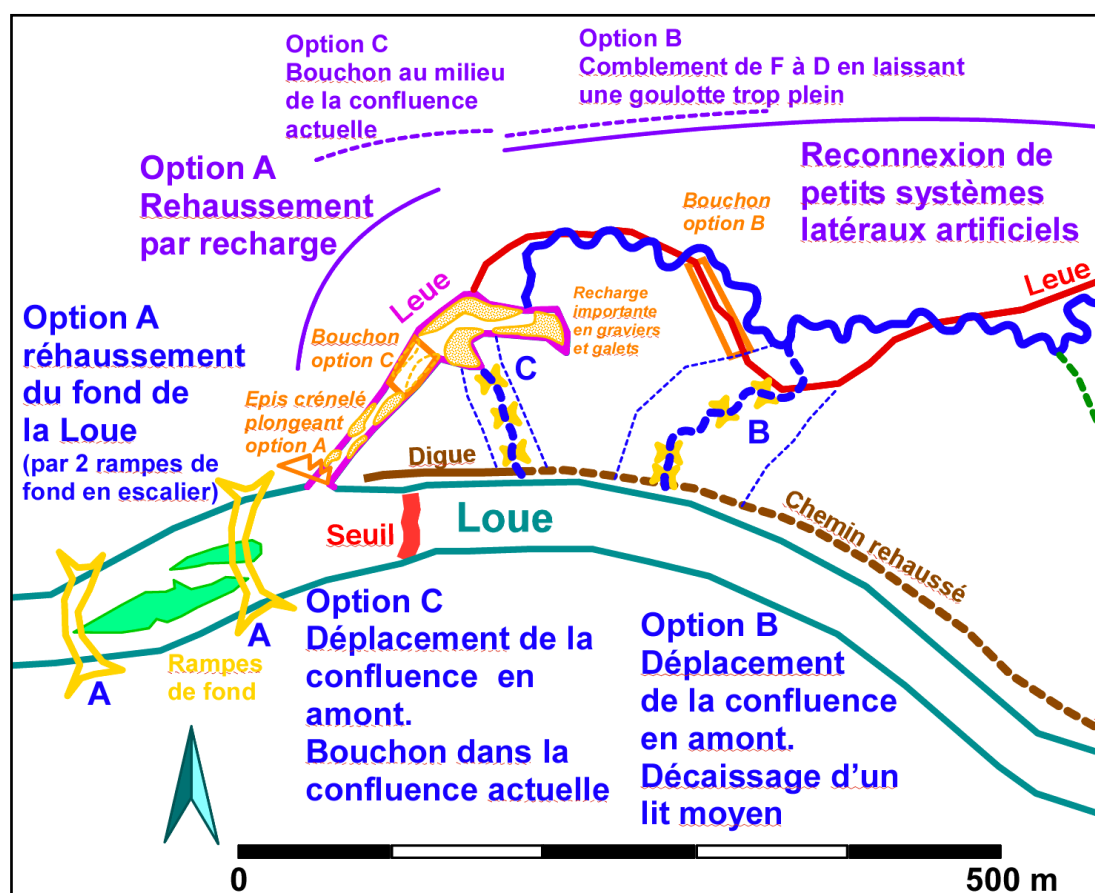


Figure 30. Avant Projet de restauration de la Leue basale : zoom sur la confluence

Option C

L'option C consiste à recréer une embouchure empruntant la partie amont de la confluence actuelle, mais rejoignant la Loue en amont immédiat du seuil. Le dénivelé est ainsi réduit par rapport à l'option A, et le décaissement à produire moins important que dans le cas de l'option B.

En revanche, le bouchon à installer dans la partie médiane de la confluence actuelle serait tout aussi délicat à installer. Le risque de contournement ou de déstabilisation de cet ouvrage en hautes eaux demeure important.

Enfin, comme dans le cas de l'option B, aucun des avantages écologique qui seraient induit par le rehaussement même très ménagé de la Loue ne sera obtenu, tandis que l'embouchure actuelle risque de s'envaser rapidement.

IV. 2. Modalités de restauration

IV. 2.1. Diversification et remodelage du lit entre la RD11 et la STEP

Sur les 400 mètres en aval du pont de la RD11, la Leue est fortement contrainte, en rive droite par la route (et au delà par les cultures de plein champs) et en rive gauche par la digue. Toutefois, l'espace relictuel est suffisant pour recréer un chenal sinueux plus resserré à une altitude plus élevée. Parallèlement, un lit moyen sera décaissé (fig. 31).

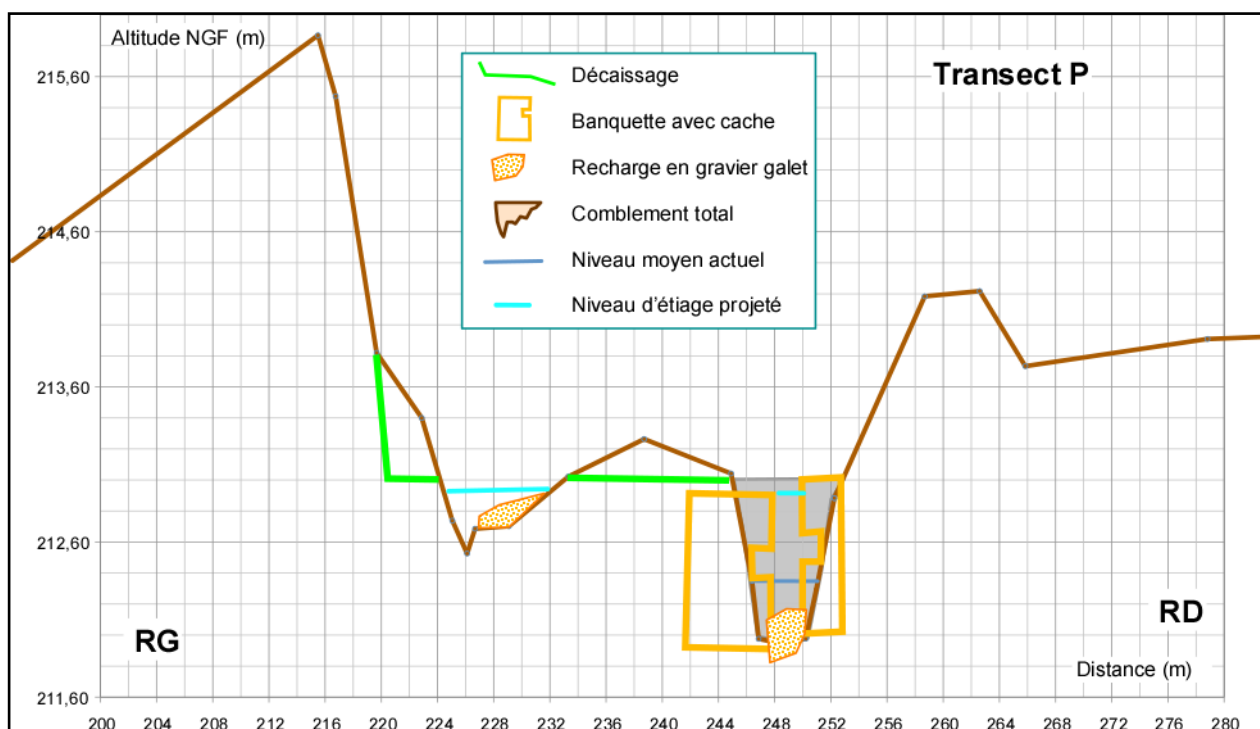


Figure 31. Remodelage et diversification du lit d'étiage avec décaissage d'un lit moyen

En étiage, cet aménagement augmentera les profondeurs et diversifiera les écoulements, sans entrainer de modification majeure de la capacité hydraulique. En effet, le décaissage du lit moyen permet de ne pas rehausser l'altitude des lignes d'eau en crue.

Cependant, comme le rehaussement du fil d'eau d'étiage et la sinuosité du nouveau chenal seront limités par les contraintes spatiales, des risbermes avec caches seront aussi implantées pour accroître l'hétérogénéité et l'attractivité du lit. Enfin, une recharge ménagée en graviers et en galet soutiendra le relèvement du niveau de la ligne d'eau d'étiage, et donc à améliorer la franchissabilité du seuil en aval du pont de la RD11.

IV. 2.3. Reméandrement entre la STEP et l'amont immédiat de la confluence

Entre la STEP et l'amont de la confluence, sur un linéaire de 1 100 mètres, l'option optimale du reméandrement est recommandée. Les méandres seront recrées en creusant un lit guide sous dimensionné à une altitude nettement plus élevée que celle du lit actuel qui sera complètement comblé (fig. 32).

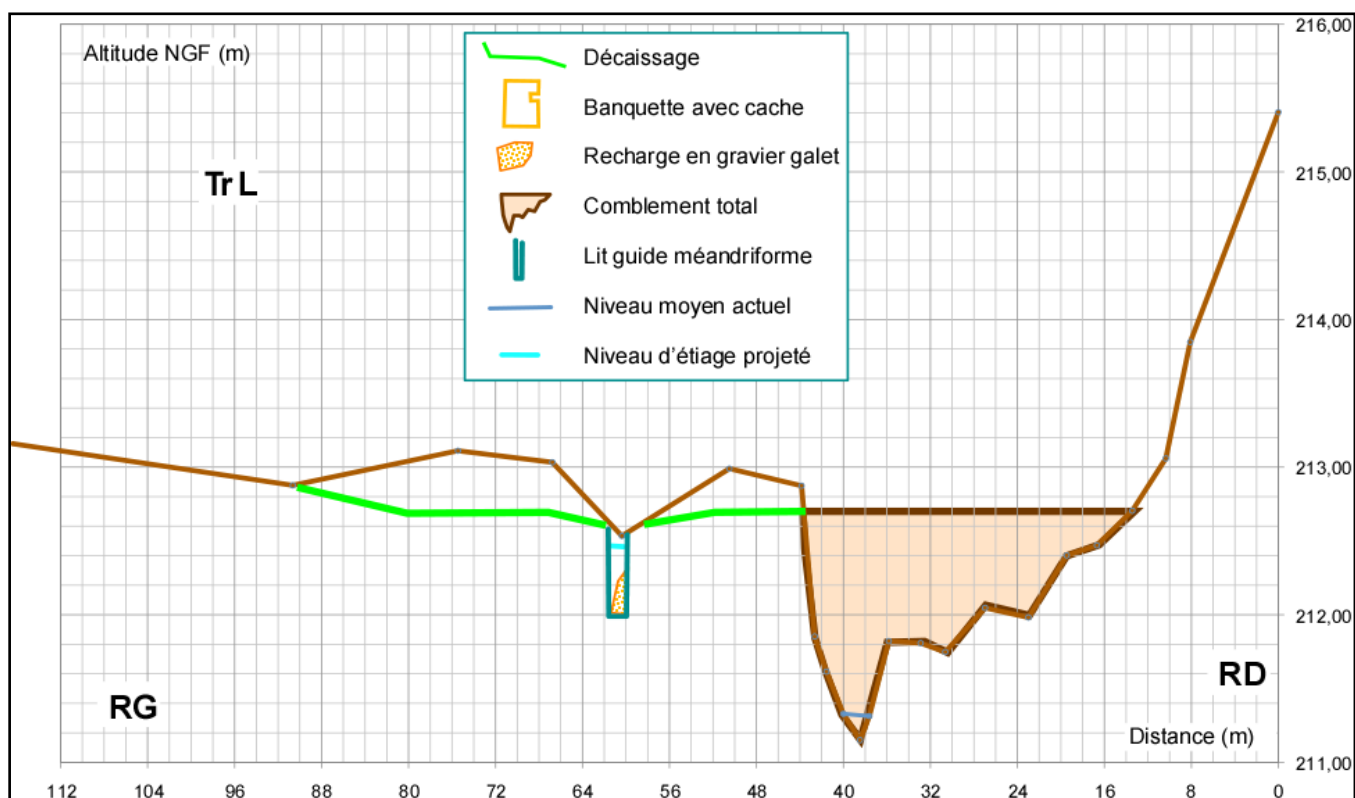


Figure 32. Reconstitution de méandres par comblement du chenal incisé actuel

De part et d'autre du nouveau lit méandrique, les merlons et surélévations du terrain devront être décaissés. Les matériaux ainsi excavés seront utilisés pour le comblement du chenal incisé. Leur maintien initial sera assuré par des tunages rustiques en travers qui permettront de mieux les compacter. Leur végétalisation sera accélérée par des plantations d'aulnes et d'arbustes porte fruit ainsi que par des semis de graminées

Parallèlement, des recharges ménagées en graviers et galets devront être effectuées dans le nouveau lit. Ces recharges permettront de maintenir le niveau des lignes d'eau d'étiage à une altitude proche de celle des berges remodelées et pour diversifier les fonds.

En complément, la partie aval de l'ancien canal confluent en rive droite devra être reconnecté au nouveau lit pour que ce système latéral puisse servir de bras de décharge de crue. Pour rappel, la connexion en crue de la partie amont de cet ancien canal avec la Leue médiane devrait être rétablie par un fonçage sous la RD11.

Dans la même optique, 2 chenaux de crue « perchés » pourront aussi être façonnés de façon à connecter plus fréquemment l'étang des Trois Ours et même la Loue à la Leue médiane, y compris lors des petites montées d'eau. L'amélioration de ces connexions entre différents biotopes contribuera à renforcer l'humidité ainsi que les capacités biogènes de la mosaïque de biotopes composant cette portion du corridor fluvial.

Enfin, à l'aval immédiat de la STEP, un chenal sinueux à macrophytes pourra être créé sur 218 mètres en rive droite de la Leue pour collecter les effluents. Cet aménagement servira à en améliorer la dépollution avant leur rejet dans le milieu naturel.

IV. 2.4. Option A : recharge et rehaussement de la confluence

L'option A consiste à conserver la confluence actuelle et à ménager un rehaussement progressif du fond lit grâce à des recharges conséquentes de gravier et de galets (fig. 33). Le transport de cette charge de fond sera ralenti à l'aide d'un ou deux épis plongéant crênelés implantés dans la partie terminale de la confluence.

Dans ce cas, le fond de la Loue devrait être idéalement rehaussé par l'implantation de deux rampes de fond en escalier. En plus de renforcer la connectivité de la Leue avec la Loue, cette option a aussi le mérite de réduire le dénivelé induit par le seuil situé à l'amont immédiat de la confluence et donc d'augmenter la continuité en cet endroit.

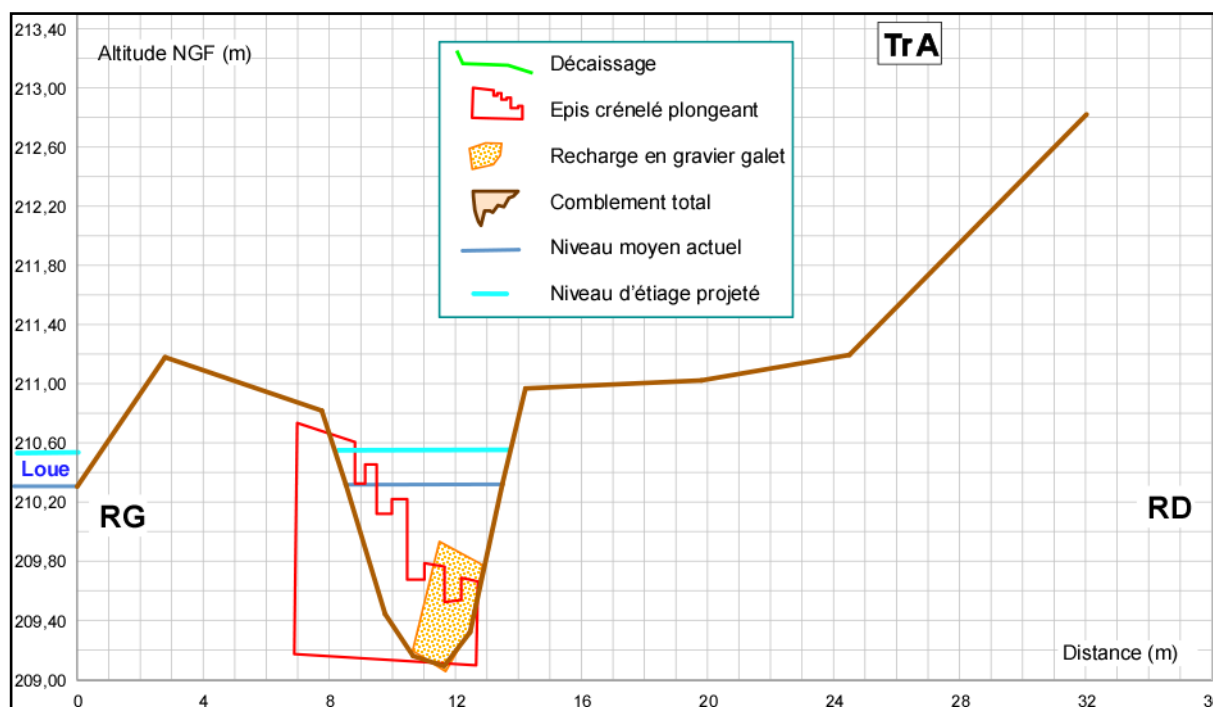


Figure 33. Option A : recharge du fond actuel de la confluence, implantation de un ou deux épis crênelés plongés à la sortie de l'embouchure et rehaussement du fond du lit de la Loue

IV. 2.5. Option B : déplacement de la confluence vers l'amont

Si le rehaussement du fond de la Loue est trop difficile à mettre en œuvre, une alternative consisterait à recréer une confluence plus en amont de l'existante, de façon à réduire le dénivelé entre la Leue restaurée, désormais perchée et la Loue incisée et enfoncée (fig. 29). Cependant, à cause de l'importance de l'incision de la Loue et de la Leue actuelle, cette option requiert un décaissage de plusieurs milliers de mètres cubes. La nouvelle confluence devra aussi être stabilisées par des rampes de fond en escalier.

En outre le bouchon à planter pour dévier les débits d'étiage vers la nouvelle confluence amont devra être particulièrement bien ancré. Une goulotte pourra être ménagée en son centre pour évacuer les débits de crue, mais cette variante implique le pavage du comblement du lit rectiligne dans sa partie aval. D'autres dispositifs anti-contournement devront aussi être mis en œuvre pour garantir la pérennité de cet ouvrage.

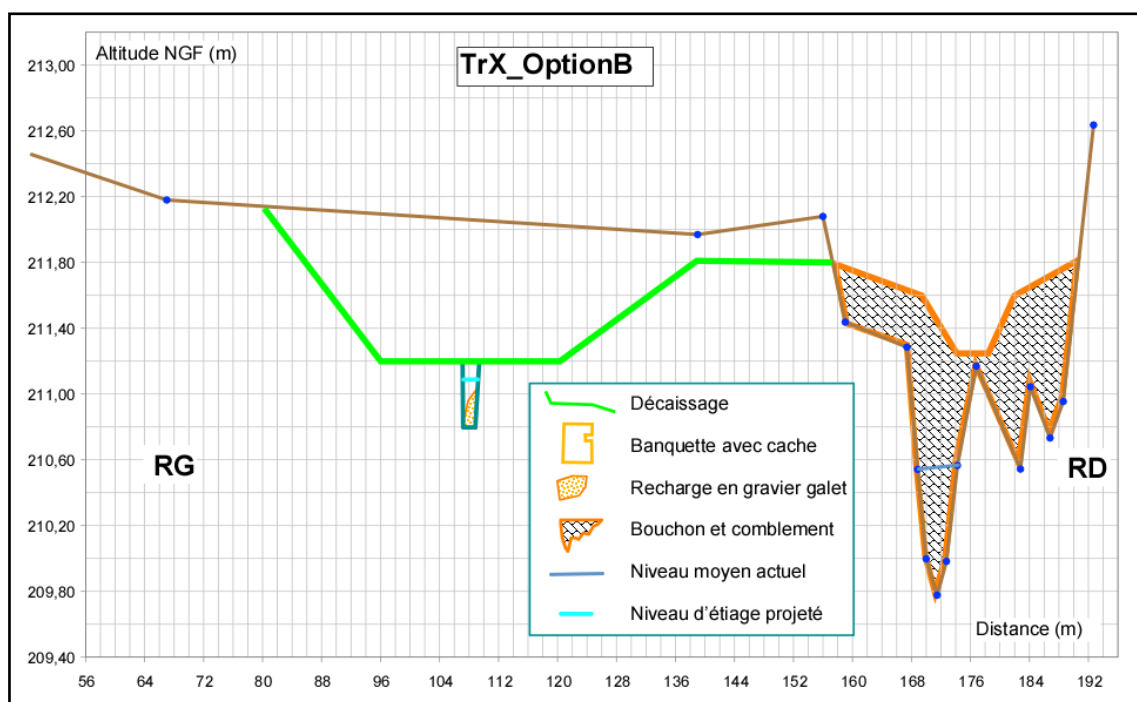


Figure 34. Option B : déplacement de la confluence à l'amont et décaissage d'un lit moyen stabiliser par des rampes de fond en escalier pour connecter la Leue et la Loue

III. 2.6. Option C : déplacement de la confluence intermédiaire

L'option C consiste également à déplacer la confluence à l'amont du seuil sur la Loue, mais dans une moindre mesure. Il s'agit d'utiliser des chenaux d'érosion ayant déjà entaillé le cordon de terrain entre la Leue basale et la Loue.

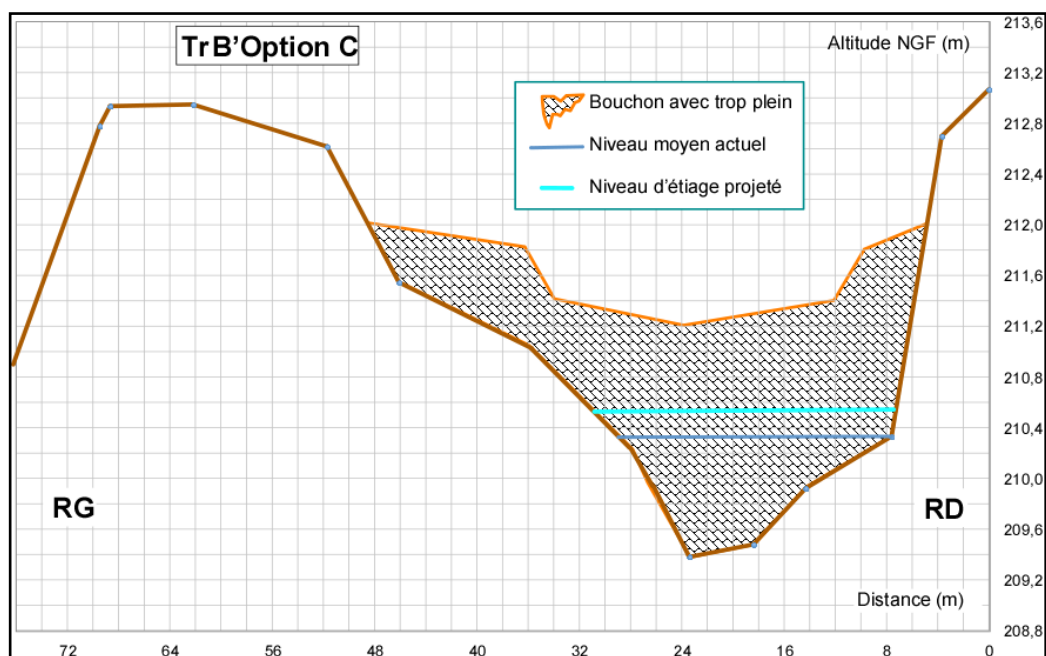


Figure 35. Option C : bouchon pour oblitérer la partie médiane de l'embouchure actuelle et déplacement de la confluence à l'amont immédiat du seuil sur la Loue

Le bouchon nécessaire à cette déviation de l'écoulement devra être implantée dans la partie médiane de l'embouchure actuelle. Une large goulotte de trop plein et un dispositif anti-érosion devra aussi être prévu à l'aval de cet ouvrage.

IV.3. Hydraulique : évaluation des impacts du projet

IV. 3.1. Impacts de l'option A

Les détails de la méthodologie et des calculs de la modélisation permettant de prédire l'impact hydraulique des aménagements préconisés sont exposés dans le fascicule de l'étude hydraulique, éditée à part. Les principaux résultats en sont rappelés ici (tab. 4 et 5).

Profil	Débit m ³ /s						
	Basses eaux			Crues			
	0.010 Q _{MNA5}	0.25 module	1	13 T=2	19 T=5	23 T=10	35 T=100
Pour	60	36	50	12	6	2	2
2	60	36	49	12	6	2	2
3	58	35	36	11	6	2	2
4	92	69	41	10	5	1	1
5	87	92	71	9	3	0	2
6	71	82	68	9	2	1	3
7	70	77	64	10	3	1	3
8	57	71	62	9	1	3	5
9	72	73	60	1	6	7	11
10	73	79	60	3	9	11	16
11	85	91	75	1	9	11	16
12	36	67	57	9	0	3	8
13	35	67	58	6	1	5	5
14	27	68	62	9	2	1	4
15	29	61	59	2	2	4	4
16	29	62	59	0	4	6	6
17	29	62	59	0	4	5	7
18	0	9	34	0	5	6	6
19	0	0	19	0	4	6	7
20	0	0	7	0	3	3	3

Tableau 4. Variations du niveau d'eau (en cm) prédites pour l'option A

Exhaussement recherché	Exhaussement sans enjeu	Exhaussement avec enjeu	Abaissement recherché
------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------

Il en ressort que la mise en œuvre de l'option A du projet se traduirait par **un exhaussement des lignes d'eau de basses eaux d'une soixantaine de cm en moyenne**. Cet exhaussement est l'un des objectifs recherché par l'aménagement, à condition qu'il ne se prolonge pas lors des crues.

Or, l'impact projet sur **les niveaux d'eau en crue est négligeable, voire bénéfique**.

En effet, en aval du profil 11, c'est-à-dire pour les profils 1 à 10 situés à l'aval de l'extrémité aval de la digue de Montbarrey, il n'y a pas d'enjeu lié à des constructions. En outre, les exhaussements restent modestes et sans incidence négative.

En amont de ce profil, diverses constructions sont, ou peuvent être concernées par les inondations. Cependant, le décaissement des banquettes permet, à partir de la crue quinquennale, et pour toutes les crues plus fortes et donc plus rares, de ne pas aggraver, voire d'abaisser le niveau des inondations.

Seule la crue biennale, conduirait, pour le secteur compris entre les profils n°12 et 15, à des exhaussements du niveau d'eau d'au maximum 9 cm. Néanmoins, pour une telle crue, fréquente et modérée, les niveaux demeurent inférieurs aux niveaux du seuil des constructions (tab. 5).

Construction	Crue T=2 ans	Crue T=5 ans	Crue T=10 ans	Crue T=100 ans
Maison en aval du bâtiment d'exploitation Z = 213.65	Niveau de 213.31 environ Pas d'inondation	Niveau de 213.46 environ Pas d'inondation	Niveau de 213.57 environ Pas d'inondation	Niveau de 213.77 environ hauteur d'eau : 12 cm (avant : 23 cm)
Bâtiment d'exploitation Z = 213.59	Niveau de 213.50 Pas d'inondation	Niveau de 213.64 hauteur d'eau : 5 cm (inchangée)	Niveau de 213.72 hauteur d'eau : 13 cm (avant : 16 cm)	Niveau de 213.92 hauteur d'eau : 36 cm (avant 41 cm)
STEP Z = 213.98	Niveau de 213.60 Pas d'inondation	Niveau de 213.78 Pas d'inondation	Niveau de 213.87 Pas d'inondation	Niveau de 214.11 hauteur d'eau : 13 cm (avant : 18 cm)
Garage en amont de la RD 11 Z = 214.51	Niveau de 213.97 Pas d'inondation	Niveau de 214.20 Pas d'inondation	Niveau de 214.34 Pas d'inondation	Niveau de 214.68 hauteur d'eau : 17 cm (avant : 20 cm)

Tableau 5. Incidences du scénario A sur l'inondabilité des constructions

IV. 3.2. Impacts de l'option B

Les conditions d'écoulement calculées pour l'option B sont de même nature que celles obtenues pour l'option A. En fait le seul problème est de savoir si ce scénario modifie, ou non, les niveaux de crue obtenus en amont, pour le scénario A, sur les zones à enjeu, c'est-à-dire en amont du profil 11 (tab. 6).

Crues (retour en années)	T = 2	T = 5	T = 10	T = 100
<i>Ecart de niveau entre le scénario B vis-à-vis du scénario A (en cm)</i>	- 1	0	+ 1	- 2

Tableau 6. Comparaison des impacts des options A et B sur les niveaux de crue au profil 11

Or sur ce secteur, l'option B ne provoquerait par plus de rehaussement des lignes d'eau de crue que ne le ferait l'option A. Cette solution est donc hydrauliquement validée en ce qui concerne les crues de la Leue seule.

Cependant, les crues de la Loue pourraient s'avérer plus problématique dans la configuration induite par cette deuxième option. En effet, **la création plus en amont de la nouvelle confluence de la Leue risque de favoriser le contournement du seuil sur la Loue par un courant de crue empruntant, en sens inverse, le nouveau lit de la Leue avant de se déverser dans l'ancien.** Ce risque peut exister tant que le seuil sur la Loue n'est pas noyé par l'aval, la dénivelée créant un appel en rive droite.

Le bouchon marquant la déviation vers la nouvelle embouchure, tout comme le comblement du cours aval de la Leue devraient donc être calés à une cote suffisamment haute pour que leurs submersions par les crues de la Loue soient maîtrisées. Dans tous les cas, les études de mise au point de ce scénario, s'il était retenu, devrait intégrer **une modélisation d'une partie du cours de la Loue, au moins en aval.**

III. 3.3. Impacts de l'option C

Le scénario C est une variante du précédent avec un raccordement à la Loue décalé vers l'aval et ne concernant que le lit mineur. Le bouchon projeté sur le cours aval de la Leue serait donc arasé au niveau des banquettes. De ce fait les crues emprunteraient toujours le lit actuel de la Leue. Cette configuration fournit des conditions d'écoulement proches de l'état actuel, ou des autres scénarios, et ne nécessite pas d'être modélisée. Ce scénario est sans incidence sur l'inondabilité des constructions en amont.

En revanche ; la réserve, formulée ci-dessus pour le scénario B, et concernant le risque de contournement du seuil de la Loue lors des crues de cette dernière, est également valable pour le scénario C.

IV.4. Bilan, cubage et chiffrage des coûts pour les options A et C

Seules les options A et C ont été retenues et chiffrées car B n'est qu'une variante plus lourde est moins biogène de la solution C. Dans les deux cas, il s'agit de :

- décaisser un lit moyen permettant d'absorber les crues ;
- utiliser les matériaux excavés pour combler le chenal actuel incisé et surélargi ;
- recréer un chenal méandriforme ou sinueux, hétérogènes et attractifs ;

A et C se différencient par les stratégies choisies pour améliorer la connexion de la Leue avec la Loue. Aussi, les deux options nécessitent des compléments topographiques et hydrauliques. Pour C, ces mesures sont nécessaires pour mieux évaluer l'influence de la Loue sur les risque d'érosion et de contournement d'une nouvelle confluence. Pour A, elles permettront de vérifier et de préciser l'impact du projet sur les niveaux de la Loue.

Compte tenu de ces différences, une estimation des cubages et des chiffrages des aménagements a été effectuée pour chacune des deux options.

Chiffrage de l'option A.

L'option A consiste à réhabiliter la confluence actuelle en la rechargeant en galet gravier, mais aussi, idéalement, en rehaussant le niveau d'étiage de la Loue de 20 à 30 cm. Cette dernière modalité requiert l'implantation de 2 rampes de fond dans cette rivière (tab. 7).

Opérations/Actions	linéaire	volume	nb	tarif un.	tarif un.	forfait	forfait	cout	cout
	m	m3		min	max	min	max		
Complément topo /hydraulique						12000	16000	12000	16000
Projet définitif Plans Ex., DLE, DIG...						20000	24000	20000	24000
Maitrise d'Œuvre						36000	44000	36000	44000
Implantation chantier sécurité						8000	10000	8000	10000
Creusement lit guide sinueux	1700	1360		12	16			16320	21760
Décaissage et remblai lit incisé	1440	12600		8	12			100800	151200
Remblai supplémentaire		1200		12	20			14400	24000
Tunages rustiques (compaction)			20	480	760			9600	15200
Recharge graviers		240		24	32			5760	7680
Recharge galets		680		16	20			10880	13600
Risbermes avec caches			12	1200	1600			14400	19200
Plantations arbustes			400	4	8			1600	3200
Semis graminées						1600	2400	1600	2400
Finitions, nettoyage, compléments...						8000	12000	8000	12000
Epis crénelés 2		48		60	80			2880	3840
Rampes de fond Loue (2)		844		120	160			101280	135040
<i>Total avec rehaussement du niveau d'étiage de la Loue</i>								<i>363520</i>	<i>503120</i>
<i>Total sans rehaussement du niveau d'étiage de la Loue</i>								<i>272224</i>	<i>380848</i>

Tableau 7. Chiffrage des coûts pour l'option A, avec et sans rehaussement du fil d'eau de la Loue

Cette option peut être mise en œuvre sans rehaussement de la Loue, en renforçant la recharge en graviers galets ainsi que les épis crénelés maintenant le niveau du fond de la confluence restaurées. Toutefois, cet abandon des rampes de fond dans la Loue s'accompagnera d'une réduction des gains écologiques induits par les travaux :

- moindre réduction de la fréquence et de la durée de l'assèchement de la confluence ;
- moindre amélioration de la connectivité entre la Loue et la Leue ;
- absence d'amélioration de la qualité de l'habitat aquatique de la Loue ;
- absence d'amélioration de la franchissabilité du seuil à l'amont de la confluence.

Selon les modalités choisies le cout l'option A sera donc compris :

- entre 270 000 et 380 000 euros hors taxes sans rehaussement de la Loue ;
- entre 360 000 et 500 000 euros hors taxes avec rehaussement de la Loue.

Chiffrage de l'option C

L'option C permet de profiter du rehaussement du niveau basal de la Loue induit par localement par le seuil barrage qui se trouve à l'amont de la confluence actuelle. Cette solution ne nécessite donc pas d'implanter des rampes de fond dans la Loue. En revanche, elle requiert l'édification d'un bouchon barrage de grande taille au milieu de la confluence actuelle (tab. 8).

Opérations/Actions	linéaire	volume	nb	tarif un.	tarif un.	forfait	forfait	cout	cout
	m	m3		min	max	min	max		
Complément topo /hydraulique						12000	16000	12000	16000
Projet définitif Plans Ex., DLE, DIG...						20000	24000	20000	24000
Maitrise d'Œuvre						36000	44000	36000	44000
Implantation chantier sécurité						8000	10000	8000	10000
Creusement lit guide sinueux	1700	1360		12	16			16320	21760
Décaissage et remblai lit incisé	1440	12600		8	12			100800	151200
Remblai supplémentaire		1200		12	20			14400	24000
Tunages rustiques (compaction)			20	480	760			9600	15200
Recharge graviers		240		24	32			5760	7680
Recharge galets		680		16	20			10880	13600
Risbermes avec caches			12	1200	1600			14400	19200
Plantations arbustes			400	4	8			1600	3200
Semis graminées						1600	2400	1600	2400
Finitions, nettoyage, compléments...						8000	12000	8000	12000
Décaissage final	92	2944		8	12			23552	35328
Creusement lit guide final	80	40		12	16			480	640
Bouchon anti érosion avec trop plein		528		120	160			63360	84480
Rampes de fond Leue (4)		25,6		60	80			1536	2048
Total								292896	412336

Tableau 8. Chiffrage des couts pour l'option C

L'option C ne permet pas non de bénéficier de l'ensemble des gains écologiques optimaux qui serait induit par le rehaussement de la Loue à l'aval du seuil. En revanche, elle devrait permettre la réduction de la fréquence et de la durée de l'assèchement de la nouvelle confluence par rapport à l'ancienne.

Le cout estimé de cette option est compris entre 290 000 et 410 000 euros hors taxes.

Compléments importants

Quelque soit l'option choisie deux séries d'aménagement permettrait de finaliser la restauration de la Leue et d'en multiplier les effets bénéfiques sur la qualité et la quantité des ressources en eau.

D'une part, le remodelage des lits emboîtés de la Leue à l'aval proche de la Station d'épuration permettrait de dégager un espace propice à l'aménagement d'un chenal à aérophyte de plus de 200 mètres de linéaire, pour servir de dispositif d'épuration tertiaire. Le cout de cet aménagement devrait être compris entre 55 000 et 80 000 hors taxes, sans compter les études de dimensionnement, dont le cout a été compris dans celui de l'étude opérationnelle devant déboucher sur l'élaboration des plans d'exécution (tab. 7 et 8).

Opérations/Actions	linéaire	volume	nb	tarif un.	tarif un.	forfait	forfait	cout	cout
	m	m3		min	max	min	max	min	max
Creusement et modelage du chenal	218	632		12	16			7584	10112
Vannages, buses, accès						8000	12000	8000	12000
Plantations/géotextiles		1744	24	32				41856	55808
Total								57440	77920

Tableau 9. Chiffrage de la création d'un chenal à macrophytes comme dispositif d'épuration tertiaire

D'autre part, la connectivité même temporaire de la Leue avec des mortes et des zones humides, voire avec la Loue intermédiaire pourrait être renforcée en réactivant et en reconnectant des chenaux et des canaux. Le cout de ces aménagements serait compris entre 30 000 et 50 000 euros hors taxes (tab. 10), sans compter les études de dimensionnement, dont le cout a été lui aussi compris dans celui de l'étude opérationnelle devant déboucher sur l'élaboration des plans d'exécution (tab. 7 et 8).

Opérations/Actions	linéaire	volume	nb	tarif un.	tarif un.	forfait	forfait	cout	cout
	m	m3		min	max	min	max	min	max
Fonçages amont						16000	28000	16000	28000
Buse pour connexions latérales			6	1600	2400			14400	19200
Recreusement rigole/chenaux						2000	4000	2000	4000
Total								30400	47200

Tableau 10. Chiffrage pour l'amélioration de la connectivité latérale de la moyenne et basse Leue

Conclusion

Cette étude a montré que les capacités biogène de la Leue sont très altérées, à la fois par des pollutions chimiques et par une succession d'aménagements hydrauliques anciens et récents qui ont fini par simplifier et par banaliser fortement les mosaïques d'habitat aquatique. Les altérations de la qualité physiques sont particulièrement accentuées dans la portion aval, dont une grande partie s'assèche.

L'analyse de l'hydrodynamique et de la morphologie actuelle et ancienne de ce ruisseau a montré qu'il a été fortement enfoncé et surélargi par les travaux qu'il a subi. Sur sa partie basale, il emprunte des portions d'anciens méandre de la Loue, elle même de la celle de la Loue, elle aussi fortement

À partir de ce diagnostic, un projet de restauration de la morphologie et de la dynamique de la Leue a été élaboré. Les principes et les modalités d'action préconisés ont été choisis en tenant compte des contraintes spatiales et des différents usages de la vallée. En particulier, une modélisation hydraulique a permis de dimensionner les aménagements restauratoires pour éviter, voire dans certain cas pour améliorer, les risques d'inondations quand cela était nécessaire.

La restauration de la Leue nécessitera des efforts techniques et financiers importants, car la zone de confluence entre la Loue et la Leue a été profondément bouleversée à plusieurs reprises depuis deux siècles. Des mesures complémentaires sont aussi nécessaires pour produire des plans d'exécutions et des modalités de mise en œuvre qui garantissent la pertinence, l'efficacité et la pérennité des actions entreprises.

Toutefois, ces aménagements engendreront alors à coup sûr de forts gains écologiques, puisque le ruisseau devrait décupler ses capacités biogènes sur près de deux kilomètres, tandis que le relèvement de sa nappe d'accompagnement permettra de restaurer plusieurs hectares de zones humides. Cette amélioration de la fonctionnalité des milieux aquatiques et de leur connectivité pourra s'étendre à la Loue elle même, si l'option consistant à rehausser l'altitude du niveau d'étiage de la confluence des deux cours d'eau est bien choisie.

Bibliographie citée et utilisée

- AMOROS C. & WADE P.M. 1993 - Successions écologiques *in* hydrosystèmes fluviaux. p201-231.
- BAKER, V. R., AND KOCHER, R. C., 1988, Flood sedimentation in bedrock fluvial systems, in Baker, V. R., Kocher, R. C., and Patton, P. C., eds., *Flood Geomorphology*: New York, John Wiley and Sons, p. 123-137.
- BOURNEAUD R. & COGERINO L. 1986. Les microhabitats aquatiques des rives d'un grand cours d'eau : approche faunistique. *Annals Limnol*, 22. p 285-294.
- BRAVARD J.P. & GILVEAR D.J. 1993. Structures hydro-géomorphologiques des hydrosystèmes *in Hydrosystèmes fluviaux* AMOROS C. & PETTS ed. : 83-103.
- BRAVARD J.P. & PETTS G.E. 1993 - Interférences avec les interventions humaines *in Hydrosystèmes fluviaux* AMOROS C. & PETTS ed. : 233-253.
- BRITAIN J.E., EIE J.A., BRABAND A., SALTVEIT S.J., HEGGENES J. 1993. Improvement of Fish Habitat in a Norwegian River Channelization Scheme. *Regul. Riv.* 8. p189-194.
- Cabinet REILÉ Pascal, 2002. Étude des affluents de la Basse Vallée de la Loue – État des lieux, diagnostic et propositions de réhabilitation. 44 p.
- CEMAGREF 1986. Aménagement de rivière. Trois études de cas. Ministère de l'Environnement et de l'Agriculture, éd. 68 p.
- CEMAGREF Grenoble 1982. Etude d'impact des aménagements des cours d'eau. Etude n° 182. CEMAGREF éd. 130 p.
- CEMAGREF Lyon 1983. Etude hydrobiologique de la Saulx Mornaise. Etude n° 2 pour l'Agence Financière du Bassin Seine Normandie.
- COPELAND, R. R., MCCOMAS, D. N., THORNE, C. R., SOAR, P. J., JONAS, M. M., AND FRIPP, J. B., 2001, *Hydraulic design of stream restoration projects* (ERDC/CHL TR-01-28): US Army Corps of Engineers, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS. 109 p., appendices.
- COUVERT B., CORTIER B., BRAVARD J.-P. 2002. Perspectives de la dynamique fluviale au 21ème siècle : l'exemple du bassin du Rhône. *La Houille Blanche*, 4/5, p. 83-88
- COSTA, J. E., 1983, Paleohydraulic reconstruction of flash flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range: *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, p. 986-1004.
- CTGREF 1977. Etude écologique de la Seille. CTGREF éd., Anthony. 77 p.
- CTGREF 1974. Etude écologique préliminaire à l'aménagement de la Saulx et de l'Ornan. Rapport rédigé pour le Ministère de l'Agriculture. 25 p
- DETHIOUX M. 1987. Aménagement des cours d'eau. Répertoire des espèces ligneuses à préconiser. 2ème édition. Ministère de la région Wallone éd., Bruxelles. 72 p.
- DOYLE, M. W., MILLER, D. E., AND HARBOR, J. M., 1999. Should river restoration be based on classification schemes or process models? Insights from the history of geomorphology: ASCE International Conference on Water Resources Engineering, Seattle, Washington.
- E.I.A Etudes Inter Agences 1992 - Etude bibliographique de l'impact des aménagements sur les capacités auto épuratrices des cours d'eau - 184 p
- GILVEAR D.J. & BRAVARD J.P. 1993. Dynamique fluviale in hydrosystèmes fluviaux, *in Hydrosystèmes fluviaux* AMOROS C. & PETTS ed. :61-82.

- GORMAN O.T. et KARR J.R. 1978 - Habitat structure and stream fish communities ecology, 59. p 507-515.
- GRANDMOTTET JP., 1983. Principales exigences des téléostéens dulcicoles vis-à-vis de l'habitat aquatique. *Annls Univ. Fr. Comté Biol An 4 (4)* 3-32.
- GREBE 1992 - Propositions d'une méthodologie d'approche de la qualité des milieux aquatiques. Rapports intermédiaires rédigés pour l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. 12 p + annexes.
- IRH, 2014. Travaux de réhabilitation du système d'assainissement collectif portant principalement sur les réseaux. Rapport n°4 : campagnes de mesures sur le milieu naturel. 20 p. + annexes.
- JARRETT, R. D., AND TOMLINSON, E. M., 2000. Regional interdisciplinary paleoflood approach to assess extreme flood potential: *Water Resources Research*, v. 36, no. 10, p. 2957-2984.
- KITE, J. S., 2003. Fluvial geomorphology train is leaving the station; shouldn't we be on board?: *Stream Notes*, October 2003, p. 6-7.
- LACHAT B. 1991. Le cours d'eau. Conservation, entretien et aménagement. Conseil de l'Europe éd, série aménagement et gestion, n° 2. 84 p + annexes.
- LALANNE-BERDOUICQ G. 1983. Aménagement et entretien des rivières en milieu rural. CA. CG. Ministère de l'Agriculture. 129 p
- MAIEB (Ministère des Affaires Internes de l'Etat de la Bavière) 1991 - Rivières et fleuves : maintenir, développer, adopter. Traduit de l'allemand pour l'agence RMC (étude de la version française) - 164 p
- MERMET L. et coll. 1993. Innover pour une gestion plus écologique des fleuves. Rapport du groupe de travail sur l'innovation en matière d'aménagement et de gestion de l'espace fluvial. Ministère de l'Environnement Direction de l'Eau (ASCA Applications des Sciences de l'action.
- MESSINGER, T., WILEY, J. B., 2004. Regional relations in bankfull channel characteristics determined from flow measurements at selected stream-gaging stations in West Virginia, 1911-2002: *U.S. Geological Survey Investigations Report 03-4276*, p. 1-43.
- MILLER J. R., RITTER, J. B., 1996. An examination of the Rosgen classification of natural rivers: *Catena*, v. 27, p. 295-299.
- MILNER N.J., HEMSWURTH R.J., JONES B.E. 1985. Habitat Evaluations as a Fisheries Management Tool. *J. Fish Biol.*, 27. p85-108
- MITSCH W.J. & GROSSELINK J.G. 1993. *Wet Lands*, 2nd edition. Van Nostrand Reinhold éd., New York, London. 722 p
- MONTGOMERY D. R., BUFFINGTON J. M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 109 : 596-611.
- MONTGOMERY D. R., BUFFINGTON J. M., 1998. Channel processes, classification, and response, in Naiman, R. and Bilby, R., eds., *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*: New York, Springer-Verlag, p. 13-42.
- NICOD C. & LIONNET J. M. 1982. Recherches sur une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité des systèmes "eau courante". *Mém. DESS lab. Hydrobiol. Fac des Sc. de l'Univ. de Fr.-Comté.*, Besançon : 41p. +annexes.
- NIEMI G.J. et coll. 1990. Overview of Case Studies of aquatic Systems from Disturbance. *Environn. Managem.*, 14 : 571-587.

- O.F.E.E. (Office Fédéral de l'Economie des Eaux) 1982. Protection contre les crues des cours d'eau. Directives 1982. Office Fédéral de l'Economie des Eaux éd., Berne – 78 p.
- OPN Berne Office de Protection de la Nature du Canton de berne 1991. Fiche d'entretien : exemple de travaux d'entretien sur la Birse OPN Berne éd. 32 fiches
- Parc Naturel Régional de Normandie-Maine 1990. Entretien des petits cours d'eau. PNR N-M éd., Alençon. 64 p
- PETERS H.M. & TACHET H. 1989. Comparison of macrobenthos in braided and channelized sectors of the Drome river, France. *Regulated rivers research and Management*, 4, 317-325.
- PETTS G.E. & BRAVARD J.P. 1993. Le réseau hydrographique dans le bassin versant in hydrosystèmes fluviaux. Amoros C et Petts G.E. éd. Collections écologie n°24 - Masson Paris. p 21-41.
- PRODON R. 1976. Le substrat, facteur écologique et éthologique de la vie aquatique. Thèse de spécialité. Université de Lyon. 171p.
- RABENI C. F., JACOBSON R. B., 1993, The importance of fluvial hydraulics to fish-habitat restoration in low-gradient alluvial streams: *Freshwater Biology*, v. 29, p. 211-220.
- REYLE R. 1989. Aménagement des rivières. "Il était une fois l'érosion". SRAE Franche-Comté éd., Besançon 88 p.
- RICE, S. P., GREENWOOD, M. T., AND JOYCE, C. B., 2001, Tributaries, sediment sources, and the longitudinal organisation of macroinvertebrate fauna along river systems: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 58, p. 824-840.
- ROSGEN, D. L., 1994, A classification of natural rivers: *Catena*, v. 22, p. 169-199.
- SA SCHUMM 1977. The Fluvial Systems. Wiley éd., New York. 409 p.
- Service de l'Eau 1985. L'entretien des cours d'eau. Cahier technique de la Direction des Prélèvements des pollutions N° 14. Ministère de l'Environnement éd. 100 p.
- SHIELDS, F. D., COPELAND, R. R., KLINGEMAN, P. C., DOYLE, M. W., SIMON, A., 2003. Design for stream restoration: *Journal of Hydraulic Engineering*, v.129, p. 575-584.
- SIMONSON T.D. 1993. Correspondance and relative precision of stream Habitat Features Estimated at Two Spatial Scales *Journ. Fresh. Ecology*, 8. 363-373
- SKIDMORE, P. B., SHIELDS, F. D., DOYLE, M. W., MILLER, D. E., 2001. A Categorization of Approaches to Natural Channel Design: ASCE River Restoration Conference, Reno, NV.
- SRAE Franche-Comté 1987. haute Vallée de l'Ognon : étude d'aménagement SRAE Franche-Comté éd. , synthèse. 158 p
- VERNEAUX VERGON & LARINIER 1975. Aspects écologiques des travaux d'aménagement de cours d'eau. Orientations et principes généraux. *Houille blanche*, 2-3 :127-132.
- WASSON et coll. 1993 - Approche écosystémique du bassin de la Loire - Phase I - Etat initial, problématique. Rapport rédigé pour le Ministère de l'Environnement : 102 p + 1 atlas de 113 p et 76 pl.
- WOLF et coll. 1987. Rivière en milieu rural : guide technique d'aménagement pour maître d'ouvrage. Rapport de microthème ENGREF.

Annexes

Protocole de prélèvements des macroinvertébrés aquatiques en rivière peu profondes – Norme XP T 90-333

Avant-propos

Le but du présent document de prélèvements de macro-invertébrés en rivières peu profondes est d'échantillonner sur un point de prélèvement à la fois :

- 1) *les habitats les plus représentatifs ;*
- 2) *les habitats marginaux, souvent plus biogènes.*

Les modalités préalables permettant le choix du point de prélèvement, de la définition précise de ses limites amont et aval et des possibilités laissées au préleveur de modifier celles-ci ne sont pas traitées dans le présent document.

Les phases ultérieures de laboratoire et de calculs d'indices n'entrent pas dans le champ de ce document.

Ce document est compatible avec les normes NF EN 27828, Qualité de l'eau — Méthodes d'échantillonnage biologique — Guide pour le prélèvement des macros invertébrés benthiques à l'épuisette et NF EN 28265, Qualité de l'eau — Conception et utilisation des échantillonneurs de macro-invertébrés benthiques sur substrat rocaillieux dans les eaux douces peu profondes.

1 Domaine d'application

Le présent document concerne le prélèvement des macro-invertébrés dans les cours d'eau sur un point de prélèvement déterminé.

Il s'applique aux cours d'eau dont la totalité des substrats à prélever dans le lit mouillé peut être prélevée à pied ou au moyen d'embarcations légères, avec des appareils à main de type filet Surber ou haveneau 1).

Ce document n'est pas utilisable pour les secteurs de sources présentant une mosaïque d'habitats incompatible avec le matériel de prélèvement 2) et pour les cours d'eau profonds non prélevables au Surber ou au haveneau 3).

Cette méthode a été développée pour un usage en France métropolitaine ; son application est possible sur d'autres territoires présentant les mêmes types de cours d'eau et de faunes macro-invertébrés.

2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivantes s'appliquent.

2.1 appareils de prélèvement Surber

Cadre équipé d'un filet de 0,5 mm de vide de maille (environ) et d'une base de 1/20 m² environ.

2.2 appareils de prélèvement haveneau

Cadre carré ou rond équipé du même filet que le Surber mais sans base de 1/20 m². Il peut être équipé d'un manche permettant d'échantillonner des substrats non prélevables avec la main en raison de la profondeur.

1) *Correspond généralement aux classes de taille de cours d'eau : TP (très petit), P (petit) et M (moyen), et une partie de la classe G (grand) de la typologie nationale (circulaire Directive cadre sur l'eau (DCE) 2005/11 du 29 avril 2005 relative à la typologie nationale des eaux de surface).*

2) *C'est-à-dire que la taille d'une placette de prélèvement (voir définition en 2.9) est supérieure à la taille des substrats.*

3) *Une norme adaptée aux cours d'eau profonds sera disponible ultérieurement.*

2.3 échantillon ensemble des 12 échantillons élémentaires réalisés sur un point de prélèvement à une date donnée.

2.4 échantillon élémentaire éléments récoltés (substrat et macro-invertébrés) résultant d'un prélèvement élémentaire (voir ci-après).

2.5 élutriation

Séparation de la fraction organique (remise en suspension dans la masse d'eau et récupérée dans un tamis de maille d'environ 0,5 mm) et la fraction minérale (lourde et restant au fond du récipient utilisé) selon leur densité par agitation dans l'eau (au moins trois fois conseillé). Deux phases sont donc séparées : la fraction surnageante et le refus d'élutriation

2.6 habitat

Combinaison d'un substrat et d'une classe de vitesse de courant en surface. Le paragraphe 5.2 liste les 12 types de substrats (bryophytes, hydrophytes, etc.) et les quatre classes de vitesse utilisées

2.7 habitabilité

Aptitude d'un substrat à accueillir une faune diversifiée. L'ordre d'habitabilité donné au paragraphe 5.2.2 classe les substrats selon leur habitabilité théorique

2.8 macro-invertébrés aquatiques

Les macro-invertébrés aquatiques regroupent les insectes (larves, nymphes ou adultes), les crustacés, les mollusques, les vers et autres invertébrés, fixés sur un substrat ou non, dont une partie au moins du cycle de vie est aquatique. Ils doivent être retenus dans un filet d'environ 0,5 mm de vide de maille

2.9 placette de prélèvement

Surface à échantillonner correspondant soit au cadre d'un Surber, soit à une surface fragmentée équivalente au cadre d'un Surber (cas des bryophytes par exemple), soit à la surface prélevée par le haveneau

2.10 point de prélèvement

portion de cours d'eau délimitée sur laquelle a lieu l'opération de prélèvement ; sous-espace caractéristique et représentatif d'une station de mesure (voir 2.12) (d'après SANDRE, 2008)

2.11 prélèvement élémentaire

Prélèvement d'une placette (environ 1/20 de m²) réalisé au filet Surber ou au haveneau et permettant d'obtenir un échantillon élémentaire

2.12 station de mesure

Lieu situé sur un cours d'eau, sur lequel sont effectués des mesures ou des prélèvements en vue d'analyses biologiques. Ces mesures peuvent être réalisées en différents points de prélèvements (voir 2.10), tous réputés cohérents et représentatifs de la même station de mesure (d'après SANDRE, 2008)

2.13 substrat

éléments ou association d'éléments minéraux et/ou organiques, présentant des caractères physiques homogènes sur une certaine surface :

— la liste des substrats est donnée en 5.2.2 ;

— la définition des substrats dominant (D), marginal représentatif (M), marginal non représentatif (MNR) et présent (P) est donnée en 5.1.2

2.14 Taxon

Unité systématique de détermination

2.15 zone de bordure

Zone proche de la rive d'une largeur suffisante pour être échantillonnée, présentant des caractéristiques de courant, de granulométrie et/ou de profondeur différentes du reste du lit

3 Principes de la méthode

Les étapes consistent à :

- 1) identifier sur le terrain les substrats «dominants», «marginiaux représentatifs» ,«marginiaux non représentatifs» et «présents», ainsi que les classes de vitesse ;
- 2) estimer les surfaces et établir un plan d'échantillonnage ; 3) réaliser :
 - un groupe de quatre prélèvements élémentaires sur les substrats marginaux, suivant l'ordre d'habitabilité (phase A) ;
 - un groupe de quatre prélèvements élémentaires sur les substrats dominants, suivant l'ordre d'habitabilité (phase B) ;
 - un groupe de quatre prélèvements élémentaires complémentaires sur les substrats dominants, en privilégiant la représentativité des substrats (phase C) ;
- 4) remplir la fiche de prélèvement.

4 Réactifs et appareillage

AVERTISSEMENT concernant la sécurité :

— la manipulation des produits chimiques doit respecter les consignes des fiches de sécurité (notamment port de gants et de lunettes sur le terrain, étiquetage des flacons) ;

— les conditions de prélèvements en rivières doivent respecter les législations d'hygiène et sécurité en vigueur.

4.1 Réactifs

Il est rappelé que, dans la mesure où le formol présente des risques graves pour la santé, d'autres techniques de conservations peuvent être utilisées, comme par exemple la congélation ou la conservation à l'alcool.

4.1.1 Formol : La solution de commerce est diluée pour atteindre une concentration finale de formaldéhyde d'environ 3 % à 4 % dans l'échantillon. Le formol pourra être neutralisé avec du carbonate de calcium de façon à éviter la dissolution des coquilles de mollusques.

4.1.2 Éthanol (concentration finale dans l'échantillon de 70 % à 80 % environ à 95°). Attention : compte tenu de la teneur en eau des échantillons, même égouttés sur tamis, cette teneur finale est souvent obtenue par ajout d'éthanol à 90 % environ aux échantillons.

4.2 Matériel

4.2.1 Échantillonneur Surber à filet de maille 500 µm environ et de surface de base 1/20 m2 environ.

4.2.2 Échantillonneur haveneau à filet de maille 500 µm environ de largeur de base 25 cm environ.

4.2.3 Récipients hermétiques pour les échantillons.

4.2.4 Matériel d'estimation des distances.

4.2.5 Glacière(s) et pains réfrigérants ou autres systèmes permettant de conserver les échantillons à basse température (indispensable en cas de congélation ultérieure).

4.2.6 Embarcation adaptée (à moteur ou rames) (indispensable en cas de prélèvement sur cours d'eau non praticables à pied (mais prélevables au moins au haveneau).

5 L'échantillonnage

5.1 Étapes préalables aux prélèvements

5.1.1 Conditions des prélèvements

Le présent document est applicable en toute saison. Toutefois, compte-tenu des critères ci-après (turbidité, profondeur, vitesse), une grande partie des cours d'eau ne sont, en pratique, échantillonnables qu'en période de basses-eaux. D'autres critères peuvent conduire à choisir une période de prélèvement particulière, ces considérations n'entrent pas dans le champ du présent document.

Les prélèvements ne doivent pas être réalisés dans les conditions suivantes :

- turbidité anormale ne permettant pas de décrire la mosaïque d'habitats ;
- hydrologie ne permettant pas l'investigation des habitats du point de prélèvement (profondeur, vitesse excessive du courant) ;
- dans un délai insuffisant après un événement hydrologique exceptionnel dommageable pour les invertébrés (forte crue ou assec).

Concernant les rivières subissant une turbidité chronique, la méthode sera appliquée avec l'adaptation décrite au paragraphe 5.1.4.

5.1.2 Reconnaissance du point de prélèvement, estimation de la superficie mouillée, repérage des habitats et de leur superficie

Il est rappelé que les étapes ci-dessous ont pour objectif de faire un choix des habitats à prélever d'après une estimation des % de recouvrement. Cette estimation ne nécessite aucune métrologie 4) (voir les difficultés listées dans le paragraphe 5.1.4).

Les limites amont et aval étant supposées connues (voir Avant-propos), l'échantillonnage doit être précédé d'une reconnaissance du point de prélèvement, si possible à partir des berges et en évitant dans la mesure du possible de piétiner le lit mineur, pour :

a) estimer la superficie mouillée ;

La largeur mouillée moyenne est estimée à partir de transects régulièrement espacés sur le point de prélèvement. Il est recommandé d'utiliser un télémètre ou système équivalent pour éviter de piétiner le lit mineur avant les prélèvements. Cette largeur mouillée est notée L_m (en mètres, avec une décimale pour les largeurs inférieures à 5 m).

La longueur totale (L_t) étant déjà définie lors du choix du point de prélèvement (voir Avant-propos), la superficie mouillée, calculée par le produit $\{L_t * L_m\}$, est estimée en m^2 et notée S_m . La superficie théorique maximale d'un substrat marginal représentatif pour un point de prélèvement donné est calculée (soit $\{S_m * 0,05\}$).

b) repérer les substrats à échantillonner et estimer visuellement leur superficie relative.

Tableau 1 — Définition des classes de substrats

Définition des classes de substrat (et sigle)	Superficie / surface mouillée totale du point de prélèvement	Substrat prélevé	Règle complémentaire
Dominant (D)	[5 % ; 100 %]	OUI	
Marginal représentatif (M)] 0 ; 5 % [Hormis les cas ci-dessous
Marginal non représentatif (MNR)] 0 ; 5 % [NON	Non prélevé en raison de son caractère exceptionnel, ou liée à une singularité morphologique (par exemple : ruines d'ouvrages apportant des blocs sur une rivière à fond argileux).
Présent non pris en compte (P)	Toutes superficies		Non pris en compte en raison d'une surface minimale contiguë inférieure à 1/20 de m^2 , excepté pour les bryophytes et les héliophytes de la strate basse. NOTE Ces deux derniers substrats peuvent donc être prélevés sur une placette fragmentée de façon à atteindre la surface minimale à échantillonner).

4) Les estimations peuvent être réalisées selon les cas avec les moyens grand public disponibles (décamètres, télémètres, etc. pour les longueurs) et à vue (pour les surfaces).

Les substrats composites sont définis selon leur caractère principal. Par exemple, un substrat «pierres» pourra comporter des sables (substrat secondaire 1) et quelques touffes de bryophytes (substrat secondaire 2).

Les différents substrats sont identifiés. Sur la grille d'échantillonnage (voir exemple en Annexe E), il est noté :

- leur présence par la lettre correspondante (D, M, MNR et P) ;
- la superficie des substrats estimée visuellement (voir l'aide visuelle en Annexe B), et notée en % de la surface totale du point de prélèvement. La somme des superficies relatives des substrats D et M doit être égale à 100 % (les MNR et P sont donc ignorés). Seul le substrat superficiel est comptabilisé (les couches recouvertes ne sont pas prises en compte : par exemple des pierres ou des vases sous des végétaux). Toutefois, un colmatage fin (par exemple de limons) ne sera pas considéré comme l'habitat principal. Les pourcentages dans la colonne «Superficie relative» devront être données à l'unité près : par exemple 12 % et non 11,6 %. Les pourcentages de moins de 1 % seront notés arbitrairement 1 %.

Les différentes classes de vitesses dans lesquelles ces substrats sont rencontrés sont notées sur la grille d'échantillonnage :

- soit de manière hiérarchique (par exemple : X = présence faible, XXX = forte présence, etc.) par type de substrat dans les colonnes correspondantes ;
- soit en % estimés (les pourcentages pourront être exprimés à 0,1 % près pour les valeurs < 1 % 5).

5.1.3 Plan d'échantillonnage prévisionnel

Suite aux repérages ci-dessus et avant tout prélèvement, l'opérateur doit définir sur la grille d'échantillonnage un plan d'échantillonnage prévisionnel (c'est-à-dire les 12 prélèvements élémentaires répartis dans les trois combinaisons de quatre substrats-vitesses qu'il devra prélever).

Le plan d'échantillonnage prévisionnel devra respecter au mieux les directives ci-dessous :

a) règles générales s'appliquant aux trois phases :

- pour un substrat donné, le premier échantillonnage est réalisé dans la classe de vitesse la plus représentée en surface pour ce substrat. Le cas échéant, les suivants sont réalisés en variant, si possible, la classe de vitesse par ordre décroissant de représentativité. Si nécessaire, lorsque toutes les classes de vitesses ont été échantillonnées, celles-ci sont à nouveau échantillonnées dans l'ordre décroissant de représentativité en variant la hauteur d'eau 6) ;
- lorsque on a le choix dans un même substrat (racines ou branchages, sables ou limons, différents taxons végétaux, etc. voir Tableau 2), on privilégie le support dominant en superficie dans la classe de vitesse dominante. Si le substrat doit être échantillonné à nouveau, on sélectionne les différents supports dans l'ordre décroissant de représentativité (en variant si possible les vitesses 7).

b) règles concernant chacune des trois phases :

- règles concernant la phase A : échantillonnage de quatre prélèvements élémentaires de substrats marginaux représentatifs selon l'ordre d'habitabilité du Tableau 2.

Les priorités d'échantillonnage sont les suivantes :

- si plus de quatre substrats marginaux ont été identifiés, seuls les quatre premiers sont échantillonnés ;
- si trois substrats marginaux seulement ont été identifiés, le 4e prélèvement est répété sur le substrat marginal présentant la plus grande superficie ;
- si deux substrats marginaux seulement ont été identifiés, les deux prélèvements restants sont répétés sur ces deux substrats ;

5) Seule la somme des valeurs arrondies par substrat doit être égale à 100 % comme indiqué plus haut. Il est sans importance que la somme des valeurs par substrats/vitesse ne le soit pas exactement.

6) Dans ce dernier cas, il n'est pas nécessaire de tracer cette information (hauteurs d'eau) sur les fiches de prélèvement.

7) Dans ce dernier cas, il n'est pas nécessaire de tracer cette information (vitesses pour les différents «soutenants», par exemple deux espèces d'hydrophytes) sur les fiches de prélèvement.

- si un seul substrat marginal a été identifié, les quatre prélèvements sont effectués sur ce même substrat ;

- si aucun substrat n'a été identifié comme marginal, on considère comme substrats marginaux les zones de bordure en vitesse lente ou nulle (il s'agit dans ce cas d'une dérogation aux règles générales du premier tiret du 5.1.3 a) ; quatre prélèvements seront effectués sur ces substrats (en les faisant varier si possible) pour garantir une superficie totale prélevée constante.

Cette règle s'applique aussi si la superficie de substrats marginaux n'est pas suffisante pour doubler ou tripler les prélèvements sur ces substrats (dans ce cas, les substrats marginaux sont prélevés puis les zones de bordures).

- règles concernant la phase B : échantillonnage de quatre prélèvements élémentaires de substrats dominants selon l'ordre d'habitabilité du Tableau 2 :

Les priorités d'échantillonnage sont les suivantes :

- si plus de quatre substrats dominants ont été identifiés, seuls les quatre premiers sont échantillonnés ;
- si trois substrats dominants seulement ont été identifiés, le 4^e prélèvement est effectué sur le substrat présentant la plus grande superficie ;
- si deux substrats dominants seulement ont été identifiés :
 - i) si ces deux substrats ont une superficie relative $> 25 \%$, deux prélèvements sont effectués sur chaque substrat ;
 - ii) si un des deux substrats a une superficie relative $\leq 25 \%$, un seul prélèvement est effectué sur ce substrat, et les trois autres sur le substrat présentant la plus grande superficie.
- si un seul substrat dominant a été identifié, les quatre prélèvements sont effectués sur ce même substrat.

- Règles concernant la phase C : échantillonnage de quatre prélèvements élémentaires complémentaires de substrats dominants.

Les priorités d'échantillonnage sont les suivantes :

- si plus de quatre substrats dominants ont été identifiés, les substrats non échantillonnés au cours de la phase B seront échantillonnés dans l'ordre décroissant de leur superficie relative ;
- lorsque tous les substrats dominants ont été échantillonnés au moins une fois au cours des phases B et C, les prélèvements restant à effectuer sont positionnés sur les substrats déjà échantillonnés, au prorata de leur superficie relative totale. Il est retiré 10 % au pourcentage total de recouvrement du substrat pour chaque prélèvement effectué (au cours des phases B et C), le plus fort reste des surfaces étant alors considérées pour effectuer le(s) prélèvement(s) restant(s).

En cas d'égalité de surface de recouvrement, entre deux substrats, la priorité est donnée à celui présentant la meilleure habitabilité théorique (voir Tableau 2).

5.1.4 Difficulté de réalisation du plan d'échantillonnage et recommandations/prescriptions

L'estimation des % de recouvrement et donc le plan d'échantillonnage peuvent être difficiles à élaborer pour les raisons suivantes :

- accès aux berges difficile ou impossible (ceinture de végétation, clôture infranchissable, etc.) ;
- difficulté pour voir le fond correctement, soit depuis les rives, voire même dans la rivière, (turbidité chronique de l'eau, colmatage du fond par des fines ou autres, turbulence, profondeur, ombrage, etc.) ;
- mélange difficilement quantifiable (par exemple : surfaces/blocs/pierres en montagne, pierres enchâssées dans du sable, mélange limon/sable/vase, etc.) ;
- colmatage (par des limons, des vases, etc.).

De plus, les estimations réalisées depuis les berges sont fréquemment remises en cause par une observation plus rapprochée, voire par des essais de prélèvement (mauvaise identification des substrats ou présence de substrats non visibles depuis la berge, etc.).

Dans tous les cas, il est conseillé, dans la mesure du possible, de faire un plan provisoire qui pourra être ajusté au fur et à mesure de la prospection du point de prélèvement lors de la réalisation des prélèvements élémentaires. Il est donc inutile de faire des estimations fines pour le premier plan prévisionnel. Par contre, il est indispensable de revoir, de corriger et d'affiner si besoin les estimations de % de recouvrement en fin de prélèvement.

Si le fond n'est pas visible (situation chronique), la méthode pourra être appliquée si la nature des substrats peut être estimée de façon fiable par sondage (à la main, au pied ou au haveneau) sur la majorité de la superficie du point de prélèvement.

Les difficultés rencontrées pour établir le plan d'échantillonnage et estimer les % de recouvrement devront être indiquées sur la feuille d'échantillonnage.

5.2 Échantillonnage

5.2.1 Généralités

L'échantillonnage est réalisé en respectant le plan d'échantillonnage prévisionnel (voir 5.1.3) mais en l'adaptant au fur et à mesure que l'agent préleveur affine sa connaissance du point de prélèvement (voir 5.1.4).

Les prélèvements élémentaires peuvent être réalisés dans un ordre quelconque des phases et à l'intérieur de chaque phase.

Les prélèvements élémentaires doivent si possible être réalisés de l'aval vers l'amont pour éviter :

- 1) la gêne occasionnée par le trouble éventuel de l'eau ;
- 2) de récolter des invertébrés en dérive ;
- 3) d'endommager des habitats non prélevés.

La méthode consiste (voir Tableau 2) :

- 1) soit à ramener dans le filet, à la main, le substrat présent sur la placette dans les limites indiquées dans le Tableau 2 ;
- 2) soit à agiter, frotter ou gratter le substrat avec les doigts, sans le prélever, dans le but de décrocher les individus fixés.

Les prélèvements en courant rapide se feront en veillant à ce que le courant entraîne les éléments récoltés (macro-invertébrés et, le cas échéant, le substrat) dans le filet. Pour les courants lents, l'entraînement dans le filet peut être réalisé, par exemple, par le mouvement de la main de l'agent préleveur.

Dès que la profondeur est supérieure à la longueur du bras, la prospection au haveneau est réalisée :

- 1) soit par traction sur 20 cm dans un substrat meuble ;
- 2) soit en ramenant le substrat sur 20 cm dans le filet à l'aide du pied. Toutefois, la méthode par simples coups de pied devant le filet est à proscrire ;
- 3) soit, à défaut, par mouvement de va et vient (agitation) sur une longueur d'environ 50 cm. La surface supplémentaire prospectée par rapport à celle du Surber compense la fuite d'une partie des individus.

Il est recommandé que le filet soit vidé dans un récipient entre chaque prélèvement élémentaire. Le filet doit être vidé dans des conditions limitant les pertes (projection hors du récipient de récupération), en plaçant par exemple un tamis de 0,5 mm de vide de maille sous le récipient.

5.2.2 Liste des substrats et méthodes de prélèvement associés

Les différents types de substrat sont classés dans le tableau ci-dessous selon l'ordre d'habitabilité décroissante à appliquer pour l'échantillonnage des phases A et B. Ce tableau précise également la technique d'échantillonnage propre à chacun d'eux.

Pour tous les substrats, il est rappelé qu'ils ne doivent pas être nettoyés avant le prélèvement (par exemple en enlevant une fine couche d'algues sur le substrat «pierres»).

Tableau 2 — Mode de prélèvement des substrats

Habitabilité	Définition du substrat principal	Récupération du substrat — sur 5 cm environs, pour les substrats minéraux ^{a)} ; — volume final maximum compris entre 0,5 L et 1 L environ pour les substrats organiques ^{a) b)} .	Agitation du substrat seulement
11	Bryophytes		X (frotter, peigner)
10	Spermaphytes immergés (hydrophytes)	X	
9	Débris organiques grossiers (litières)	X	
8	8a) Chevelus racinaires libres dans l'eau ^{c)}		X (frotter, peigner)
	8b) Substrats ligneux	X pour les dépôts de petites branches	X pour les grosses branches (frotter toute la surface)
7	Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 mm à 250 mm)		X (frotter toute la surface des pierres volumineuses ^{d)} et s'assurer visuellement qu'il n'y a plus d'organismes accrochés. Agiter la couche sous les pierres sur environ 5 cm d'épaisseur)
6	Blocs facilement déplaçables (> 250 mm)		X (frotter la surface de toutes les faces des blocs et s'assurer visuellement qu'il n'y a plus d'organismes accrochés. Agiter la couche sous les blocs comme le substrat 7)
5	Granulats grossiers (graviers) (2 mm à 25 mm)	X	
4	Spermaphytes émergents (hélrophytes) ^{e)}		X (frotter, peigner)
3	Vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins	X	
2	2a) Sables (< 2 mm)	X	
	2b) Limons	X	
1	Algues	X (couper)	
0	Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles (roches, dalles, blocs non facilement déplaçables, marnes et argiles compactes ^{f)})		X (frotter toute la surface)

a) Si la profondeur ou le volume présents sur la placette de prélèvement sont inférieurs à ceux indiqués, ils seront pris en totalité (par exemple : que 2 cm de sable recouvrant de l'argile).

b) Le volume final est celui récupéré après les traitements de terrain (voir 5.3). Dans le cas des substrats non retenus par la maille du filet (certains vases, limons, etc.), le volume pourra être inférieur.

c) Le chevelu racinaire libre dans l'eau inclut les racines libres d'hélrophytes.

d) Voir 5.3.1 pour le terme «volumineux».

e) Le terme «hélrophytes» inclut la partie immergée – mais en dehors du substrat sous-jacent – des hélrophytes de la strate basse» type cresson, bérule, véronique, etc., ainsi que celle des hélrophytes de la strate haute (roseaux, iris, massettes, etc.).

f) Cette définition s'applique aux substrats significativement cimentés par des concrétions calcaires ou enchâssés (impossibilité de retirer les pierres par exemple).

5.2.3 Liste des classes de vitesses

Les classes de vitesses sont estimées à partir de la vitesse de surface exprimée en cm/s (tab. 3).

Tableau 3 — Définition des classes de vitesse

Classe vitesse (cm/s)	Vitesse	Code SANDRE
$v < 5$	Nulle	N1
$25 > v \geq 5$	Lente	N3
$75 > v \geq 25$	Moyenne	N5
$v \geq 75$	Rapide	N6

Les vitesses peuvent être estimées à vue (par exemple en observant la dérive d'un objet flottant).

5.3 Traitement de l'échantillon sur le terrain

5.3.1 Lavage du substrat

Le volume prélevé étant susceptible d'atteindre 2,5 L environ par placette et le volume minimal ramené au laboratoire devant être compris entre 0,5 et 1 L (voir Tableau 2), il peut être réduit soit par simple lavage dans le filet (limon, vase sans éléments grossiers, etc.), soit par les méthodes suivantes (gravier, sable, litière, etc.) :

1) dans le cas où des éléments volumineux (par la taille : pierres, branches ...) sont entraînés dans le filet, ils peuvent être nettoyés à la main ou à la brosse, soit dans le courant et devant le filet, soit dans le filet, soit sur un tamis de 0,5 mm environ.

Ces éléments volumineux doivent être soigneusement examinés avant d'être rejetés.

Les autres éléments (= non volumineux) doivent être conservés après le lavage du substrat ;

2) les graviers peuvent aussi être éliminés sur le terrain après un lavage, par exemple sur une colonne de tamis 5 mm et 0,5 mm environ, et s'être assuré visuellement qu'il n'y a plus d'organismes sur le tamis de 5 mm ;

3) une élutriation peut être réalisée soit sur le volume excédentaire, soit sur la totalité du volume présent dans le filet. Dans le deuxième cas, une partie du refus d'élutriation (0,5 à 1 L : voir Tableau 2) sera récupérée dans le récipient afin de conserver les taxons résistants à l'élutriation, le reste pourra être éliminé sur le terrain.

5.3.2 Cas des taxons fragiles ou protégés identifiables sur le terrain

Les organismes fragiles (par exemple Éphéméroptères, Triclades, Spongiaires, Bryozoaires, etc.) peuvent être mis dans un récipient séparé, étiqueté comme le récipient principal.

Les individus d'espèces protégées dont l'identification a été possible sur le terrain seront comptés et remis dans le milieu naturel (par exemple écrevisses indigènes, moules d'eau douce, etc.).

5.4 Traitement des échantillons élémentaires

Les regroupements d'échantillons élémentaires sont possibles sur le terrain (après vérification que tous les prélèvements ont été réalisés suivant le plan d'échantillonnage) mais ils doivent être compatibles avec la méthode appliquée pour la suite du traitement des échantillons.

Chaque récipient, contenant tout ou partie d'un échantillon, doit être identifié de manière non équivoque.

5.5 Conservation des échantillons

Le mode de conservation des échantillons reste au choix du laboratoire.

Les échantillons peuvent être conservés selon les méthodes suivantes :

- congélation ;
- fixation par l'alcool. L'alcool doit être homogénéisé rapidement dans l'échantillon ;
- fixation par le formol. Le formol doit être homogénéisé rapidement dans l'échantillon ;
- toute autre technique permettant d'obtenir des résultats équivalents.

L'association de plusieurs de ces méthodes est envisageable.

L'usage d'une fixation ou de la congélation demande le respect des conditions suivantes :

- 1) dès que les échantillons sont prélevés, si la fixation ou la congélation ne peut être faite immédiatement, ils doivent être conservés dans une glacière réfrigérée ou un système équivalent ;
- 2) au plus tard dans les 12 h, les prélèvements doivent être fixés ou congelés.

Il n'est pas nécessaire de procéder à un contrôle des températures de conservation.

En cas de constat de dégradation des individus, l'essai devra être déclaré non-conforme au présent document.

6. Traitement des échantillons au laboratoire

6.1 Limites de détermination taxonomique

Les limites retenues tiennent compte à la fois 1) de l'information bio-écologique supplémentaire apportée par une identification au genre par rapport à la famille et 2) de la difficulté d'identification d'un taxon à un niveau systématique plus précis. Le gain d'information bio-écologique a été estimé à partir du calcul de la diversité bio-écologique des différents genres à l'intérieur d'une même famille. Cette diversité a été calculée en fonction de la distribution de ces genres au sein de groupes fonctionnels définis sur la base des caractéristiques biologiques et/ou écologiques des organismes. La difficulté d'identification des familles au niveau du genre a été codée après une enquête menée auprès des DIREN. Le couplage de ces deux sources d'information permet de définir une liste faunistique "finie".

La liste des niveaux taxonomiques requis est fournie dans le tableau IV.

L'ouvrage de base pour la détermination est le guide « Invertébrés d'eau douce – Systématique, biologie, écologie ». Cet ouvrage sera complété par la note additive à l'ouvrage « Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces » pour les taxons nouveaux ou invasifs.

La détermination se fera au niveau requis, sauf pour les individus trop abîmés ou correspondant aux premiers stades larvaires, qui seront identifiés à la famille.

Tableau 4 : Niveaux d'identification requis pour les différents groupes taxonomiques.

Taxons	Niveau systématique
Plecoptera	Genre
Ephemeroptera	Genre
Trichoptera (sauf Limnephilidae)	Genre
<i>Trichoptera Limnephilidae</i>	Sous-Famille
Coleoptera (sauf Dytiscidae, Hydrophilidae et Curculionidae)	Genre
<i>Coleoptera (Dytiscidae, Hydrophilidae)</i>	Sous-Famille
<i>Coleoptera Curculionidae</i>	Famille
Megaloptera	Genre
Heteroptera (sauf Corixinae)	Famille
<i>Heteroptera Corixinae</i>	Sous-Famille
Planipennia	Genre
Odonata (sauf Coenagrionidae)	Genre
<i>Odonata Coenagrionidae</i>	Famille
Lepidoptera	Famille
Hymenoptera	Genre
Diptera	Famille
(Hydr)acarina	PRESENCE
Crustacea (sauf Asellidae)	Genre
<i>Crustacea Asellidae</i>	Famille
Bivalvia	Genre
Gastropoda (sauf Planorbidae)	Genre
<i>Gastropoda Planorbidae</i>	Famille
Hirudinea et Branchiobdellida	Famille
Oligochaeta	Classe
Bryozoa	PRESENCE
Nematoda	PRESENCE
Gordiacea	PRESENCE
Turbellaria	Famille
Hydrozoa	PRESENCE
Porifera	PRESENCE
Nemertea	PRESENCE

6.2 – Tri et Quantification des prélèvements.

Le protocole de tri s'applique à chaque « bocal » regroupant les 4 prélèvements effectués au cours de chacune des trois phases de terrain. Les prélèvements de chaque bocal peuvent être ramenés au laboratoire dans un ou plusieurs récipients selon les cas (cf. § III.3.5).

Le but est d'obtenir pour chaque bocal une liste faunistique quantifiée, avec des abondances par taxon, selon le niveau taxonomique requis (tableau IV).

6.2.1 – Estimation de l'abondance

L'abondance est le nombre d'individus estimé, par taxon, pour l'ensemble des 4 prélèvements du même bocal, soit 1/5ème de m². Les taxons pour lesquels une indication de « présence » est uniquement demandée (tableau IV) ne doivent pas être dénombrés.

Le dénombrement des individus est réalisé au niveau taxonomique de la famille. La précision requise pour l'estimation de l'abondance de chaque famille est de l'ordre de $\pm 25\%$. Le dénombrement exhaustif des individus pour les taxons abondants n'est pas nécessaire; dans ce cas, l'utilisation du sous-échantillonnage est fortement recommandée. Différentes techniques de sous-échantillonnage sont applicables, au choix de l'opérateur, en fonction du substrat à trier.

6.2.2 – Tri et quantification

La phase de tri et quantification comporte trois opérations :

- Les prélèvements ramenés du terrain sont d'abord lavés sur une colonne de tamis ; la maille du tamis le plus fin est de 0,5 mm.
- Sur les refus de tamis, les individus sont comptés au niveau taxonomique de la famille, directement ou à l'aide d'une loupe monoculaire. Une technique de sous échantillonnage peut être appliquée à cette opération.
- Pour chaque taxon, un certain nombre d'individus doit être sorti pour identification et conservé pour un contrôle qualité ultérieur (cf. § IV.2.3).

6.2.3 – Identification et dénombrement

Pour tous les taxons dont l'identification est requise au niveau de la famille (ou présence attestée), au moins 10 individus (s'ils existent) sont sortis pour identification, et conservés.

Pour tous les taxons dont l'identification est requise au niveau du genre, à l'intérieur de chaque famille, l'abondance des différents genres est estimée à partir de la détermination d'un nombre limité d'individus. Ce nombre est fonction du nombre de genres existants dans cette famille. Le tableau de l'annexe III indique pour chaque famille une diversité générique « faible » (2 à 3 genres) ou « forte » (4 genres ou plus).

Pour chaque liste faunistique (= pour chaque bocal), le nombre minimum d'individus à identifier pour chaque famille est de :

- 10 individus pour les familles mono génériques ;
- 20 individus pour les familles à diversité générique « faible »;
- 40 individus pour les familles à diversité générique « forte ».

Lorsque différents prélèvements correspondant au même bocal ont été conservés séparément (dans différents récipients) lors des phases de terrain, ils sont triés et quantifiés séparément ; pour chaque famille, les individus sortis sont ensuite regroupés, et 20 ou 40 individus sont tirés au hasard pour identification (voir schéma annexe IV). Pour l'établissement de la liste faunistique du bocal, les abondances de chaque taxon estimées dans les différents prélèvements sont simplement additionnées.

6.3 – Limitation du temps de tri et quantification



En pratique, la relation entre le temps passé au tri et le nombre de familles identifiées tend vers une asymptote, les premiers quarts d'heure apportant le maximum d'information. Pour les substrats minéraux, une demi-heure de tri pour un prélèvement unitaire permet d'apporter une grande part de l'information (de l'ordre de 80% de la richesse taxonomique) ; pour les autres types de substrats, cette durée est de l'ordre de une heure. Ces temps correspondent au travail d'opérateurs expérimentés.

Afin d'optimiser le rapport coût / information des échantillons, cette phase de tri et quantification sera donc réalisée dans un laps de temps limité en fonction de la nature du substrat.

Les temps de tri indiqués doivent permettre d'extraire au minimum 80% des taxons présents dans chaque bocal ou prélèvement.

Listes faunistiques (macro-invertébrés benthiques)

Amont Step Montbarrey

Annexe : Cours d'eau La Loue Commune Montbarrey Station amont STEP Date 27/06/14				PRELEVEMENTS												Privés IBGN		Code Sandre			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL	TOTAL				
				Vas	Gal	Gra	Hel	Hyl	Bry epars	Gal	Gra	Hel	Lit	Alg	Chv Hel	taxons	tax. IBGN				
INSECTES	PLECOPTERES	Leuctridae	Euleuctra Leuctra	7 (2)	8 (2)	12 (2)	18 (2)	15 (2)	4 (1)	5 (1)	3 (1)	7 (2)	18 (2)	20 (2)	15 (2)	6	8	67			
		EPHEMEROPTERES	Baetidae	Baetis		1			2	3		1	4		7		11	14	9794		
			Caenidae	Centropilum Caenis				1								1		8	8	383	
	Ephemeralidae		Serratella		2	6	11	5	6	9	1	3	4	2	4	5	26	25	457		
	TRICHOPTERES	Goeridae	Goera		33	34	1		1	4	22	60	4	9	6	3	2	2	502		
		Hydropsychidae	Hydropsyche						5	18	4	7					177	88	287		
		Hydroptilidae	Hydroptila				1		1		1						48	25	212		
		Lepidostomatidae	Lepidostoma		4	1			2		1	1					4	2	200		
		COLEOPTERES	Limnophilidae	Halesus		8	5	8	4	16	3			1	4		9	5	7	305	
			Elmidae	Elmis								23	4	1	7		4	2	0	322	
			DIPTERES	Ceratopogonidae	Ceratopogon								4	4	1	7		4	62	219	618
				Chironomidae	Limnulus								9	8	4	6		4	15	15	623
				Empididae	Limnulus								2	1		2			101	101	622
			CRUSTACES	Amphipoda	Gammarus		56	156	122	45	65	79	175	134	179	37	33	54	1135	593	892
				MOLLUSQUES	Gastropoda	Ancylus			15	3		8	1	20	35	11			95	29	1028
VERS					Achetes	Erpobdella													1	1	909
	OLIGOCHETES				Enchytraeidae	Hemicelopsis													2	2	914
					Hemicelopsis														34	24	933
		Hemicelopsis															1	1	906		

Pr: HD / JP - Tr: DS
Df: HD - MSF: HD - Ind: HD

Abundance	107	326	309	105	147	204	267	266	244	103	164	112
Abundance relative	4,5%	13,8%	13,1%	4,4%	6,2%	8,6%	11,3%	10,3%	4,4%	6,9%	4,7%	4,7%
Variété	13	22	22	14	20	14	19	16	16	17	17	16
Variété relative	27,1%	46,8%	46,8%	29,8%	42,6%	29,8%	40,4%	34,0%	34,0%	36,2%	34,0%	34,0%

2 364	1 473
100%	100%
47	34
	22

Aval Step Montbarrey

Annexe : Cours d'eau La Loue Commune Montbarrey Station aval STEP Date 27/06/14				PRELEVEMENTS												Privés IBGN		Code Sandre		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL	TOTAL			
				Vas	Gal	Gra	Hel	Hyl	Vas	Alg	Hel	Alg	Alg	Gal	taxons	tax. IBGN				
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Baetidae	Baetis	10 (2)	1			18	17		27			2		64	65	9794		
		Caenidae	Centropilum Caenis			1							1			1	1	383		
		Ephemeralidae	Serratella				1	1	6	4	1					11	10	457		
	TRICHOPTERES	Hydropsychidae	Hydropsyche					3	2	2	3				1	13	13	212		
		Hydroptilidae	Hydroptila													2	3	200		
		Limnophilidae	Anatolia		1	1										2	2	281		
	COLEOPTERES	Elmidae	Elmis						6	4	4	1		1		1	17	618		
		Halophilidae	Halophilus						13	1	13	15	3	3		18	32	622		
		Hydraenidae	Hydraena					1	7							8	8	518		
		Hydrophilidae	Hydrophilus						1							2	2	608		
		DIPTERES	Anthomyiidae	Anthomyia						3	17	2					24	24	847	
			Ceratopogonidae	Ceratopogon						1							3	2	819	
			Chironomidae	Limnulus		201	5	13	7	149	102	44	208	28	132	268	1157	196	807	
		CRUSTACES	Amphipoda	Gammarus														2	2	801
			MOLLUSQUES	Gastropoda	Ancylus													1	1	837
VERS				Achetes	Erpobdella													2	2	783
				OLIGOCHETES	Enchytraeidae	Hemicelopsis													1	1
					Hemicelopsis													1	1	5127
	Hemicelopsis															3	3	704		
	Hemicelopsis															8	8	657		
	Hemicelopsis															35	22	892		
	Hemicelopsis															3	1	5128		
	Hemicelopsis															4	1	881		
	Hemicelopsis														5	5	1028			
	Hemicelopsis														147	107	994			
	Hemicelopsis														12	85	1001			
	Hemicelopsis													2	2	999				
	Hemicelopsis													3	4	1024				
	Hemicelopsis													4	4	1015				
	Hemicelopsis													2	2	972				
	Hemicelopsis													164	137	929				
	Hemicelopsis													37	62	809				
	Hemicelopsis													31	2	912				
	Hemicelopsis													20	20	914				
	Hemicelopsis													448	343	933				

Pr: HD / JP - Tr: DS
Df: HD - MSF: HD - Ind: HD

Abundance	298	106	98	380	246	211	67	309	124	181	58	352
Abundance relative	12,3%	4,4%	4,0%	15,6%	10,1%	8,7%	2,8%	12,7%	5,1%	7,4%	2,4%	14,5%
Variété	9	13	15	14	15	19	8	21	15	15	9	9
Variété relative	23,1%	33,3%	38,5%	35,9%	38,5%	48,7%	20,5%	53,8%	38,5%	38,5%	23,1%	23,1%

2 430	1 769
100%	100%
39	28
	20



Amont et aval Step Montbarrey

Annexe :

	ORDRE	Famille	Genre	Montbarrey	Montbarrey	Code Sandre		
				amont STEP	aval STEP			
				TOTAL	TOTAL			
				taxons	taxons			
INSECTES	PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Euleuctra</i>	6		67		
			<i>Leuctra</i>	4		69		
	EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	<i>Baetis</i>	11	64	9794		
			<i>Centroptilum</i>	8	1	383		
			<i>Cloëon</i>		1	387		
			<i>Caenidae</i>	<i>Caenis</i>	26	11	457	
			<i>Ephemerellidae</i>	<i>Serratella</i>	55	13	5152	
			<i>Ephemeridae</i>	<i>Ephemera</i>	2		502	
	TRICHOPTERES	<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Habrophlebia</i>	2		491		
			<i>Goeridae</i>	<i>Goera</i>	177		287	
			<i>Hydropsychidae</i>	<i>Hydropsyche</i>	48	13	212	
			<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>	4	3	200	
			<i>Lepidostomatidae</i>	<i>Lepidostoma</i>	9		305	
			<i>Leptoceridae</i>	<i>Athripsodes</i>	2		311	
				<i>Mystacides</i>	58		312	
				<i>Oecetis</i>	1		317	
			<i>Limnephilidae</i>	<i>Anabolia</i>		2	281	
				<i>Halesus</i>	3		3186	
				<i>Potamophylax</i>	2		3197	
				<i>Molannidae</i>	<i>Molannodes</i>	1		346
			<i>Psychomyiidae</i>	<i>Tinodes</i>	109		245	
				<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>	2		322
			COLEOPTERES	<i>Elmidae</i>	<i>Elmis</i>	62	1	618
	<i>Esolus</i>	91				619		
	<i>Limnius</i>	15				623		
	<i>Oulimnius</i>	101			18	622		
	<i>Halplidae</i>	<i>Halplus</i>			53	518		
		<i>Hydraenidae</i>		<i>Hydraena</i>	8	8	608	
	DIPTERES	<i>Hydrophilidae</i>		indéterminé		2	571	
				<i>Anthomyiidae</i>		24	847	
			<i>Ceratopogonidae</i>		1	3	819	
			<i>Chironomidae</i>		210	1157	807	
			<i>Empididae</i>		1		831	
			<i>Limoniidae</i>		5		757	
			<i>Simuliidae</i>			2	801	
			<i>Tabanidae</i>			1	837	
			<i>Tipulidae</i>			2	753	
			HÉTÉROPTERES	<i>Corixidae</i>	<i>Micronecta</i>	1		719
	<i>Gerris</i>	1			1	735		
	<i>Hydrometridae</i>	<i>Hydrometra</i>			1		740	
	<i>Notonectidae</i>	<i>Notonecta</i>			1		730	
	<i>Veliidae</i>	<i>Mesovelia</i>			1		742	
	LÉPIDOPTÈRES	<i>Crambidae</i>	<i>Acentria</i>		1	5127		
	MEGALOPTERES	<i>Sialidae</i>	<i>Sialis</i>	10	3	704		
	ODONATES	<i>Platycnemididae</i>	<i>Platycnemis</i>		8	657		
	CRUSTACÉS	AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>	1135	35	892	
	BRANCHIOPODES	<i>Conchostracés</i>		2	3	3126		
	ISOPODES	<i>Asellidae</i>	<i>Asellus</i>		4	881		
	MOLLUSQUES	GASTEROPODES	<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus</i>	95	5	1028	
			<i>Bithyniidae</i>	<i>Bithynia</i>	21	147	994	
			<i>Hydrobiidae</i>	<i>Potamopyrgus</i>	7		978	
			<i>Lymnaeidae</i>	<i>Galba</i>		12		1001
				<i>Lymnaea</i>		2		999
<i>Radix</i>				5	122	1004		
<i>Planorbidae</i>			<i>Planorbis</i>		3		1024	
			<i>Gyraulus</i>	2	4	1015		
<i>Valvatidae</i>			<i>Valvata</i>		1	972		
VERS			ACHETES	<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>	10	164	929
	<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Glossiphonia</i>		11	37	909		
		<i>Helobdella</i>			31	912		
		<i>Hemiclepsis</i>		2	20	914		
OLIGOCHETES			34	448	933			
HYDRACARIENS			1		906			

Abondance	2 364	2 430
Variété	47	39

Indices amont et aval Step Montbarrey

	Leue		Leue	
	Amont STEP Montbarrey		Aval STEP Montbarrey	
Calcul IBGN sur les 8 prélèvements de la norme :				
Variété taxonomique (classe) :	34	10	28	8
Taxon indicateur (GI) :	<i>Leuctridae</i>	7	<i>Hydroptilidae</i>	5
IBGN (/20) :	16		12	
Calcul de robustesse :				
Taxon indicateur (GI) :	<i>Goeridae</i>	7	<i>Hydropsychidae</i>	3
Robustesse IBGN' (/20) :	16		10	
Calcul Cb2 sur les 8 prélèvements de la norme :				
Variété taxonomique :	34		28	
Indice variété lv (/10) :	7,5		6,2	
Nombre total de taxons indicateurs n :	22		20	
Nombre de taxons indicateurs retenus k :	6		5	
kTaxons indicateurs (i) :	<i>Goeridae</i>	8	<i>Haliplidae</i>	6
	<i>Lepidostomatidae</i>	7	<i>Hydroptilidae</i>	6
	<i>Leuctridae</i>	6	<i>Elmidae</i>	5
	<i>Psychomyiidae</i>	6	<i>Hydraenidae</i>	5
	<i>Elmidae</i>	5	<i>Sialidae</i>	5
	<i>Hydraenidae</i>	5		
Indice nature ln (/10) :	7,5		6,5	
lv + ln :	14,9		12,7	
Cb2 (/20) (lv+ln±0,25):	15,0		12,5	
SUR LES 12 PRÉLÈVEMENTS :				
Abondance :	2 364		2 430	
Variété familiale :	38	112%	32	114%
Variété générique :	47		39	
Variété géné./Ab. Plécoptères :	2	10	0	0
Variété géné./Ab. Éphéméroptères :	6	104	5	90
Variété géné./Ab. Trichoptères :	12	416	3	18
Variété géné./Ab. Coléoptères :	5	277	5	82
Gains génériques et d'abondance selon protocole :				
Variété générique 8 pl (IBGN)	43		34	
Variété générique 12 pl (DCE)	47	1,093	39	1,147
Abondance 8 pl (IBGN)	1 473		1 769	
Abondance 12 pl (DCE)	2 364	1,605	2 430	1,374

Résultats des pêches électriques

Amont Step Montbarrey en 2013

Station : Amont STEP Octobre 2013

Espèce		Densité brute		Densité estimée		Pré- cision ±%	Efficacité		Cote d'abondance		
		num. nb/10ares	pond. kg/ha	num. nb/10ares	pond. kg/ha		1er pass %	2e pas %	num. sur 5	pond. sur 5	retenue sur 5
ABL	Ablette	22	3,9	22	3,9	0	100	0	0,1	1	0,1
BAF	Barbeau	4	0,3	4	0,3	0	100	0	1	1	1
BLN	Blageon	36	5,2	101	11,6	118	4	33	3	3	3
BOU	Bouvière	4	0,1	4	0,1	0	100	0	1	1	1
BRO	Brochet	4	6,9	4	6,9	0	100	0	2	1	1
CHE	Chevesne	250	246,3	304	295,9	23	56	59	5	5	5
GAR	Gardon	7	2	7	2	0	100	0	0,1	1	0,1
GOU	Goujon	246	29,2	250	29,5	3	84	91	4	4	4
HOT	Hotu	94	57,7	94	57,7	0	100	0	1	3	1
LOF	Loche franche	514	14	514	14	0	98	100	3	2	2
PSR	Pseudorasbora	11	0,4	11	0,4	0	67	100	1	5	1
SPI	Spirilin	322	16,4	355	18,5	11	68	71	5	5	5
TRF	Truite	43	13,6	43	13,6	0	92	100	1	1	1
VAI	Vairon	706	19,7	1032	26,3	27	43	44	4	5	4
VAN	Vandoise	148	79,8	148	79,8	0	90	100	4	4	4
TOTAL		2411	415,7	2893	554						

Aval Step Montbarrey en 2013

Station : Aval STEP Octobre 2013

Espèce		Densité brute		Densité estimée		Pré- cision ±%	Efficacité		Cote d'abondance		
		num. nb/10ares	pond. kg/ha	num. nb/10ares	pond. kg/ha		1er pass %	2e pas %	num. sur 5	pond. sur 5	retenue sur 5
ABL	Ablette	19	3,1	19	3,1	0	100	0	0,1	1	0,1
BLN	Blageon	51	10,6	51	10,6	0	84	100	2	3	2
CHE	Chevesne	184	143,7	184	143,7	0	90	100	4	4	4
GAR	Gardon	8	2,7	8	2,7	0	67	100	0,1	1	0,1
GOU	Goujon	495	32	535	34,3	7	72	73	5	4	4
HOT	Hotu	8	5,1	8	5,1	0	67	100	0,1	1	0,1
LOF	Loche franche	435	8,7	711	13,4	38	37	39	3	2	2
PSR	Pseudorasbora	5	0,2	5	0,2	0	0	100	1	4	1
SPI	Spirilin	59	4,2	59	4,2	0	91	100	5	5	5
VAI	Vairon	1603	29,3	1827	34,3	6	65	65	5	4	4
VAN	Vandoise	195	121,4	195	121,4	0	94	100	4	5	4
TOTAL		3062	239,7	3602	373,1						

Amont Step Montbarrey en 2014

DONNEES ELABOREES - Non estimé

ESPECE	EFFECTIF				Eff.	Effectif estimé	DENSITE		BIOMASSE		IC à 5%	CAN	CAP	CAR
	P1	P2	P3	P4			Ind/10a	Relative	kg/Ha	Relative				
BLN	2	1	-	-	0,67	3	8,3	0,41%	1,7	1,31%	0	1	1	1
CHE	22	4	-	-	0,85	27	75,0	3,72%	53,4	41,17%	2,7	3	3	3
GAR	2	-	-	-	1,00	2	5,6	0,28%	3,2	2,47%	0	0,1	1	0,1
GOU	27	8	-	-	0,77	38	105,6	5,24%	14,1	10,87%	6,9	2	3	2
LOF	155	74	-	-	0,68	297	825,0	40,97%	15,1	11,64%	51,9	4	2	2
SPI	27	10	-	-	0,73	43	119,4	5,93%	5,7	4,39%	11,1	5	5	5
TRF	10	4	-	-	0,71	17	47,2	2,34%	19,5	15,03%	8,1	1	1	1
VAI	183	114	-	-	0,62	297	825,0	40,97%	15,9	12,26%	0	4	3	3
VAN	1	-	-	-	1,00	1	2,8	0,14%	1,1	0,85%	0	0,1	1	0,1
TOTAL	429	215	0	0	0,78	725	2013,9	100,00%	129,70	100,00%				

La qualité physique à l'échelle du tronçon

Protocole

Contrairement aux approches physico-chimiques ou biologiques suffisamment pratiquées pour qu'aient pu être définis des protocoles d'échantillonnage normalisés et des référentiels interprétatifs, la détermination de la qualité physique des cours d'eau n'en est qu'à ses balbutiements. Sur la dizaine de méthodes expérimentales recensées au niveau national, la méthode retenue présente plusieurs avantages majeurs :

- 1 Parmi l'ensemble des **échelles d'actions emboîtées**, elle privilégie celles du tronçon fonctionnel, de la station et du faciès, dont la prise en compte simultanée sanctionne les variations des différents ressorts de la qualité physique déterminant les capacités biogènes.
- 2 Elle fournit des résultats qui sont interprétés par rapport à une **référence** propre permettant de démêler l'importance relative des pressions anthropiques et des limites naturelles du potentiel.
- 3 Sa **portée globale, doublée d'une orientation piscicole marquée**, la rend particulièrement adaptée à la problématique posée.
- 4 Sa capacité à **quantifier** un état et à en **différencier les causes** permet d'exploiter les résultats obtenus dans le triple cadre du diagnostic initial, de la définition des remèdes et de l'évaluation objective, après travaux, de l'impact des actions entreprises.

La mise en œuvre de cette méthode commence par la sectorisation du cours d'eau qui est découpé en tronçons. Puis la capacité biogène de chacune de ces unités est caractérisée par la description des 4 composantes fondamentales de la qualité physique telle qu'elle est peut être définie à notre échelle de travail : l'hétérogénéité du lit d'étiage, son attractivité, sa stabilité et sa connectivité avec les autres compartiments du corridor fluvial (fig. 1). Enfin, les éléments favorables et défavorables recensés sont quantifiés et des scores synthétiques peuvent être calculés.

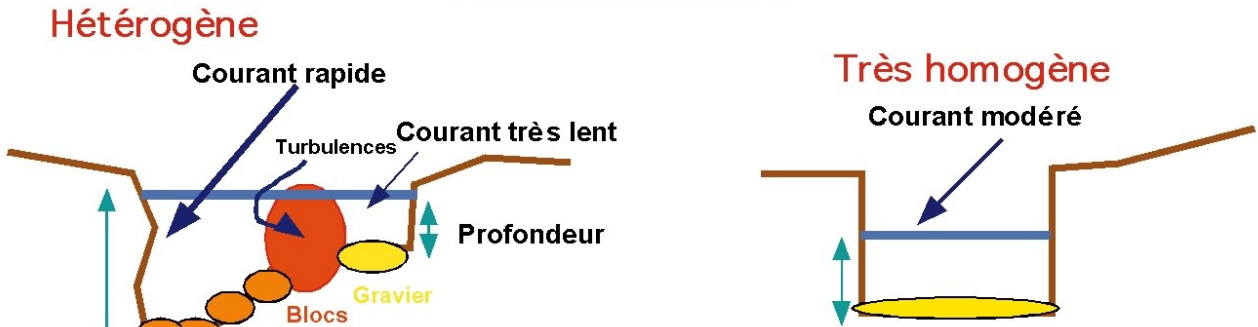
Sectorisation

La sectorisation du cours d'eau consiste à découper la rivière en tronçons mesurant de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres de long. Ces unités délimitent des secteurs homogènes sur les plans géomorphologiques (pente, forme du lit, nature du substratum,...) et habitationnels (qualité des substrats, diversité des vitesses du courant et des profondeurs), ainsi qu'en termes d'état dynamique (érosion, sédimentation, état des berges) et de degré d'artificialisation (aménagements structurants en particulier).

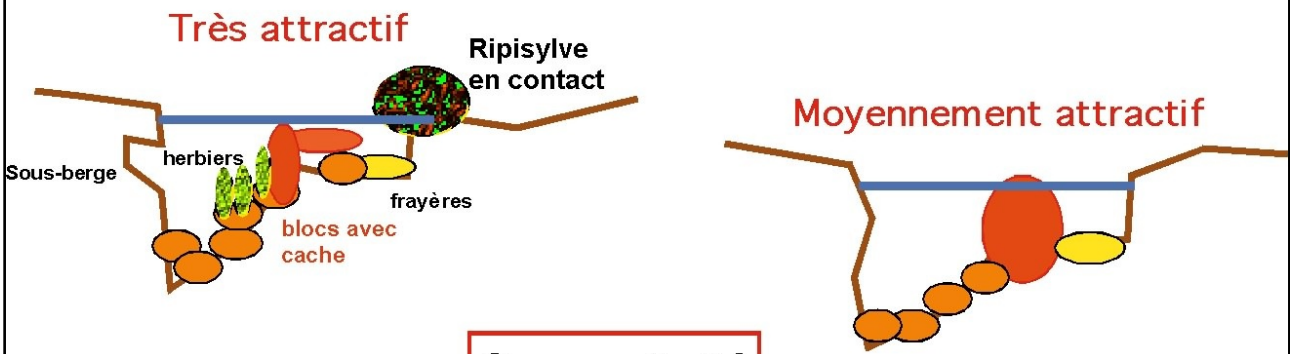
Ce découpage en tronçons est basé sur l'étude des cartes IGN 1/25 000^e et géologique (pente, dimension et forme du lit, sinuosité, changement de substratum ...). La sectorisation est généralement affinée lors des relevés de terrain.

Illustration sommaire de la définition des 4 composantes de la qualité physique des cours d'eau

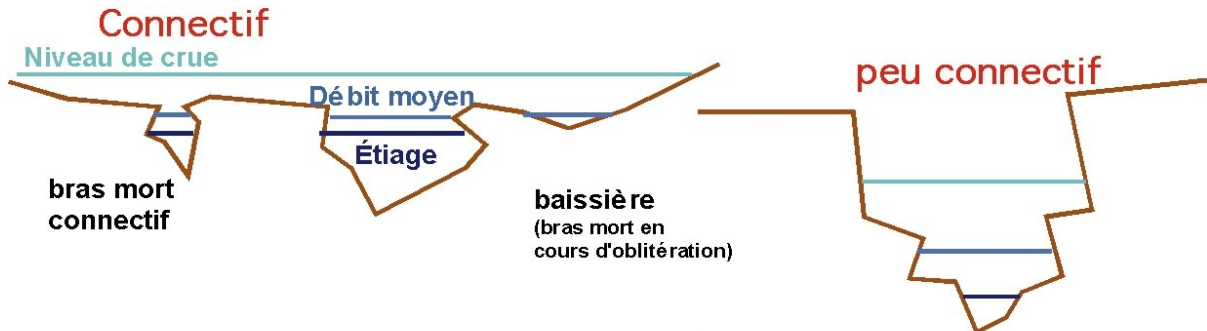
Hétérogénéité



Attractivité



Connectivité



Stabilité

Figures d'érosion >> dépôts

Figures d'érosion # dépôts

Figures d'érosion << dépôts

INSTABILITÉ

ÉQUILIBRE

COLMATAGE

Modalités pratiques de description standard des tronçons

Chaque tronçon fait ensuite l'objet sur des séquences type de faciès d'une description standard fondée sur des mesures de terrain opérées à l'aide d'une grille normalisée. Dans ce cadre, l'hétérogénéité et l'attractivité biogène sont appréhendées à partir de descripteurs et de métriques divers, dont le linéaire de chaque faciès d'écoulement, la quantité des différents abris et caches rencontrés, la largeur du lit mineur et de la lame d'eau, les profondeurs minimales et maximales rencontrées, la présence d'affluents, ...

Parallèlement, l'appréciation de l'état dynamique est réalisée par la même approche à l'aide de plusieurs descripteurs, dont le nombre de seuils d'érosion régressive, le linéaire de berges stables et instables, la hauteur d'incision, le type de substratum, ... Les relevés de terrain doivent, autant que possible, être réalisés en étiage estival, période durant laquelle la visibilité du fond et des substrats est la meilleure, où la végétation aquatique est bien développée et où les conditions limitantes apparaissent le mieux.

Chiffrage des 4 composantes pour chaque tronçon

Les données récoltées sur le terrain sont intégrées dans le calcul de scores et de notes destinées à faciliter leur interprétation. Ces relevés sont obtenus de façon exhaustive ou à partie des séquences représentatives du tronçon. La localisation des séquences et les fiches de terrain figurent dans les cartes 1 à 10 et les annexes 1 à 3. Pour chaque tronçon, les 4 composantes fondamentales de qualité physique sont appréciées à l'aide de scores différents :

- 1 Le **score d'hétérogénéité** sanctionne le degré de variété des formes, des substrats/supports, des vitesses de courant et des hauteurs d'eau du lit d'étiage ; plus ce score est élevé, plus les ressources physiques sont diversifiées.
- 2 Le **score d'attractivité** intègre la qualité des substrats (= intérêt global des substrats/supports pour les poissons), la qualité et la quantité des caches et des abris ainsi que l'existence et la variété des frayères.
- 3 Le **score de connectivité** caractérise la fonctionnalité de la zone inondable ainsi que la fréquence des contacts entre la rivière et les interfaces emboîtées que constituent la ripisylve et le lit "moyen" ; il apprécie également le degré de compartimentage longitudinal par les barrages et les seuils, ainsi que les possibilités de circulation des poissons migrateurs ou "sédentaires".
- 4 Le **score de stabilité** des berges et du lit traduit l'importance des érosions régressives (fréquence des seuils), progressive et latérale (proportion de méandres instables), de l'état des berges (degré d'érosion), de l'incision, ...
- 5 Le **score de qualité physique globale**, qui associe les scores obtenus pour chacune des 4 composantes de base.

Évidemment, les 4 composantes ne sont pas indépendantes : elles interfèrent largement les unes sur les autres, sans toutefois être redondantes. En outre, les 3 premiers scores sont relatifs, et doivent être comparés avec ceux qui sont obtenus sur l'ensemble des tronçons.

L'interprétation peut être fondée sur les notes obtenues sur un secteur " référentiel " ou " sub-référentiel " présentant une qualité physique intacte dont témoignent des peuplements et des populations piscicoles de bonne qualité (en relation avec le niveau typologique auquel le secteur de référence peut être rattaché). Toutefois, la démarche idéale consiste, lorsque les données existent, à pouvoir évaluer le degré d'altération de chaque tronçon d'après l'évolution historique de sa qualité physique.

Dans cet esprit, chaque composante est définie par 5 classes de A à E. La classe supérieure – **A** – répond en fait à une situation conforme pour le paramètre étudié et ne correspond pas nécessairement à une condition optimale.

Classe A : situation conforme, qualité normale à bonne,

Classe B : qualité assez bonne à moyenne,

Classe C : qualité défailante,

Classe D : qualité très défailante,

Classe E : qualité très problématique.

Hétérogénéité H sur 111	Attractivité A sur 90	Connectivité C sur 130	Stabilité S. de - 60 à + 40	Qualité Physique (QP) (H + A) x C x K sur 30 600
A > 50	A > 45	A > 65	Sédimentation > +10	A > 6 500
B 40 - 50	B 34 - 45	B 49 - 65	Équilibre -10 / +10	B 3 500 - 6 500
C 28 - 40	C 23 - 34	C 33 - 49	Érosion -25 / -10	C 1 500 - 3 500
D 14 - 28	D 11 - 23	D 16 - 33	Forte érosion -60 / -25	D 400 - 1 500
E < 14	E < 11	E < 16	S détermine le coefficient de stabilité, dont la valeur dépend de l'hétérogénéité	E < 400

Valeurs prises par le coefficient de stabilité K en fonction de l'Hétérogénéité du tronçon				
<i>Si la valeur du score de stabilité S est</i>	$-60 < S < -26$	$-25 < S < -11$	$-10 < S < 9$	$10 < S < 40$
<i>Et si le milieu est hétérogène (H > 50)</i>	K = 0,85	K = 1	K = 1,25	K = 0,75
<i>Et si le milieu est homogène (H < 50)</i>	K = 0,85	K = 1	K = 0,85	K = 0,75

Limites des classes retenues pour les différents scores de la qualité physique

Scores de l'hétérogénéité

HETEROGENEITE de la Leue aval

Trç	Séquence de faciès	Nb seq étudiées	Lin seqs et m	Nb seq tot	Lin trç m (avec bras)	Lin trç m (sans bras)	Long axiale	Développ linéaire =lin (bras) / long.ax	SCORE	Sinusité =lin / long.ax	SCORE	nb tc diff	SCORE	DivFc = S((sc * log10(fc)) / (100*log(100m)))ln	SCORE	I. min m	I. max m	lx/n	SCORE	H. min cm	H. max cm	Cl Hx - Cl Hn	SCORE	
La Leue terminale	Leue Trç A	À SEC				20	20																	
	Leue Trç B	Pla - Mou	2	58	11	340	310	264	1,29	0	1,17	2	2	1	0,50	2	3,1	6,8	2,2	5	10	50	1	1
	Leu Trç C	À SEC					89	88																
	Leue Trç D	Pla - Rad - Mou	2	91	8	343	343	321	1,07	0	1,07	1	3	3	0,35	5	0,8	6,5	8,1	10	3	50	2	5
	Leue Trç E	Pla - Rad	3	106	20	707	707	693	1,02	0	1,02	0	2	1	0,56	1	3,5	5,2	1,5	2	4	30	2	5
	Leue Trç F	Mou	1	48	1	48	48	48	1,00	0	1,00	0	1	0	1,00	0	25,0	28,0	1,1	1	140	160	1	1
	Leue Trç G	Pla - Mou	1	50	16	820	820	786	1,04	0	1,04	0	2	1	0,50	2	4,0	5,7	1,4	2	25	110	1	1
Trç	V. min m/s	V. max m/s	Clx - Clvn	SCORE	S1	S2	D(S)	SCORE	Nb de S1	SCORE	L. min m	L. max m	LxLn	SCORE	nb Sy lat / Trç	nb Sy lat / nb/seq	SCORE	OBR(%)	SCORE	TOTAL /111	CLASSE			
La Leue terminale	Leue Trç A	0	0	0	0	Fno	Gls	3	3	1	0	4,0	7,0	1,8	7	2	0,19	3	19	5	25	À SEC		
	Leue Trç B	0	0	0	0																	D		
	Leu Trç C	0	0	0	0																	À SEC		
	Leue Trç D	0	40	1	1	Gls	Grs	1	1	2	1	2,5	7,0	2,8	10	0	0,00	0	22	7	38	C		
	Leue Trç E	0	40	1	1	Gls	Grs	1	1	1	0	3,6	5,3	1,5	5	0	0,00	0	17	5	17	D		
	Leue Trç F	0	0	0	0	Fno	Hel	1	1	2	1	25,0	28,0	1,1	1	0	0,00	0	15	5	6	E		
	Leue Trç G	0	0	0	0	Gal	Gra	1	1	1	0	4,2	5,8	1,4	4	0	0,00	0	33	7	12	E		

TELEOS suisse

A >50 B 40-50 C 28-40 D 14-28 E <14

Scores de l'attractivité

ATTRACTIVITE de la Leue aval

Trç	Lin Che m	Lin Che %	SCORE	Sc Che Pond	SCORE	Sc lat S	Sc lat sc/seq	SCORE	Typ Fra 1 nat	SCORE	nb typ Fra	SCORE	S1 nat	IAM/10	S2 nat	IAM/10	TOTAL /90	CLASSE			
La Leue terminale	Leue Trç A																	À SEC			
	Leue Trç B	24	41	6	21,5	37	3	2	0,19	1	Hel	4	1	1	Fno	0	Gls	2	26	C	
	Leu Trç C																				À SEC
	Leue Trç D	22	24	5	11,5	13	1	0	0,00	0	Gal	0	1	1	Gls	2	Grs	1	16	D	
	Leue Trç E	45	42	7	22,5	21	2	0	0,00	0	Gal	2	1	1	Gls	2	Grs	1	24	C	
	Leue Trç F	58	121	10	98	204	10	0	0,00	0	Hel	4	1	1	Fno	0	Hel	4	49	A	
	Leue Trç G	35	70	10	30	60	5	0	0,00	0	Gal	3	1	1	Gal	5	Gra	2	41	B	

TELEOS suisse

A >45 B 34-45 C 23-34 D 11-23 E <11

Scores de la connectivité

CONNECTIVITE / INTERFACES de la Leue aval

Trç	Nb m	SCORE	Rp %lin	SCORE	Rp c %lin	SCORE	Fig H %lin	SCORE	Fig h c %lin	SCORE	disap crue	SCORE	Fonct Lmoy	SCORE	nb Sys lat / trç	nb Sys lat / seq	SCORE	sc Sys lat / trç	Sc lat / seq	SCORE	Nb obstacle / Trç	SCORE	Nb infranc / Trç	SCORE	SCORE Sc fran aM	SCORE Sc fran aV	TOTAL /130	CLASSE	
La Leue terminale	Leue Trç A																										À SEC		
	Leue Trç B	1,31	3	10	3	7	3	100	10	5	2	0	0	Non Fonct	1	2	0,19	3	10	0,94	4	0	10	0	10	10	10	48	C
	Leu Trç C																										À SEC		
	Leue Trç D	1,41	3	12	5	0	0	100	10	48	7	0	0	Non Fonct	1	0	0,00	0	0	0,00	0	0	10	0	10	10	10	45	C
	Leue Trç E	1,59	3	16	5	0	0	93	10	59	7	0	0	Non Fonct	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	10	0	10	10	10	44	C
	Leue Trç F	1,80	3	60	7	15	4	100	10	20	5	0	0	Non Fonct	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	10	0	10	10	10	48	C
	Leue Trç G	1,80	3	10	3	0	0	100	10	80	10	0	0	Non Fonct	0	0	0,00	0	0	0,00	0	1	7	1	1	10	3	40	C

TELEOS suisse

A >65 B 49-65 C 33-49 D 16-33 E <16



Scores de la stabilité

STABILITE de la Leue aval

Trç	S1 mine	SCORE	S2 mine	SCORE	lmin	Lmax	Lmx/lmn	SCORE	LMOY	SCORE	Sc éros sc	SCORE	Sc séd sc	SCORE	h. Inc. cm	SCORE	Sc.Brge sc	SCORE	TOTAL -60 / 40	CLASSE			
											=S(lmseq*sc*100)		=S(lmseq*sc*100)				=S(lmseq*sc*100)		=Moy(S1.S2)+(Lj)+Lmoy+E*+Inc+E*brg+(3*S)				
La Leue terminale	Leue Trç A																				À SEC		
	Leue Trç B	Fno	10	Gls	0	3,1	7,0	2,3	-1	Non Funct	-9	0	0	138	238	10	0	0	0	0	25	sédimentation	
	Leue Trç C																					À SEC	
	Leue Trç D	Gls	0	Grs	3	0,8	7,0	8,8	-5	Non Funct	-9	12	13	-2	27	30	3	15	-1	0	0	-7	équilibre
	Leue Trç E	Gls	0	Grs	3	3,5	5,3	1,5	0	Non Funct	-10	0	0	0	50	47	4	15	-1	0	0	3	équilibre
	Leue Trç F	Fno	10	Grs	3	25,0	28,0	1,1	0	Non Funct	-10	0	0	0	45	94	5	10	-1	0	0	11	sédimentation
	Leue Trç G	Gal	0	Gra	3	4,0	5,8	1,5	0	Non Funct	-10	0	0	0	0	0	0	10	-1	0	0	-10	équilibre

TELEOS suisse

Sédimentation >10 | Equilibre -10/10 | Erosion -25/-10 | Forte érc -60/-25

Tableau récapitulatif des différents scores

SCORES DE LA QUALITE PHYSIQUE de la Leue aval

Trç	Linéaire (m)	Score Hétérogénéité /111	Classe	Score Attractivité /90	Classe	Score Connectivité /130	Classe	Score Stabilité -60 / 40	Classe	Coef stab* 0,75 / 1,25	Qualité physique /30600	Classes	
La Leue terminale	Leue Trç A	20										À SEC	
	Leue Trç B	310	25	D	26	C	48	C	25	sédimentation	0,75	1 836	C
	Leue Trç C	89										À SEC	
	Leue Trç D	343	38	C	16	D	45	C	-7	équilibre	0,85	2 066	C
	Leue Trç E	707	17	D	24	C	44	C	3	équilibre	0,85	1 533	C
	Leue Trç F	48	6	E	49	A	48	C	11	sédimentation	0,75	1 980	C
	Leue Trç G	820	12	E	41	B	40	C	-10	équilibre	0,85	1 802	C

TELEOS suisse

=(Hét+Att)*Conn*Coef.stab

A	>50	> 45	> 65	>10	Sédimentation	> 6500
B	40 - 50	34 - 45	49 - 65	-10 / 10	Equilibre	3500 - 6500
C	28 - 40	23 - 34	33 - 49	-25 / -10	Erosion	1500 - 3500
D	14 - 28	11 - 23	16 - 33	-60 / -25	Forte érosion	400 - 1500
E	< 14	< 11	< 16			< 400

*Coefficient de stabilité :

STABILITE	10 / 40	10 / -10	-10 / -25	-25 / -60
Si Hétérogène (>50)	X 0,75	X 1,25	X 1	X 0,85
Si Homogène (<50)	X 0,75	X 0,85	X 1	X 0,85

TELEOS suisse

	Hétérogénéité	Attractivité	Connectivité	Stabilité	QP trç	
A	0	0%	48	2%	0	0%
B	0	0%	820	35%	0	0%
C	343	15%	1 017	44%	2 228	95%
D	1 017	44%	343	15%	0	0%
E	868	37%	0	0%	0	0%
à sec	109	5%	109	5%	109	5%
	2 337		2 337		2 337	

Analyse standard des mosaïques d'habitats par l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM)

Protocole CSP 1994 – Teleos 2000 – Teleos 2002.

Problématique et concepts

La méthode utilisée est fondée sur une analyse cartographique standard des mosaïques de substrats/supports, de hauteurs d'eau et de vitesses de courant. Mise au point par la DR 5 du CSP (1994–1996), puis finalisée par TELEOS (1999-2003), cette approche fournit des images comparables de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène d'un cours d'eau à l'échelle de la station. A qualité d'eau et niveau trophique égaux, les capacités piscicoles d'un site d'eau courante sont en effet déterminées par la diversité et la qualité des combinaisons de hauteurs d'eau, de vitesses de courant et de substrats/supports.

La démarche diagnostique utilisée consiste à réaliser une cartographie codifiée de chacune de ces composantes de la qualité physique, puis de considérer leur combinaison. Les compositions des différentes mosaïques et de leur superposition peuvent ainsi être appréciées et confrontées d'une station à l'autre.

Les limites des classes d'hétérogénéité de chaque composante ont été déterminées statistiquement. Leur combinaison définit des zones d'attraction différentielle vis-à-vis des poissons : elles sont appelées "pôles d'attraction". Cette notion intègre l'aspect dynamique de l'intérêt offert par un habitat pour l'ensemble des espèces.

Les capacités piscicoles associées à la structure physique d'une station sont chiffrées globalement et non pas reconstituées placette par placette, ni fondées sur la définition de préférences spécifiques associées séparément à chaque descripteur fondamental (substrat, profondeur, vitesse). Leur évaluation diffère donc au plan conceptuel de celle qui est obtenue par la mise en œuvre de la méthode des "micro-habitats" ou de ses dérivés.

Fondements de la méthode

Suivant cette optique, les 3 composantes fondamentales de l'habitat aquatique sont analysées simultanément. On découpe en fait l'espace potamique en zones homogènes au point de vue à la fois de la **hauteur d'eau**, de la **vitesse**, et du **couple substrat/support**. Ces différentes catégories de structures spatiales sont appréciées à une échelle globale, en transformant les mesures métriques en classes de valeur biologique dont les seuils ont été déterminés statistiquement.

1) Dans un 1^{er} temps, les **hauteurs d'eau** (respectivement : **les vitesses de courant**) sont mesurées au centimètre (resp. : au centimètre/seconde) sur des transects qui servent à tracer des courbes bathymétriques d'équidistance 5 cm (resp. d'iso vitesses d'équidistance 5 cm/s). Ces documents graphiques sont alors transformés en cartes des zones de profondeur (resp. : de vitesse) d'intérêt ichtyologique différentiel. Pour cela les valeurs métriques sont regroupées en classes significatives pour le poisson : les limites de ces classes ont été déterminées statistiquement à partir de la répartition spatiale instantanée des poissons enregistrée sur une centaine de stations (60 cours d'eau, MORILLAS 1994).

Simultanément, l'espace fluvial est découpé en placettes homogènes au point de vue des **substrats** (granulométrie) et des **supports** (végétation, caches...). En cas de configuration hétérogène, c'est le support ou le substrat le plus attractif vis-à-vis de l'ichtyofaune qui est pris en compte. La hiérarchisation de l'attractivité a elle aussi été déterminée statistiquement.

- 2) Dans un 2^e temps, l'intersection de ces 3 niveaux d'information permet de tracer la **cartographie des pôles d'attraction**. Ces entités spatiales composites expliquent de façon dynamique la répartition spatiale des poissons à l'échelle de l'habitat et donc déterminent la part du potentiel de production liée à celui-ci à l'échelle de la station.
- 3) Dans un 3^e temps, le comptage des différentes catégories de descripteurs et de leurs surfaces relatives constitue une mesure de l'hétérogénéité de la station. Parallèlement, la pondération de la **représentativité** de chaque pôle par son coefficient d'attractivité apprécie le degré d'hospitalité qualitative du cours d'eau à l'endroit considéré.

Les **faciès** ne sont pas intégrés dans la définition de ces pôles, car cette description correspond à une échelle plus globale (un faciès se compose de plusieurs pôles). Cependant, afin de **relier les 2 échelles de travail entre elles**, les faciès rencontrés sur la station cartographiés puis confrontés avec la séquence de succession type des faciès présentés par le cours d'eau, sur un même tronçon fonctionnel.

Cette description complémentaire est nécessaire pour vérifier la bonne représentativité du tronçon cartographié vis-à-vis de ce tronçon. En outre, elle permet d'apprécier les interférences entre échelles emboîtées. Les faciès bien représentés qui n'appartiennent pas à la station pêchée pour diverses raisons (techniques, matérielles, financières...) seront indiqués et les interprétations devront en tenir compte.

Modalités pratiques

Pour pouvoir comparer différentes stations d'un même cours d'eau entre elles ou en mesurer l'évolution temporelle, il est important de **standardiser** les modalités pratiques de relevés de terrain et de cartographie. Avant tout, **les descriptions se font en été** (périodes de développement des herbiers), durant **l'étiage moyen** (facteur limitant).

Toutefois, pour certains cours d'eau ou pour certaines problématiques, une description complémentaire pourra être réalisée pour le débit à pleins bords ou /et pour une crue de fréquence annuelle ou/et en étiage d'hiver. Lors de mesures réalisées pour des débits importants, la cartographie est simplement réajustée à partir des relevés réalisés en étiage (hauteurs d'eau et vitesses mesurées de nouveau mais substrats inchangés sauf pour les bordures). Pour chaque cartographie, 4 séries de mesures et de dessins sont réalisées en découpant la station en placettes homogènes pour le descripteur considéré (vitesses du courant, hauteurs d'eau, substrats et supports, pôles d'attraction).

Sur le terrain, les vitesses et les hauteurs d'eau sont mesurées et repérées sur des transects à l'aide d'une jauge graduée, d'un courantomètre et de plusieurs décamètres. Des lignes d'iso vitesses et d'isop profondeurs sont alors tracées par intrapolation entre les différents transects : si besoin, les limites de zones obtenues sont vérifiées par des mesures ponctuelles complémentaires. Les placettes associées aux différents substrats/supports dont l'attractivité est hiérarchisée sont métrées à l'aide d'un topofil et représentée exhaustivement.

Définition des faciès

Les faciès sont des zones homogènes définies par la **forme globale** du lit (chenal ou annexes, dénivelé, courbure...), la **dominante des vitesses de courant** et la **hauteur modale** de la tranche d'eau au centre du chenal.

Description du substrat-support

La station est ensuite découpée en placettes d'une surface supérieure à 1 mètre carré ou $0,1.l^2$, l étant la largeur de la lame d'eau, **homogène** en ce qui concerne les substrats - supports. La plupart du temps, seul l'élément le plus attractif relevé sur une placette est noté. En cas de substrats/supports composites, la hiérarchisation indiquée ci-dessous permet de choisir la dominante. Un substrat/support secondaire ou une indication d'altération de l'attractivité peut cependant être ajouté (cf. ci-dessous).

* *Hiérarchisation des substrats :*

La hiérarchisation est effectuée à partir du degré d'attractivité exercé sur l'ichtyofaune. Cette « hospitalité » différentielle est considérée pour différents écostades, différentes espèces, différentes exigences de chaque espace (nutrition, reproduction, caches/abri, circulation/transition...). Suivant cette optique, c'est surtout la **taille des anfractuosités** servant de support ou de cache aux poissons (ainsi qu'à leur nourriture) qui est prise en compte : ainsi on met sur le même plan, branchage, hydrophytes non colmatés et sous-berges. Toutefois, les hydrophytes et dans une moindre mesure les branchages présentent un attrait supplémentaire comme support de fraie et de nutrition.

1° **Hydrophytes (HYI)** : végétaux aquatiques ou amphiphytes noyés à tige souple habitat encombré dans la masse d'eau, avec des coulées d'importance décimétrique.

2° **Branchages immergés (BRA)** : amas de branchages, arbres tombés ou s'avancant dans l'eau ou réseaux de racines de gros diamètre. Substrat considéré comme étant le plus attractif.

3° **Sous-berge (BER)** : abri creusé sous une berge en terre, créé par une cavité sous des racines immergées, faille dans une paroi rocheuse, ou cache dans les bancs de tufs fracturés (même loin du bord). Cette anfruosité doit réellement constituer un abri contre le courant et non pas un simple marche pied.

4° **Blocs (BLO)** : granulats d'une taille supérieure à 20 cm et offrant une cache assez importante. Si un bloc est posé sur du sable ou dégagé par une érosion active, il n'offre plus la même qualité d'abri, il n'est pas noté comme bloc (blo) mais comme bloc sans anfruosité (bls).

5° **Hydrophytes à feuilles flottantes (HYF)** : végétaux aquatiques noyés à feuilles flottantes (nénuphars, potamots...) formant un couvert horizontal, mais ne constituant pas un habitat très encombré dans la masse d'eau.

6° **Hélophytes (HEL)** : végétaux à tige ligneuse immergés en partie : densification d'éléments verticaux d'écartement centimétrique à pluri-centimétrique.

7° **Blocs sans anfruosité (BLS)** : blocs posés sur le sable ou dégagés par l'érosion : il n'y a pas de caches proprement dites mais des zones de turbulence encore attractives pour le poisson.

8° **Végétations aquatiques rases (CHV)** : tous supports végétaux de faible hauteur offrant des vides de taille relativement réduite (importance centimétrique) mais très nombreuses (système de racines de petite taille, bryophytes ou autres végétaux hydrophytes ou amphiphytes en début de croissance...)

9° **Galets (GAL)**, taille 2 à 20 cm : anfractuosités d'ordre centimétrique, non colmatées.

10° **Galets et graviers mélangés (GGR)**, taille 0,2 à 20 cm.

11° **Graviers (GRA)** : taille 0,2 à 2 cm : anfractuosité d'ordre millimétrique.

12° **Sable (SAB)** : taille 0,2 à 2 mm.

13° ** l ments fins (FNM ou FNO)** : minéral ou organique granulométrie inférieure à 2 mm, substrat n'offrant aucun abri (vase, limon...), mais éventuellement des ressources alimentaires.

14° **Dalle (DAL)** : substrat dur horizontal ou vertical n'offrant aucun abri (roche, marne, surface artificielle jointive, palplanche ...) et peu ou pas de ressources alimentaires.

15° **Substrats particuliers** : lorsque la problématique de l'étude impose une description plus fine des supports végétaux (ex : cartographie des zones de frayère des espèces recherchant spécifiquement certains types de végétation...) ou lors de cartographie de stations particulières (ex : baiss re en zone inondable avec une végétation de prairie terrestre...) des substrats supplémentaires peuvent être ajoutés, en particulier "Prairie immergée" (**PRA**) correspondant à une végétation terrestre graminée.

** Choix du nombre de substrats :*

Les principes de descriptions proposés doivent parfois être modulés en fonction des caractéristiques de la rivière, des espèces présentes, de la précision des relevés... Cependant, le principe de travail fondamental est le suivant : **on indique un seul substrat lorsque l'un des deux substrats possède une attractivité nettement plus faible que l'autre** (HYI/fin ou BLO/GRA sont ainsi notés HYI ou BLO dans la plupart des cas). Un substrat secondaire devra être précisé suivant les règles suivantes :

1° Le **substrat le plus attractif** relevé sur une placette est considéré comme étant le substrat principal ou le substrat unique s'il représente au moins **25%** de la surface ou de l'encombrement spatial. Sinon, il est noté en substrat secondaire tandis que le support dominant est indiqué en substrat principal, même si ce n'est pas le plus attractif.

2° On indiquera également deux substrats lorsque la dimension des caches ou vides caractéristiques de ces substrats est très différente et n'intéresse pas les mêmes poissons (ou même  costades).

Exemples : les racines regroupant à la fois un substrat du type chevelu racinaire et une sous-berge seront notées comme "ber" en substrat principal et comme "chv" en substrat secondaire : les chabots trouveront refuge dans les petites racines, tandis que les chevaines, truites, perches... utiliseront la sous- berge. De la même manière, les zones mixtes de blocs/galets peuvent intéresser les truites, barbeaux, chevaines (dans les blocs) et les loches, chabots (dans les galets). Un substrat mixte composé principalement de petites racines, de sous-berges et branchages associés est noté "chv /bra" : chv en tant que support dominant en proportion, de nature très différente de bra ou ber (taille des vides) et bra car ce substrat est plus attractif que ber. Tuf fracturé formant des caches et bryophytes = ber/chv.

3° Enfin lorsqu'un substrat **ne dépassant pas 75 %** de surface par placette demeure systématiquement moins attractif que le substrat conjoint (exemple sable à 40% ou 60% avec galets, graviers, blocs...) mais qu'il n'apparaît jamais en substrat "pur" ou principal (>25%), il passe substrat principal sur une fraction des placettes composites proportionnelle. Sa représentativité est appréciée empiriquement.

** Altération ou modification de l'attractivité*

Epaississement spatial, densification (suffixe "D"   la place de la troisième lettre) Une indication de densité d'encombrement de l'habitat est utilisée pour préciser la description des supports végétaux lorsqu'ils sont fermés par une densification qui semble pénalisante pour la circulation et la vie du poisson.

Par exemple, herbier à Cératophylles très serré, envahissant et encroûté, les herbiers d'Élodée du Canada, noté HYD, ou roselière très dense et fermée notée HLD. *A contrario*, des hélophytes très épars ou des herbiers clairsemés sur fond nus sont notés hle ou hye.

Algues filamenteuses (alg) : lorsque les algues colmatent un habitat, celles-ci sont indiquées en substrat secondaire uniquement en raison des cycles de développement très rapide de ces végétaux et pour rendre comparable les cartographies.

La mention supplémentaire "alg" ne sera indiquée que lorsque le développement des algues filamenteuses est visiblement **anormal** et qu'il pénalise l'habitabilité d'un substrat en colmatant les anfractuosités ; ce colmatage est par définition variable suivant les saisons (cf. Cycle de développement des algues filamenteuses).

Éléments colmatant (col) : lorsque des éléments fins colmatent un habitat ceux-ci sont indiqués en substrat secondaire uniquement de la même manière que pour les algues, afin de différencier les zones de sédimentation naturelle des secteurs qui voient leur habitabilité potentielle réduite par des pollutions physiques ou organiques.

Soit les éléments fins constituent le substrat normal et unique de la placette en zone de sédimentation : **un seul substrat** est noté (fin) ; soit le colmatage par des éléments fins rend le substrat sous-jacent inutilisable par les poissons : le **substrat sous-jacent** est alors indiqué **associé** à la mention "col" pour indiquer la pollution par des matières en suspension. Cette notation permet de différencier les zones où les phénomènes de sédimentation sont naturels des secteurs qui voient leur habitabilité altérée.

Pavage des galets et des blocs (bls, gls) : lorsque des éléments minéraux grossiers sont pavés, c'est à dire lorsqu'ils compose une cuirasse sans anfractuosité ou/ et sont englobés dans des substrats plus fins qui les ferment complètement leur attractivité est fortement diminuée. Cette tendance est plus particulièrement sensible pour les galets qui perdent beaucoup de leur capacité biogènes lorsqu'ils sont pavés.

* *Représentation cartographique :*

Pour les stations où les relevés ont été réalisés à pied, la représentation des surfaces observées pour chaque substrat est réalisée à l'échelle sur un fond de carte sur toute la surface du cours d'eau. Le substrat secondaire ou l'indication d'altération est indiqué en inscrivant le code du substrat (3 lettres voir plus haut).

Description de la hauteur d'eau

Les hauteurs de la tranche d'eau sont mesurées à pied ou par écho-sondeurs sur des transects placés et divisés de façon à encadrer les ruptures de pente et les variations nettes de profondeur, ce qui représente 5 à 20 transects par station selon l'hétérogénéité du milieu. Ces mesures sont ensuite regroupées en 5 classes :

- | | | |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| - 1 : moins de 5 cm | - 3 : 21 à 70 cm | |
| - 2 : 6 à 20 cm | - 4 : 71 à 150 cm | - 5 : plus de 151 cm. |

Description de la vitesse du courant

La vitesse mesurée à 0,6 fois de la hauteur d'eau sur les transects vitesses représentatives :

- | | | |
|------------------------|---------------------|------------------------|
| - 1 : moins de 10 cm/s | - 3 : 41 à 80 cm/s | |
| - 2 : 11 à 40 cm/s | - 4 : 81 à 150 cm/s | - 5 : plus de 151 cm/s |

Constitution des pôles d'attraction

L'intersection des 3 niveaux d'information précédents sert à délimiter les pôles d'attraction. Un pôle d'attraction est donc défini par le substrat principal uniquement, dans un but de simplification, par la hauteur d'eau et par la vitesse. Par conséquent, les pôles sont codifiés par les 3 lettres du substrat principal, par le chiffre correspondant à la classe de hauteur d'eau et par le chiffre de la classe de vitesse.

Expression des résultats et règles d'interprétations.

Les cartes obtenues permettent de visualiser l'attractivité ou l'uniformité des mosaïques d'habitats. Plus synthétiquement, des indices replacent les résultats obtenus pour chaque station sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène.

* Var = variété : nombre de catégories (de substrats/supports) ou de classes (de vitesses et de profondeurs) pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats. La variété des substrats/supports ne prend en compte que les grandes catégories descriptives. Les éléments composites (mélanges de substrats) ne rentrent dans le calcul que si les matériaux qui composent le mélange ne sont pas présents de façon isolée sur la station.

Exemple : Le mélange de galet-gravier (GGR) n'est pas comptabilisé pour la variété des substrats/supports si galets (GAL ou GLS) et graviers (GRA) sont rencontrés seuls sur la station. En revanche GGR rentre dans la variété si Galets et/ou graviers sont absents.

Idem pour les blocs à anfractuosités (BLO) et les blocs sans anfractuosités (BLS)

Idem pour les hélrophytes (HEL) et ses dérivés denses HED ou éparses HLE, pour les hydrophytes immergés (HYI) et ses dérivés denses HYD et éparses HYE, ...

* Div = Diversité : mesure de la complexité et de l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les catégories de chaque composante de la qualité de l'habitat.

$$\text{Div} = - \sum^n S_i \times [(\log_{10}(S_i))]$$

où : *n* est le nombre de catégorie (*n=var*)

S_i est la surface cumulée des placettes appartenant à la *i*ème catégorie

* Reg = Régularité : rapport entre la diversité observée et la diversité optimale pour une même variété correspondant à l'équirépartition.

* IAM = Indice d'Attractivité Morphodynamique : cet indice sanctionne la variété des classes de hauteurs d'eau, de vitesses et de substrats/supports ainsi que l'attractivité des substrats/supports pour l'ichtyofaune.

$$\text{IAM} = [\sum^n S_i \times \text{Attract.}(\text{subs.})] \times \text{Var}(\text{subs.}) \times \text{Var}(\text{h.e.}) \times \text{Var}(\text{v.})$$

où : *v.* : vitesses

h.e. : hauteurs d'eau

subs. : substrats/supports

Attract. : attractivité des substrats supports.

La hiérarchisation et la cotation de l'attractivité des substrats/supports ont été déterminées

statistiquement sur plusieurs dizaines de rivières. Ces scores prennent en compte les exigences de l'ensemble des poissons et intègrent donc l'ensemble des ressorts physiques nécessaires aux transferts trophiques.

Substrat	Code	Attractivité
branchages, grosses racines	BRA	100
sous-berges	BER	90
hydrophytes éparses	HYI	80
blocs avec caches	BLO	60
galets	GAL	50
hélrophytes	HEL	40
chevelus racinaires, végétations rases	CHV	40
blocs sans anfractuosités	BLO	30
galets et graviers mélangés	GGR	25
graviers	GRA	20
galets pavés	GLS	10
litières organiques	LIT	10
sables	SAB	8
éléments fins, limons	FIN	4
fonds nus organiques, vases	FNO	3
dalles, surfaces indurées (sans cache)	DAL	1
Affluents, sources, résurgences	BONUS +25%	

Cotation hiérarchisée de l'attractivité globale des substrats supports

Classe de Hauteurs d'eau	Limites
Classe 1	0 à 5 cm
Classe 2	6 à 20 cm
Classe 3	21 à 70 cm
Classe 4	71 à 150 cm
Classe 5	sup. à 150 cm

Limites de classes de hauteurs d'eau

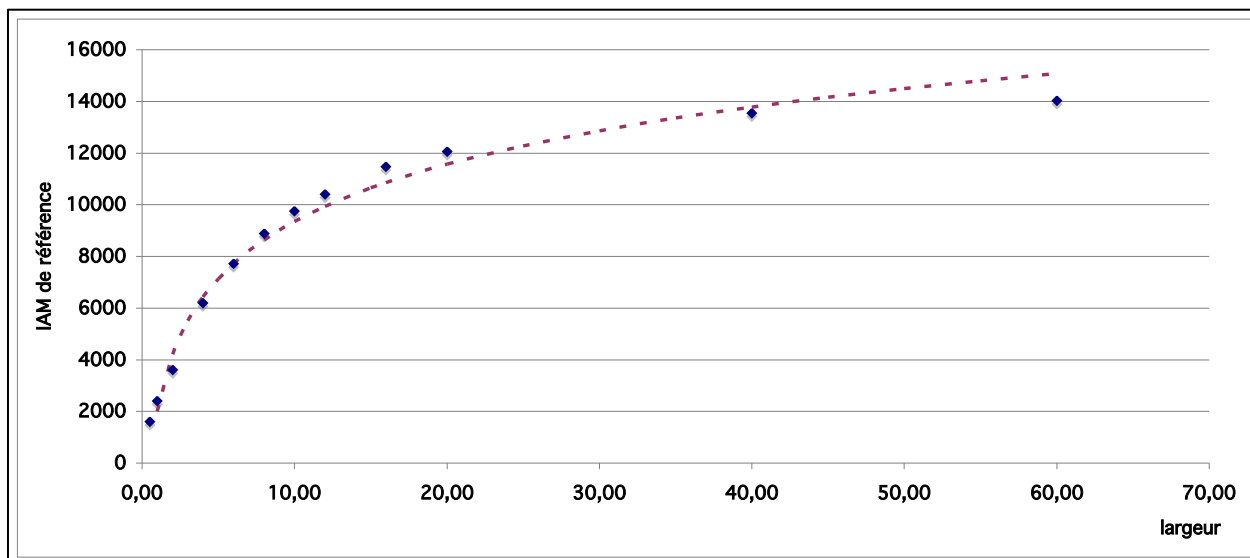
Classe de Vitesses d'écoulement	Limites
Classe 1	0 à 10 cm/s
Classe 2	11 à 40 cm/s
Classe 3	41 à 80 cm/s
Classe 4	81 à 150 cm/s
Classe 5	sup. à 150 cm/s

Limites de classes de vitesse d'écoulement

Conclusion et perspectives

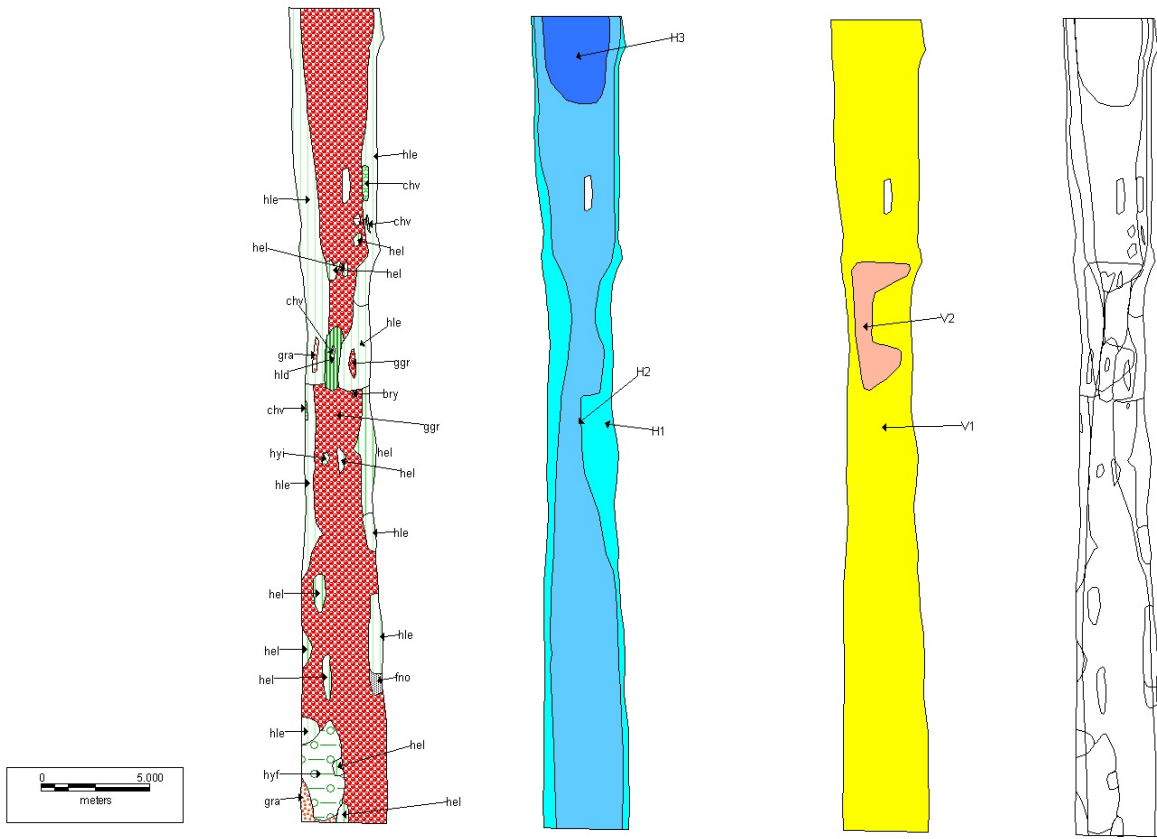
L'IAM, encore expérimental, constitue une approche simplifiée car il ne tient pas compte de l'attractivité des pôles et en particulier de la variation de la valeur piscicole des substrats/supports selon les hauteurs d'eau et les courants qui les baignent. Toutefois la démarche suivie permet d'apprécier les variations spatio-temporelles quantitatives de l'hétérogénéité et de l'attractivité des mosaïques d'habitats.

Cette approche pourra également servir à l'avenir pour évaluer l'évolution de la qualité physique lors de la reprise d'érosion et du transport probable des dépôts de sables, limons et graviers remis en circulation par des vidanges mais aussi en cas d'augmentation de la valeur des débits réservés. Enfin, trois séries de règles d'interprétations sont issues des premières applications de la méthode à des stations référentielles. La première permet d'apprécier la signification de l'IAM en fonction de la largeur du cours d'eau.



Abaque reliant l'Indice d'Attractivité Morphodynamique de référence en fonction de la largeur moyenne de la station ($IAM_{ref} = (3193,4 * \ln(larg)) + 2000$).

Cartographies et tableaux des indices de diversité et des IAM Station amont Step



Cartes des substrats, des hauteurs d'eau, des vitesses et des pôles d'attraction

Annexe : LA LEUE, station amont 27/06/14

Surface : 132,74 m²
Larg. moy. : 3,41 m
Long. : 38,96 m (*11,44)

Indice de diversité

	m ²	%	pi	log10*pi	pi*(log10*pi)
19 pôles					
chvH1V1	0,13	0,10%	0,0010	-3,0091	-0,0029
chvH2V1	0,47	0,35%	0,0035	-2,4555	-0,0086
chvH2V2	0,11	0,08%	0,0008	-3,0867	-0,0025
fnoH1V1	0,16	0,12%	0,0012	-2,9109	-0,0036
fnoH2V1	0,35	0,27%	0,0027	-2,5744	-0,0069
galH1V1	8,62	6,50%	0,0650	-1,1873	-0,0771
galH2V1	60,36	45,47%	0,4547	-0,3422	-0,1556
galH2V2	1,66	1,25%	0,0125	-1,9025	-0,0238
galH3V1	10,79	8,13%	0,0813	-1,0900	-0,0886
graH1V1	1,06	0,79%	0,0079	-2,0977	-0,0167
graH1V2	0,05	0,04%	0,0004	-3,4523	-0,0012
graH2V1	0,17	0,13%	0,0013	-2,9026	-0,0036
helH1V1	22,02	16,59%	0,1659	-0,7802	-0,1294
helH1V2	2,90	2,18%	0,0218	-1,6606	-0,0363
helH2V1	20,32	15,31%	0,1531	-0,8151	-0,1248
helH2V2	3,29	2,48%	0,0248	-1,6058	-0,0398
helH3V1	0,02	0,02%	0,0002	-3,7779	-0,0006
hytH2V1	0,14	0,11%	0,0011	-2,9757	-0,0028
litH2V1	0,12	0,09%	0,0009	-3,0366	-0,0028
Somme	132,74	100,00%	1,0000		-0,7281

Ind. diversité : **0,73**

Régularité : **0,57**

Variété max. pôles (n.S x n.H x n.V) : 42
Variété pôles : 19
45%

Indice d'attractivité morphodynamique

Substrats	m ²	%	si	Attractivité	si'attract.	ractivité sans colmata	si'attract.
grg	81,42	61,34%	0,613	25	15,34	25	15,34
hle	33,38	25,15%	0,251	20	5,03	20	5,03
hel	7,10	5,35%	0,053	40	2,14	40	2,14
hyf	6,31	4,75%	0,048	40	1,90	40	1,90
hld	1,78	1,34%	0,013	20	0,27	20	0,27
gra	1,27	0,96%	0,010	20	0,19	20	0,19
chv	0,68	0,51%	0,005	40	0,20	40	0,20
fno	0,52	0,39%	0,004	3	0,01	3	0,01
hyt	0,14	0,11%	0,001	80	0,08	80	0,08
lit	0,12	0,09%	0,001	10	0,01	10	0,01
bry	0,03	0,02%	0,000	40	0,01	40	0,01
Somme	132,74	100,00%	1		25,18		25,18

nb substrats différents : 7

nb classes hauteurs : 3

nb classes vitesses : 2

INDICE D'ATTRACTIVITE MORPHODYNAMIQUE	1 058	1 058
INDICE D'ATTRACTIVITE MORPHODYNAMIQUE DE REFERENCE	591,4	18%

Hauteurs		m ²	%
Classe 1	<5 cm	34,94	26,33%
Classe 2	6 à 20	86,98	65,53%
Classe 3	21 à 70	10,81	8,15%
Classe 4	71 à 150	0,00	0,00%
Classe 5	>151 cm	0,00	0,00%
Somme		132,74	100%

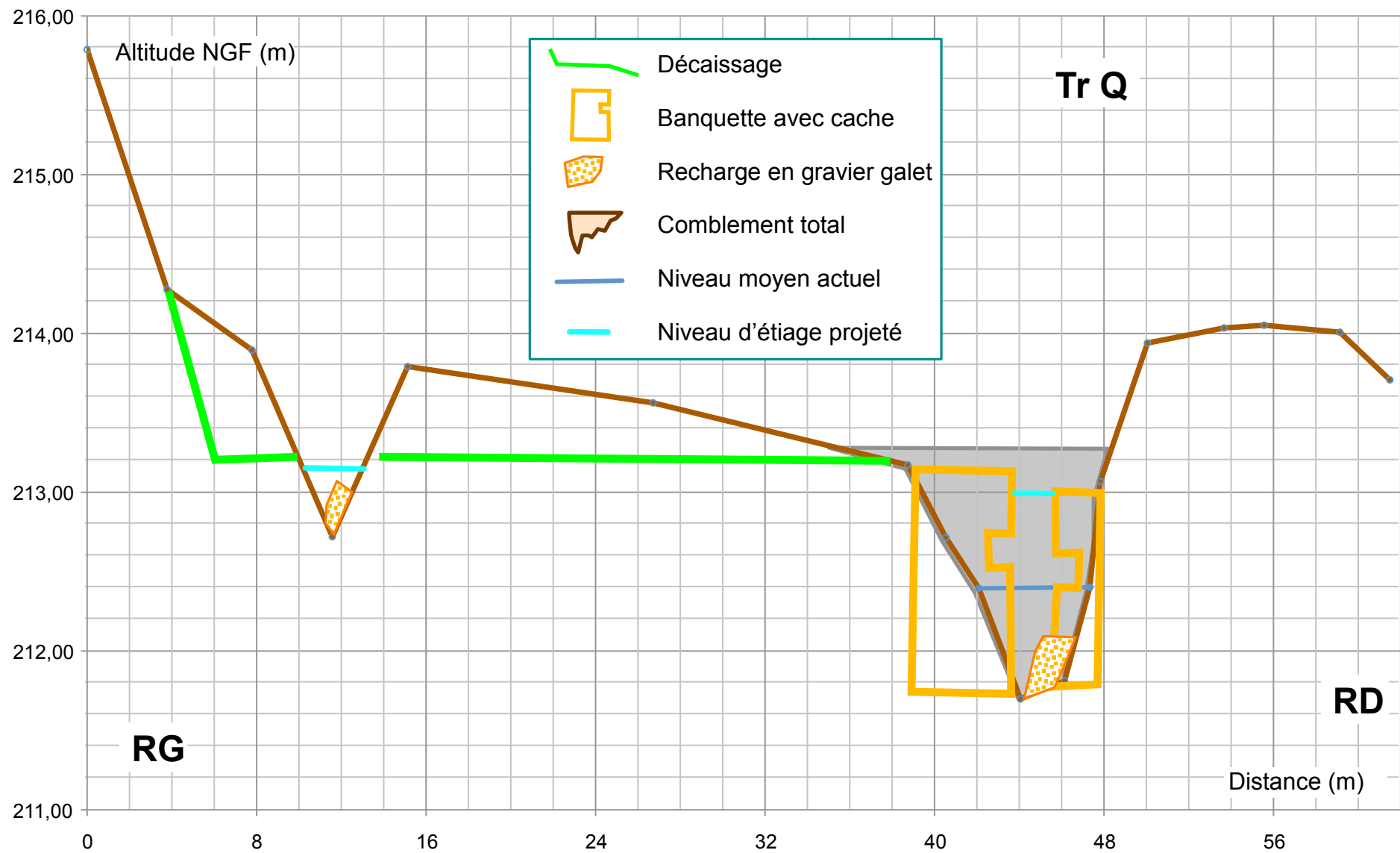
H. max. (cm) : 31
H. modale (cm) : 11

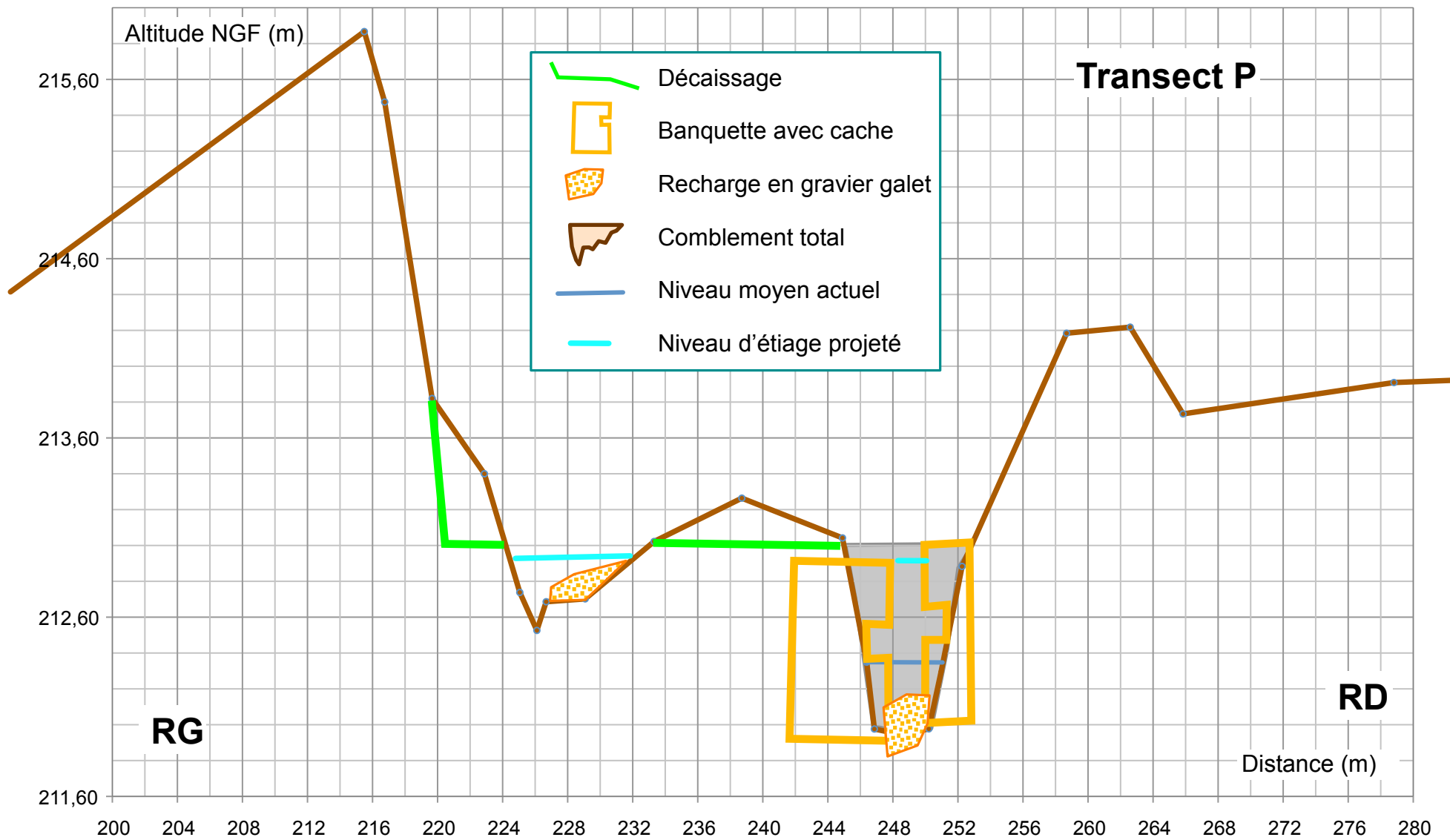
Vitesse		m ²	%
Classe 1	<10 cm /s	124,73	93,97%
Classe 2	11 à 40	8,01	6,03%
Classe 3	41 à 60	0,00	0,00%
Classe 4	81 à 150	0,00	0,00%
Classe 5	> 151 cm /s	0,00	0,00%
Somme		132,74	100%

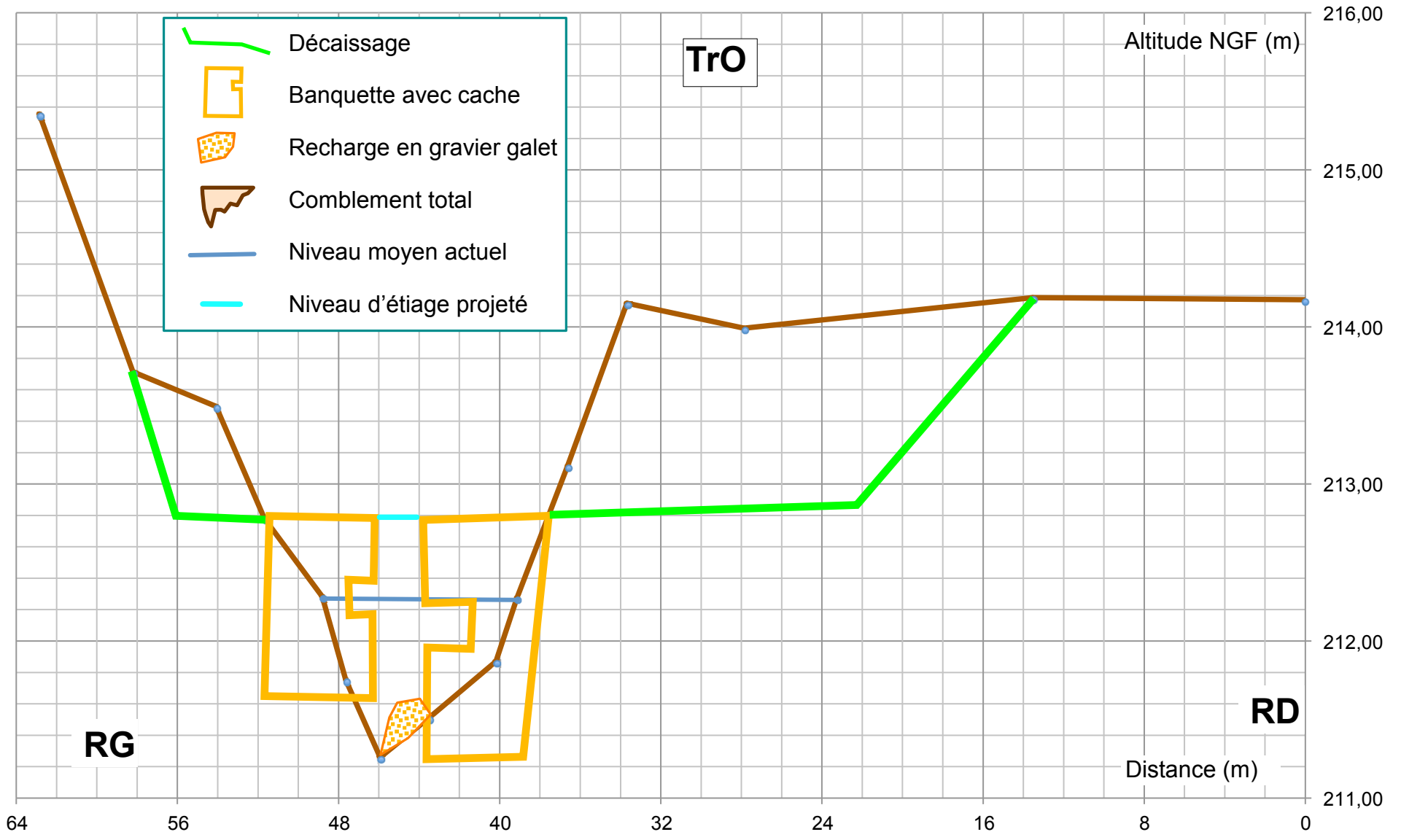
V. max. (cm/s) : 14
V. modale (cm/s) : 6

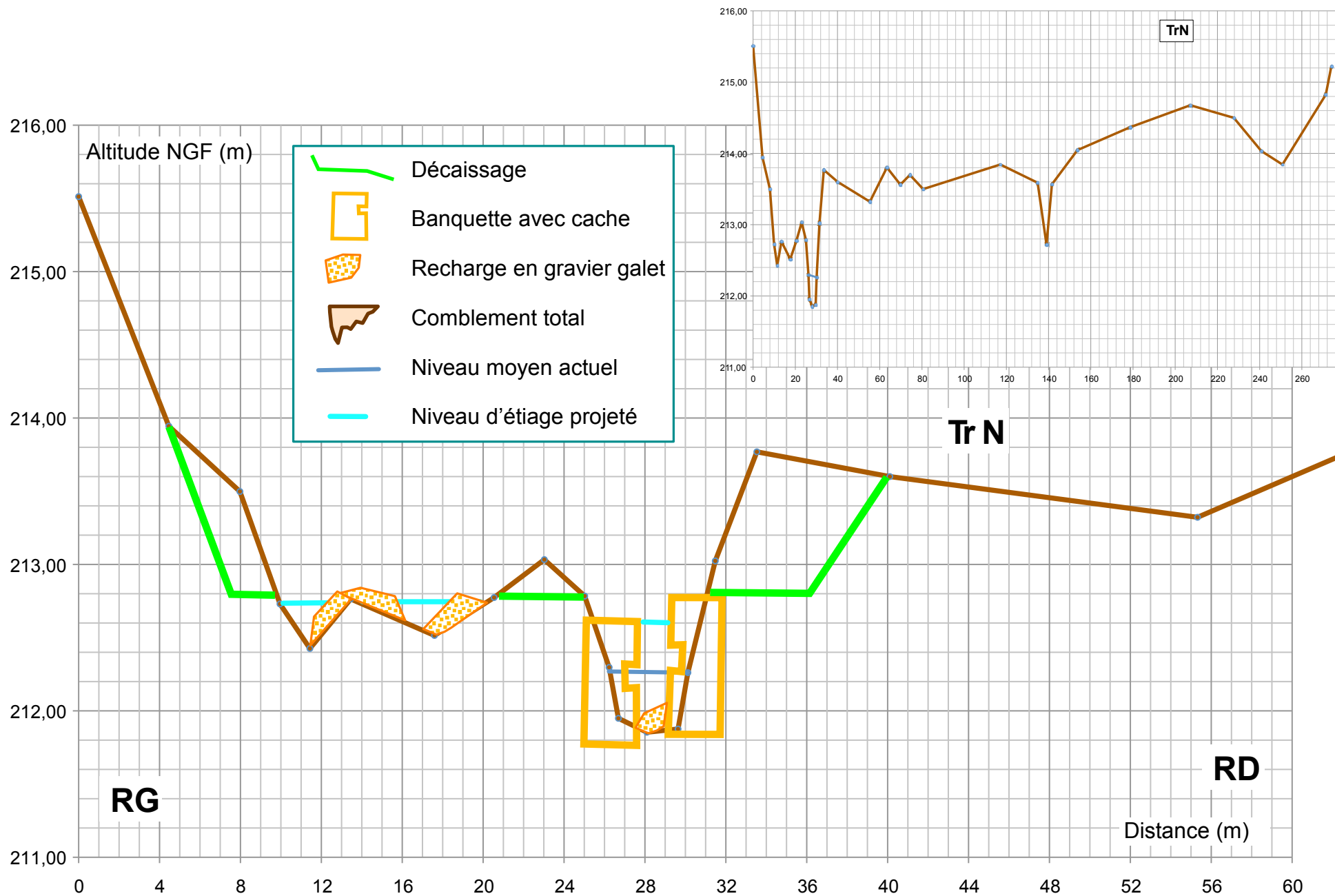


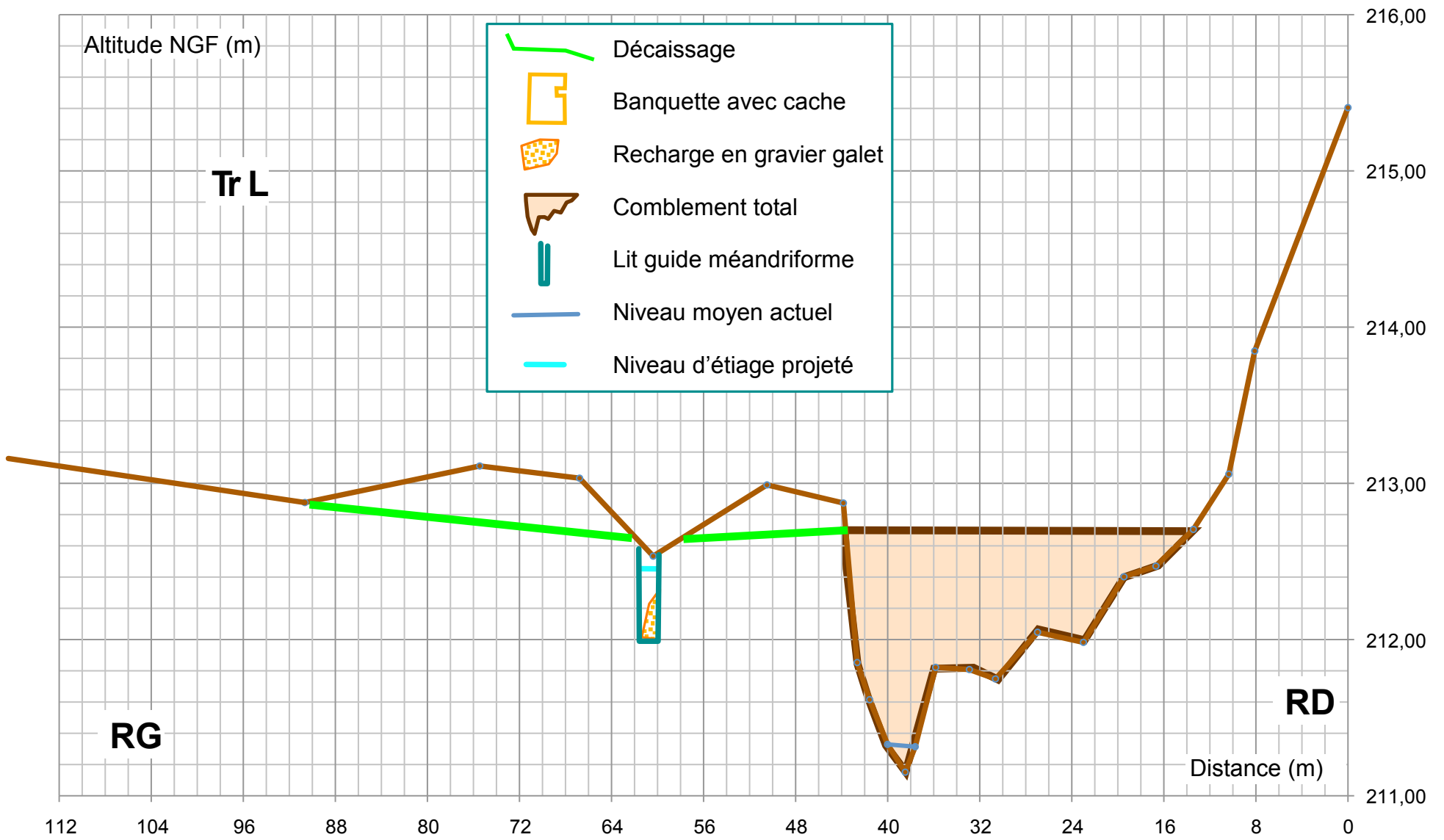
PROFILS DU PROJET

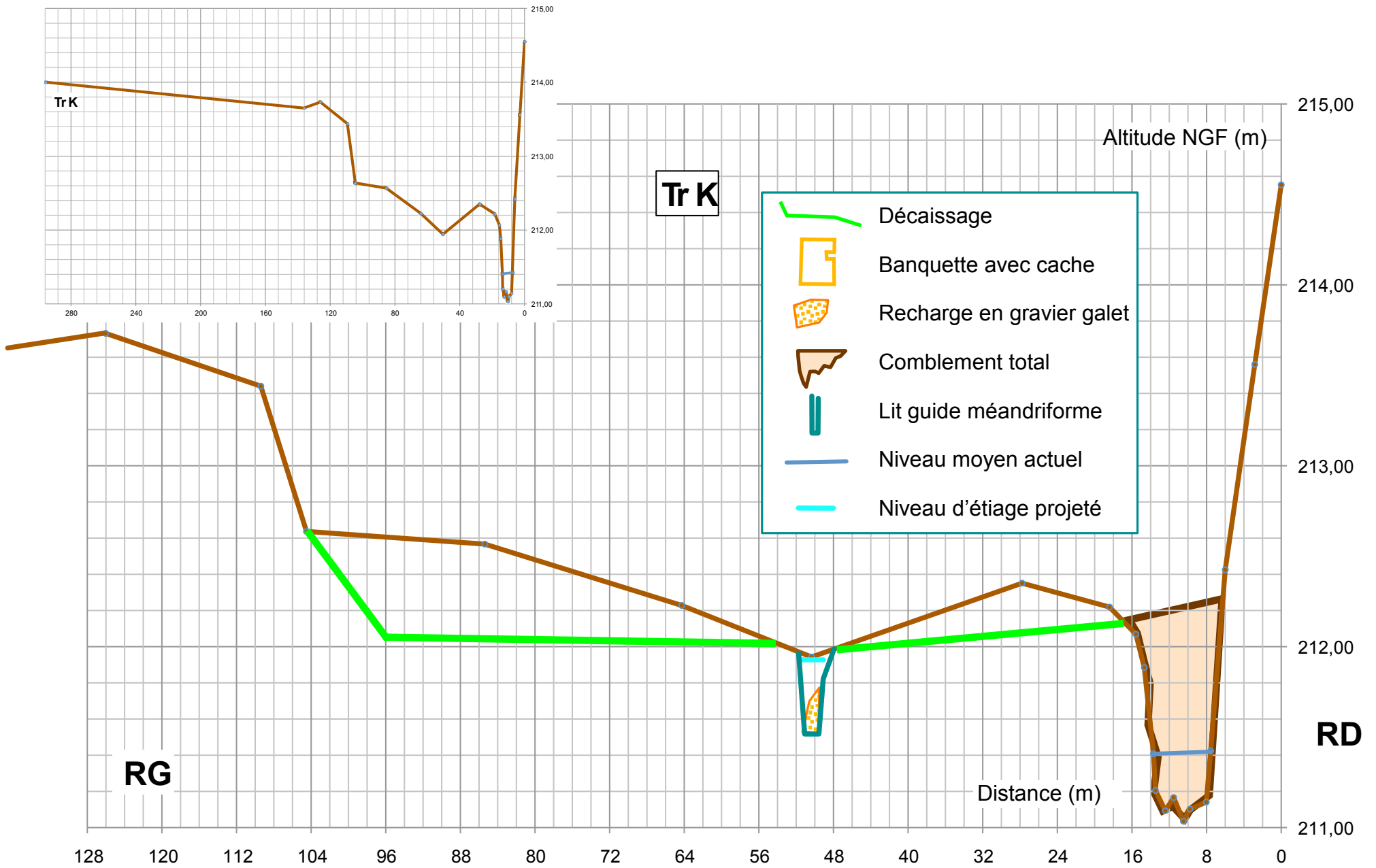


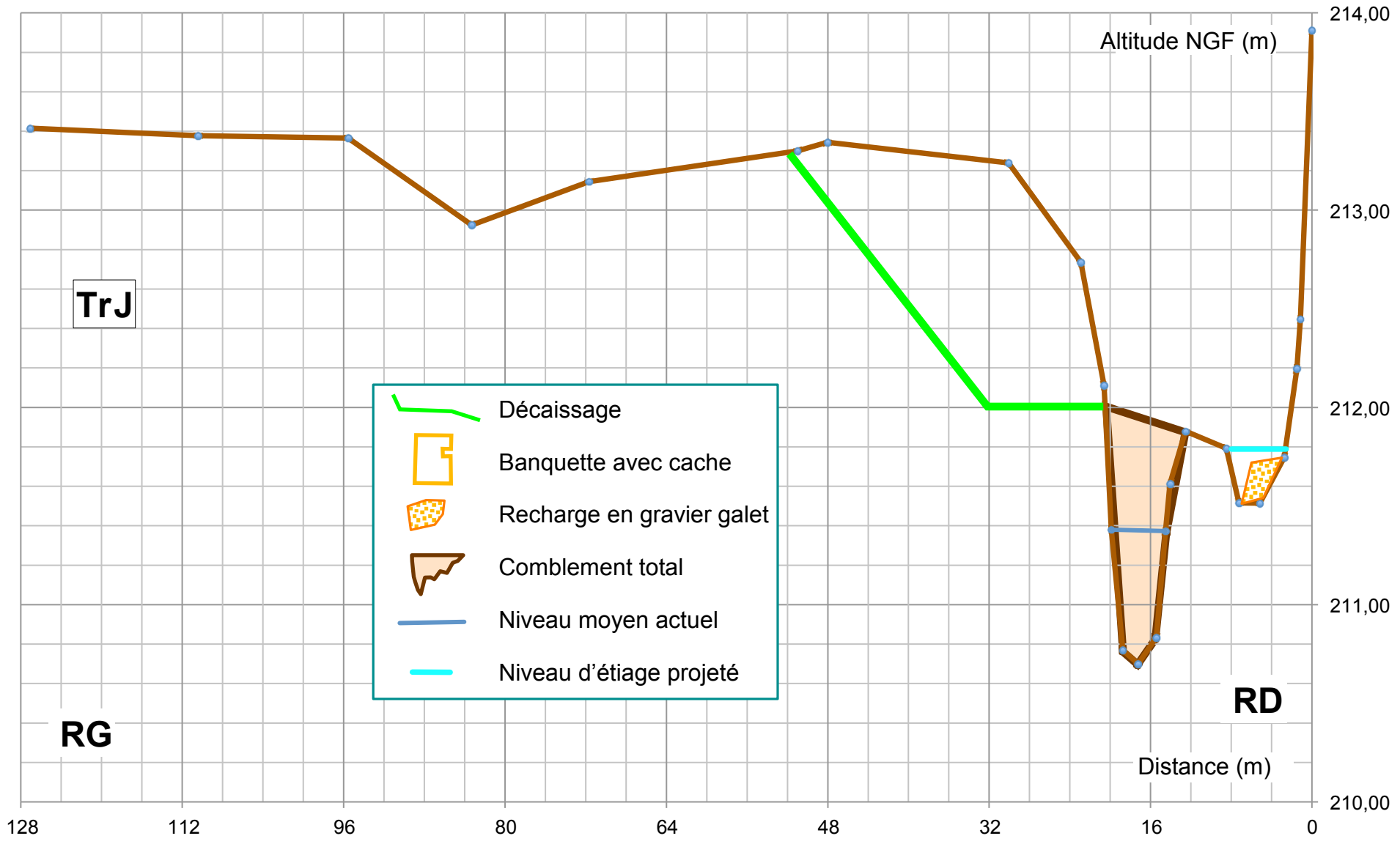


















TrJ

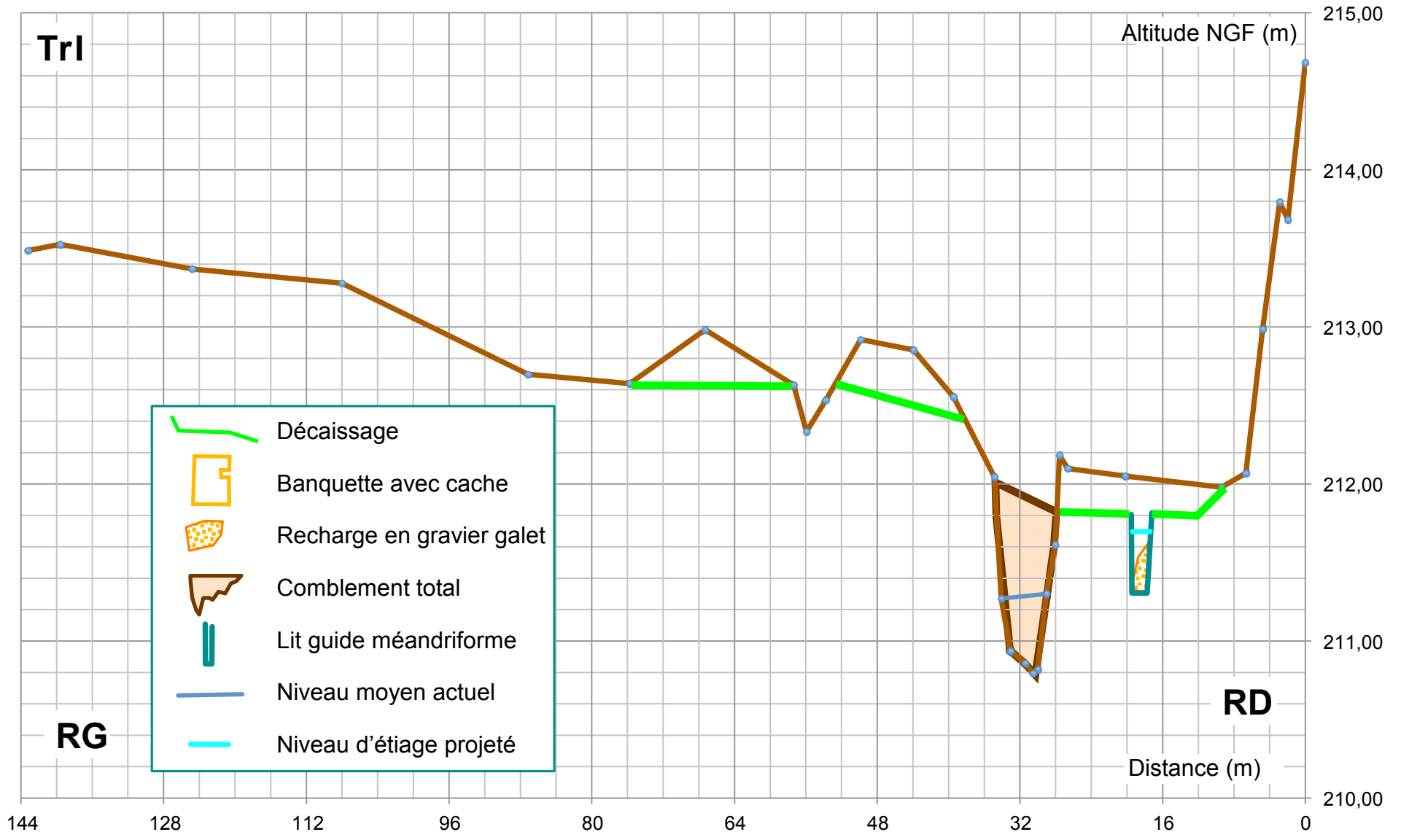
RG

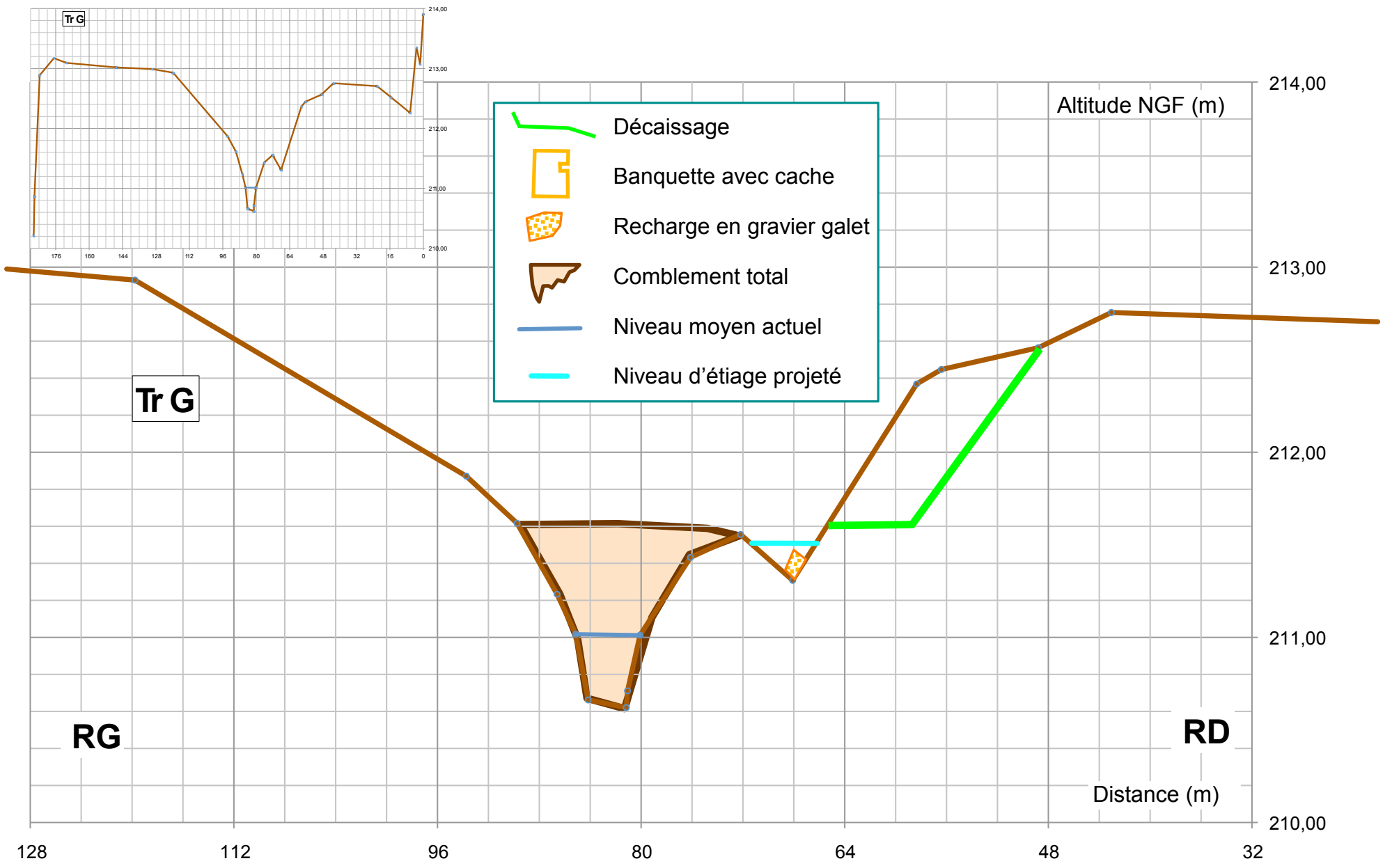
RD

-  Décaissage
-  Banquette avec cache
-  Recharge en gravier galet
-  Comblement total
-  Niveau moyen actuel
-  Niveau d'étéage projeté

Altitude NGF (m)

Distance (m)





Tr G







Tr G

RG

RD

Altitude NGF (m)

Distance (m)

	Décaissage
	Banquette avec cache
	Recharge en gravier galet
	Comblement total
	Niveau moyen actuel
	Niveau d'étiage projeté

128

112

96

80

64

48

32

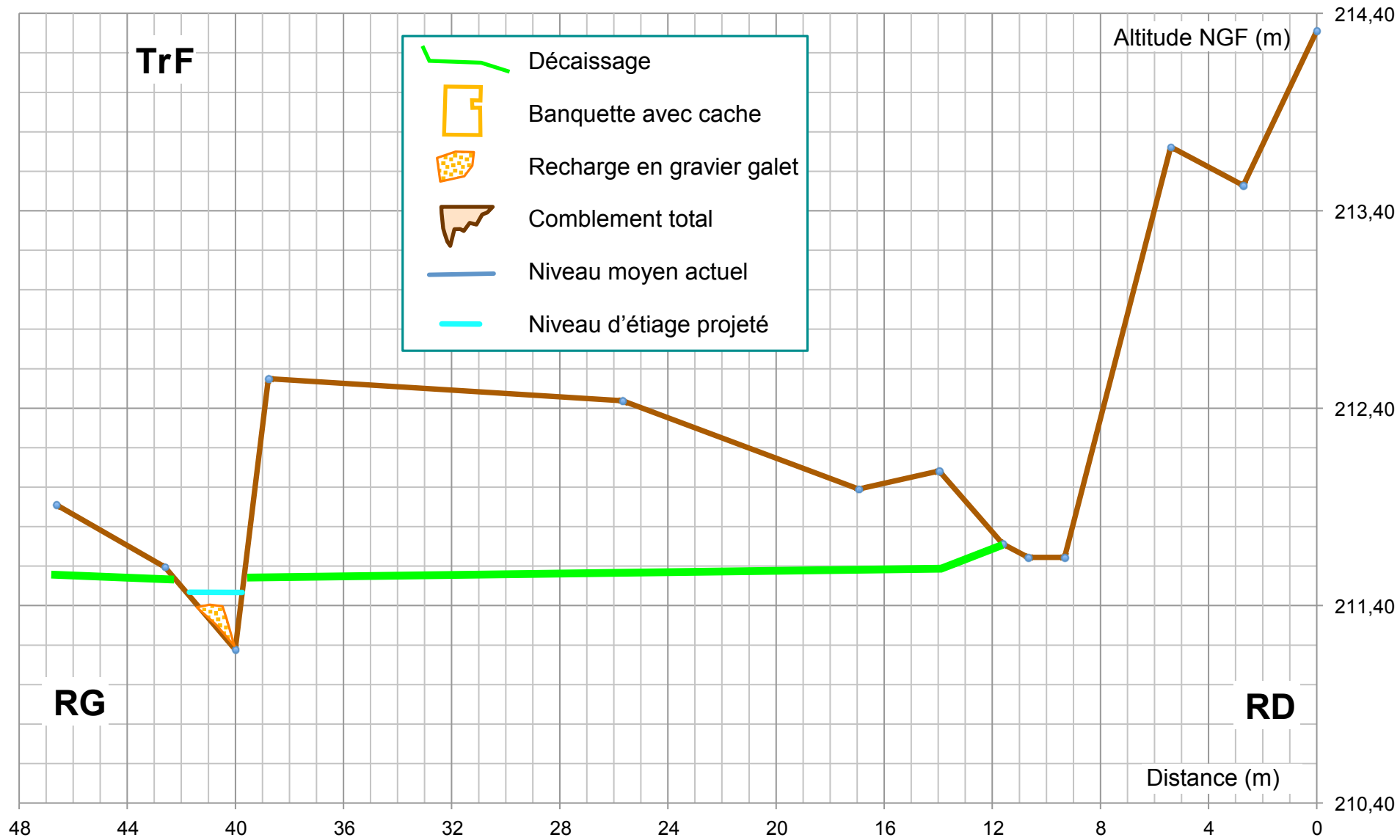
214,00

213,00

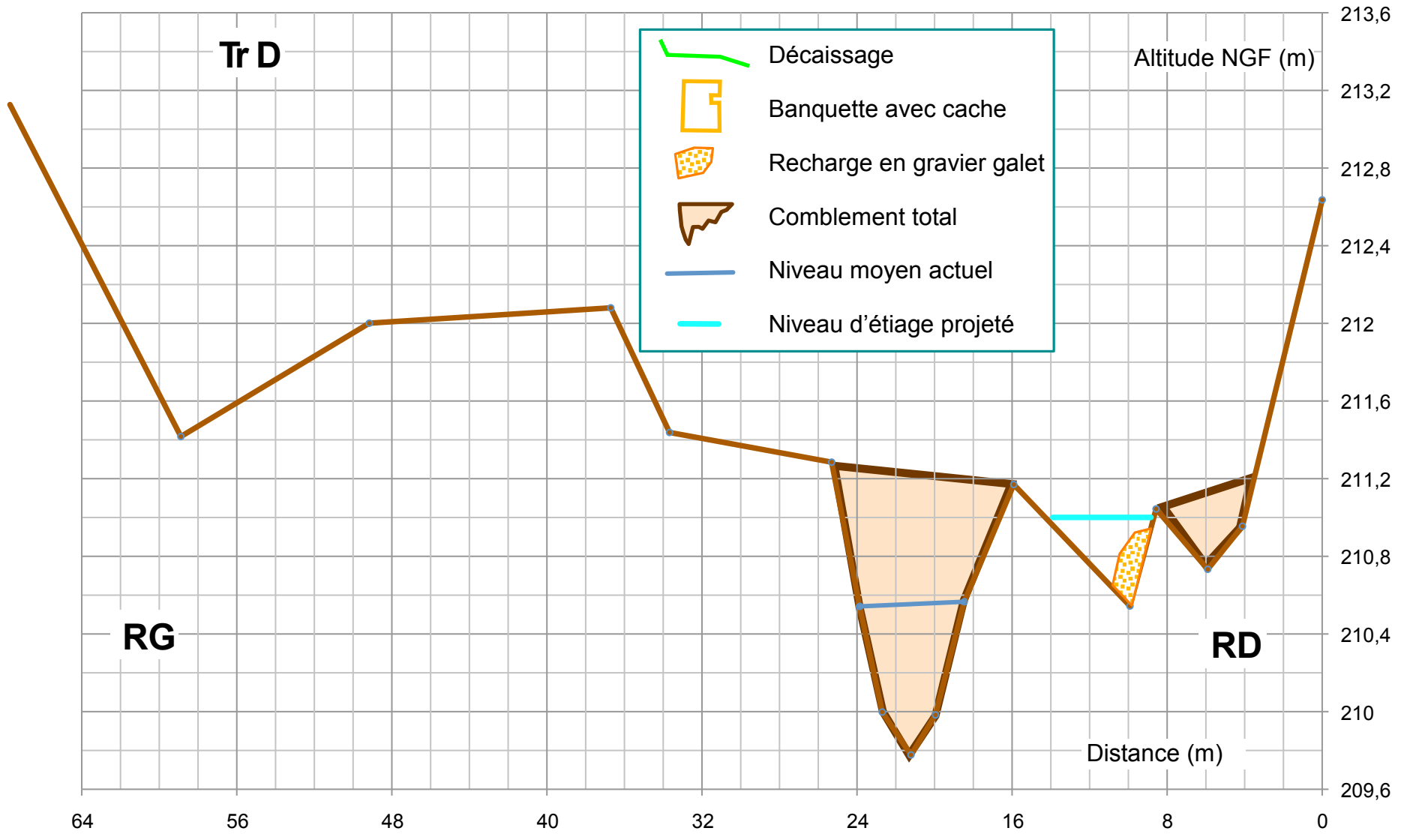
212,00

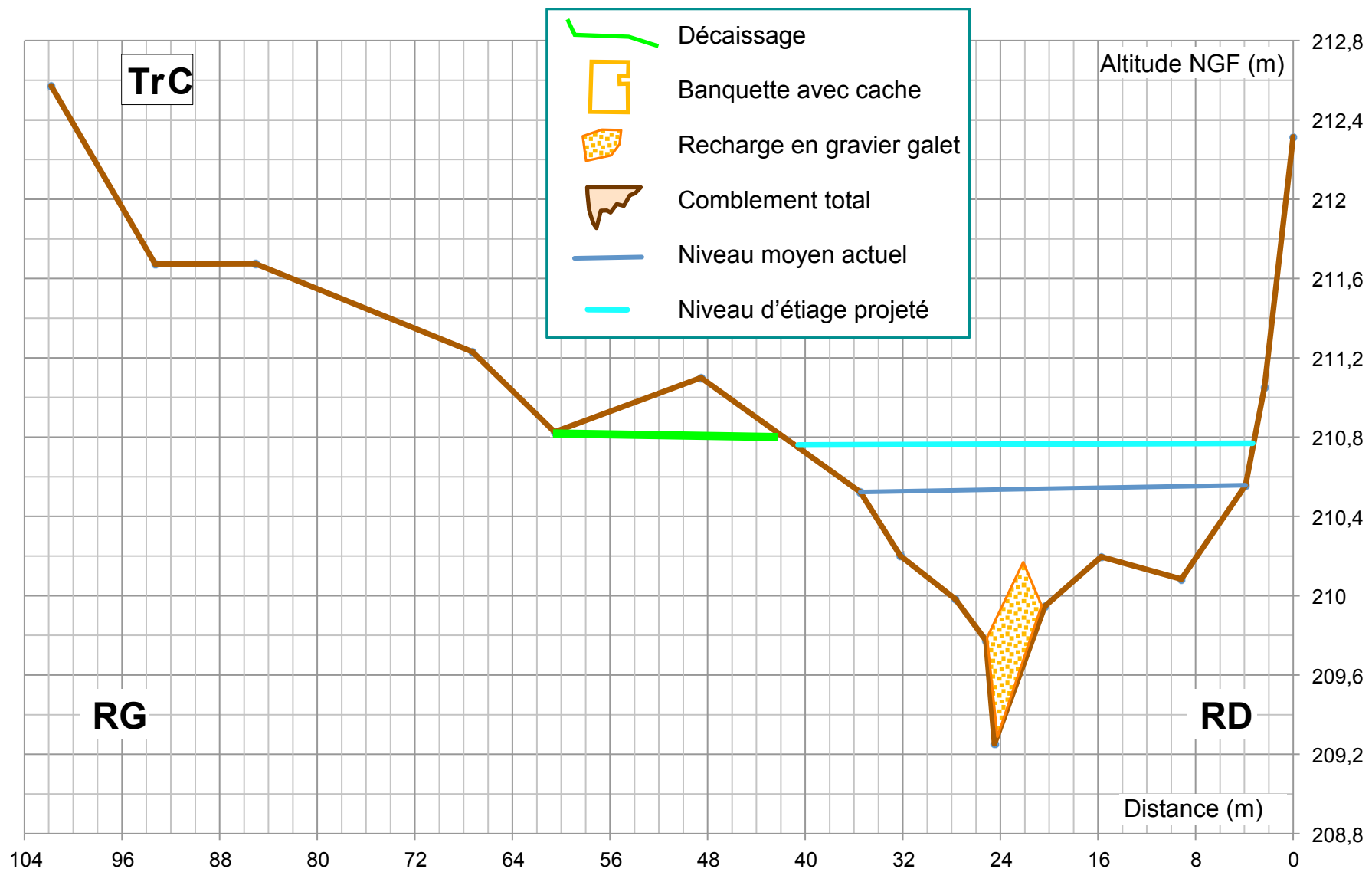
211,00

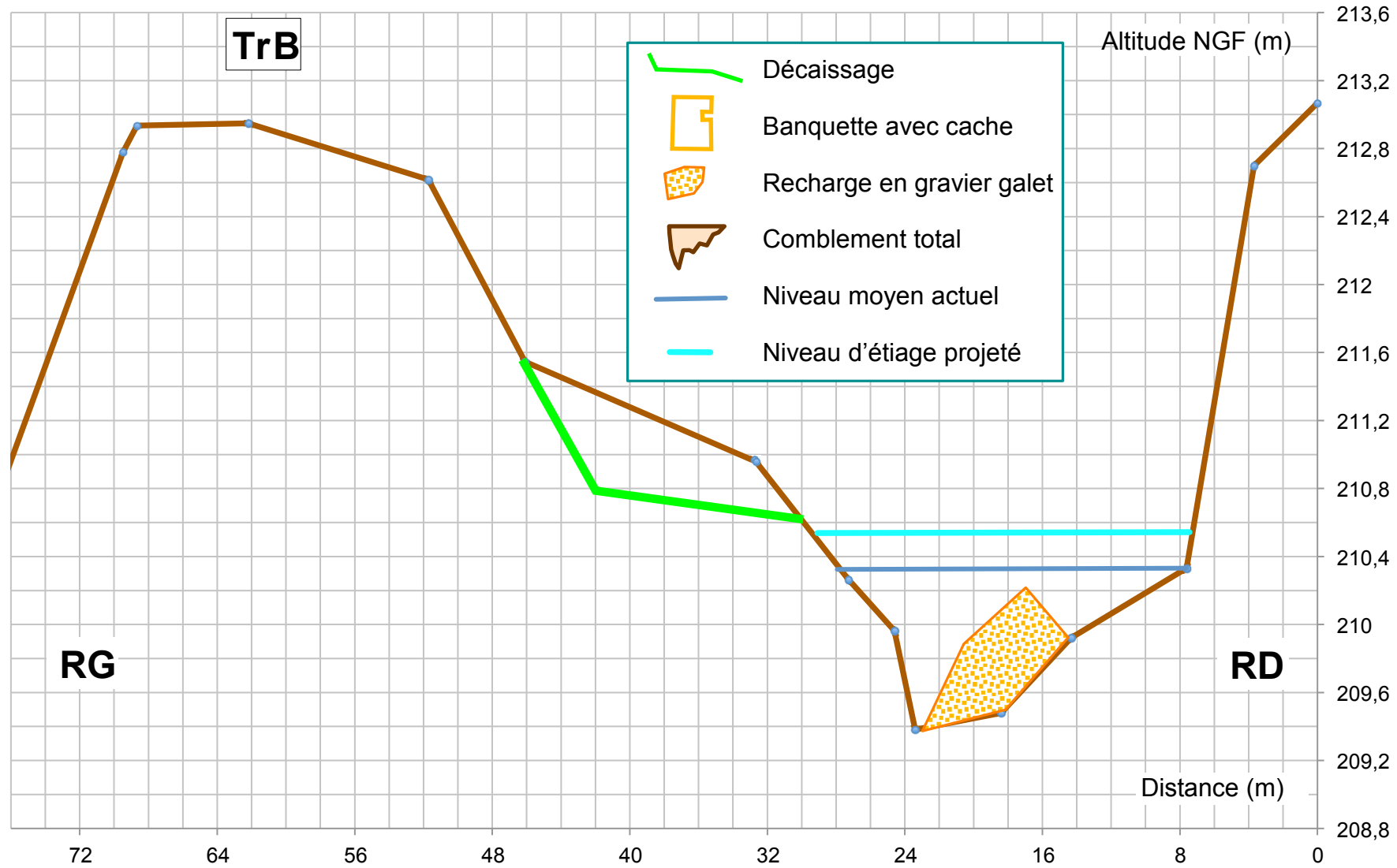
210,00

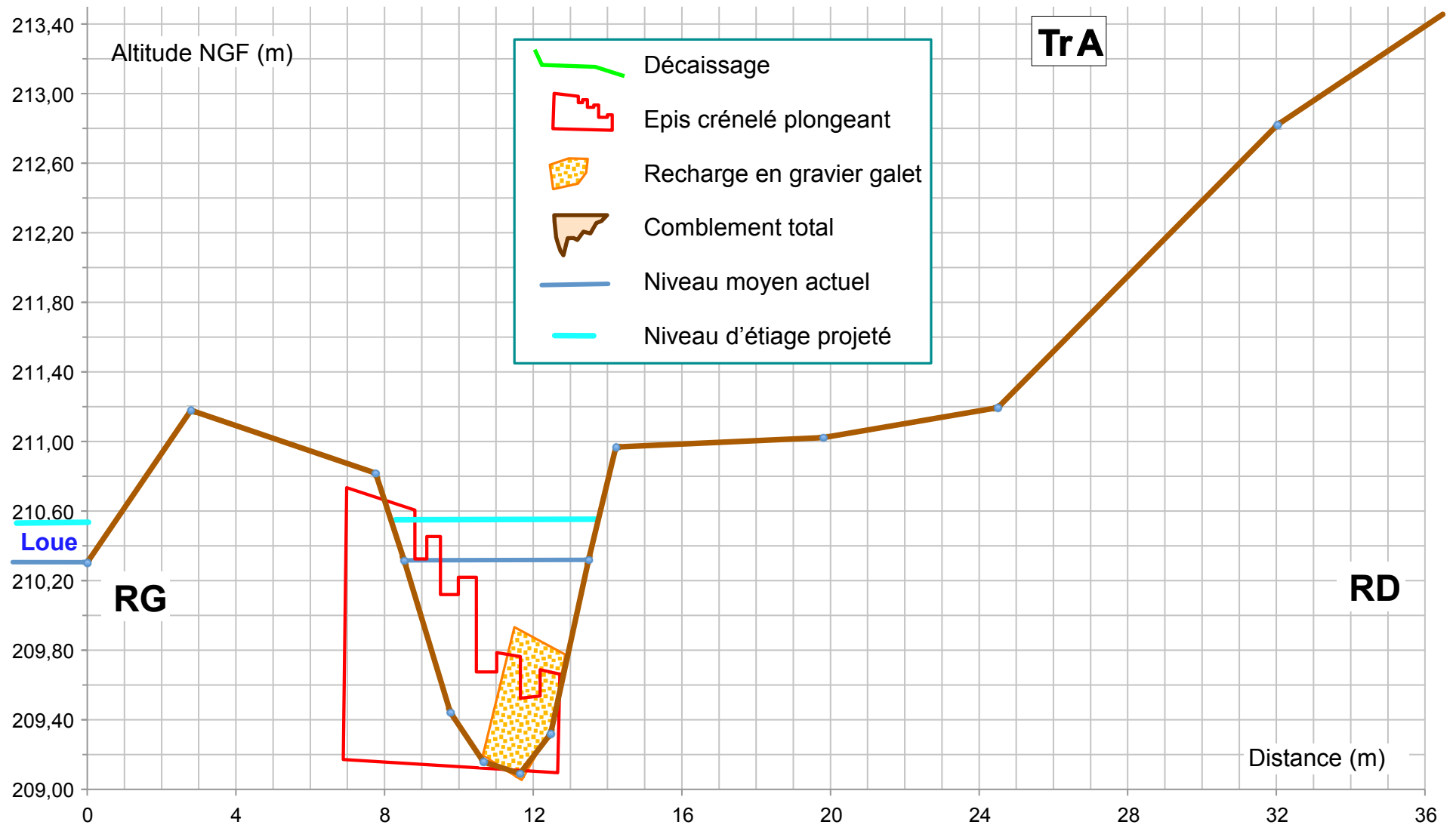












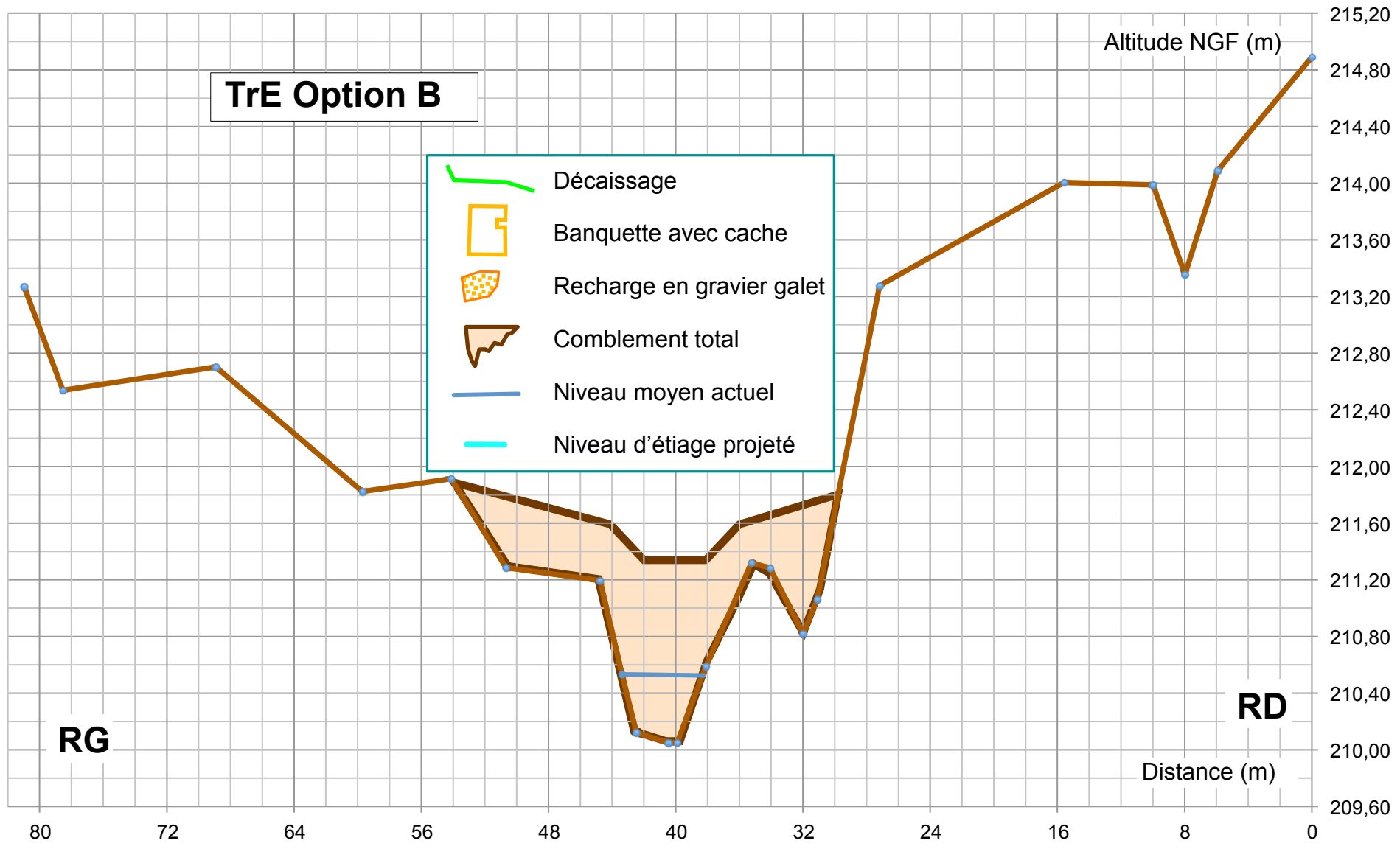






TrE Option B

-  Décaissage
-  Banquette avec cache
-  Recharge en gravier galet
-  Comblement total
-  Niveau moyen actuel
-  Niveau d'étéage projeté

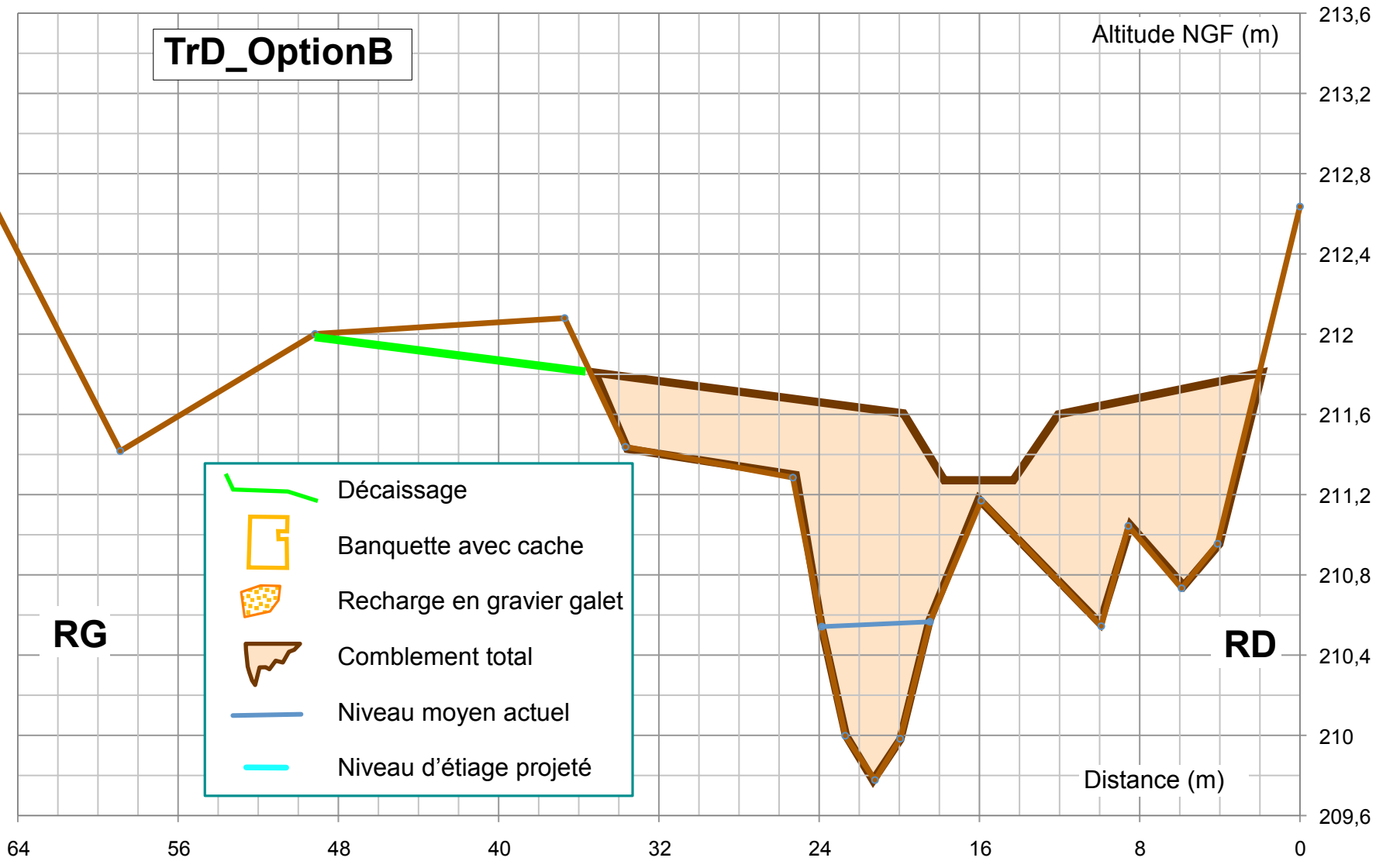


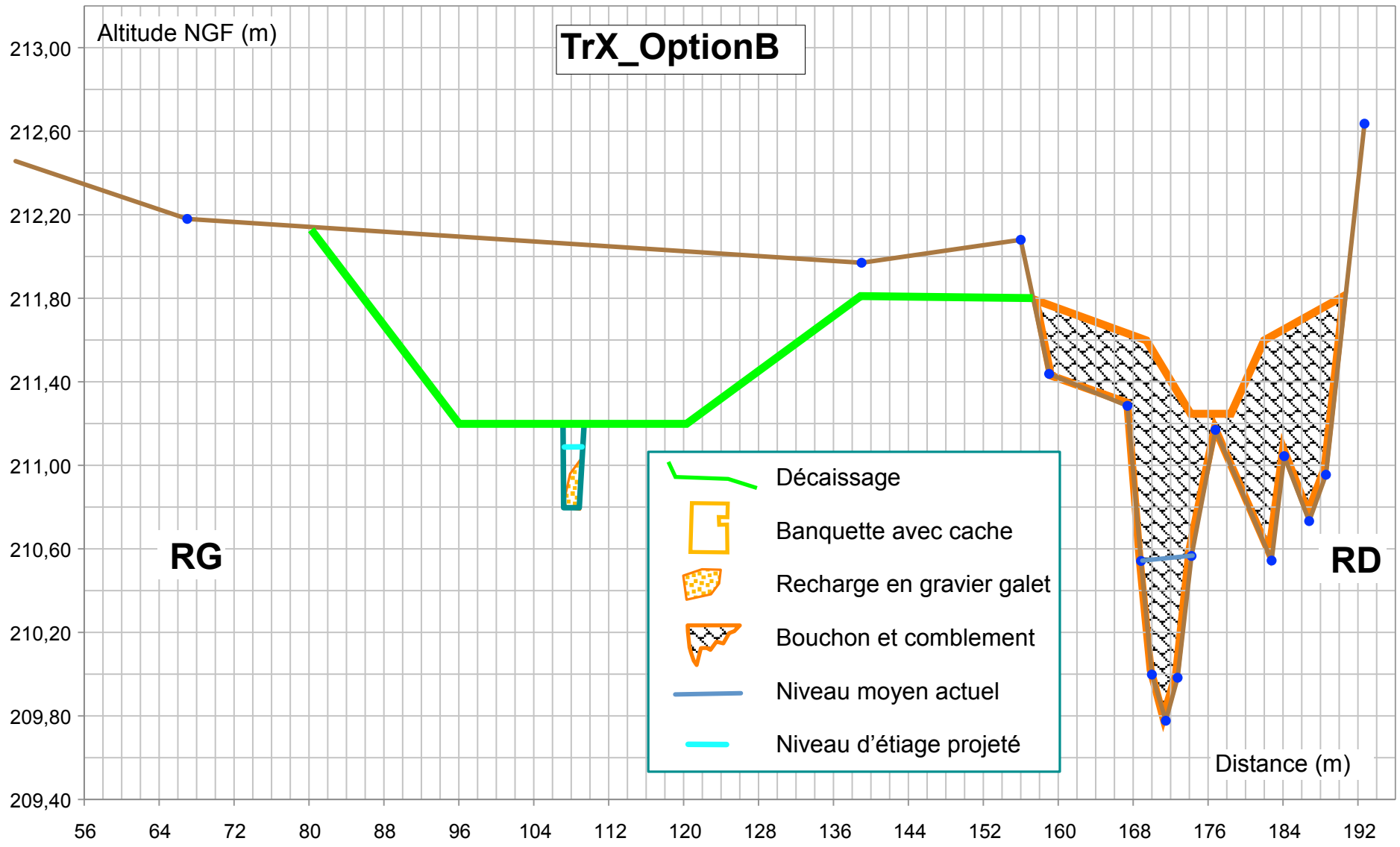
RG

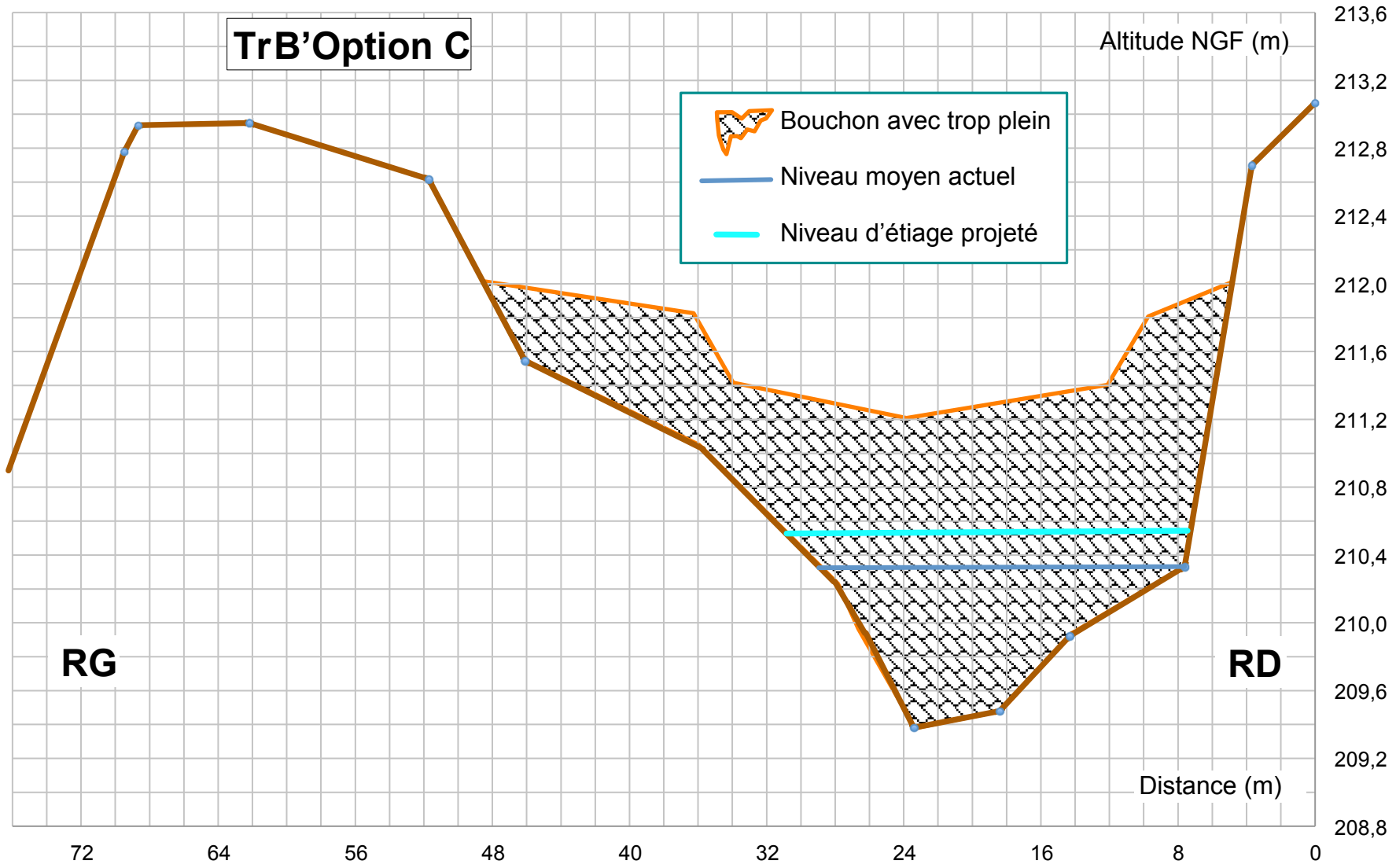
RD

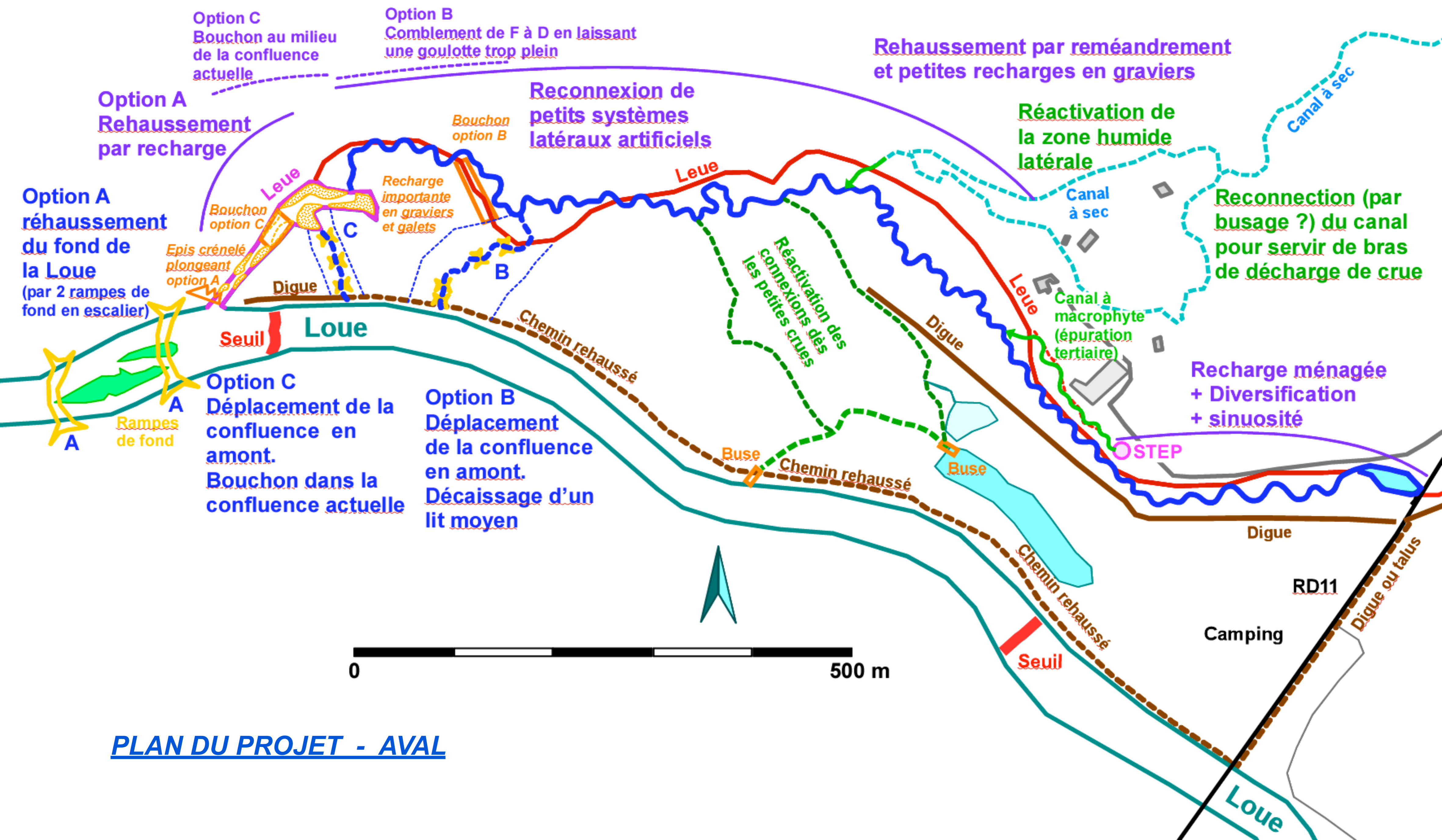
Altitude NGF (m)

Distance (m)









PLAN DU PROJET - AVAL