

RAPPORT DE STAGE INDIVIDUEL 5ÈME ANNÉE



**Etudes de faisabilité d'une
mesure compensatoire pour
un projet de contournement
de cours d'eau et pour la mise
à ciel ouvert d'un cours d'eau
au Luxembourg**



Bureau d'études Micha Bunusevac - Luxembourg

**Tuteur bureau d'études: Xavier Moreno
Tuteur académique: Vincent Rotgé**

Etudiante: Mfundu Kondi Lorène IMA 2020-2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le patron du bureau d'études, monsieur Micha Bunusevac qui m'a donné la possibilité d'être stagiaire au sein de son bureau connaissant les difficultés que cela pouvait engendrer avec le départ soudain de l'ingénieur qui devait être mon maitre de stage.

Je remercie Xavier Moreno qui a su prendre le relais en prenant de son temps pour m'encadrer et m'expliquer le fonctionnement des études de faisabilité et du bureau d'études tout en encadrant une autre ingénieure nouvellement arrivée.

Il s'agit de Lise Nousse que je remercie aussi pour m'avoir soutenu et épaulé dans les moments de difficultés et d'avoir été disponible et bienveillante à mon égard.

Je remercie Nelson Silva Martins pour sa bonne humeur et pour m'avoir fait très vite me sentir à ma place au sein du bureau.

Je remercie le reste de l'équipe pour leur convivialité.

Enfin je tiens à remercier mon tuteur de stage monsieur Vincent Rotgé d'avoir pris de son temps afin de m'aiguiller lors de mon stage.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	1
TABLE DES FIGURES	4
TABLE DES TABLEAUX	5
I Introduction	1
II Présentation du bureau d'études Micha Bunusevac	2
III. Matériels et méthode	3
Etape 1 : Appropriation des données concernant le cours d'eau et les caractéristiques environnementales - Etude de la situation existante	4
1.1 Géologie	4
1.2 Hydrologie	5
1.3 La situation foncière	5
1.4 Situation historique	6
Etape 2 : Analyse de l'état cible	7
2.1 Définition de la typologie de référence	7
2.2 Cartographie du milieu physique	8
2.3 Etat cible selon le concept de connectivité des habitats aquatiques	10
2.4 Analyse Natura 2000	11
Etape 3 : Analyse hydromorphologique	12
3.1 Sinuosité	15
3.2. Géométrie de plein bord	16
3.5 Paramètres principaux de plaine	18
3.6 Structures endommageantes	19
3.7 Résumé hydromorphologique	19
Etape 4 : Propositions de mesures, situation projetée	20
4.1 Variante 1 : Reméandrage et élargissement du lit	20
4.2 Variante 2 : Déplacement du lit dans le talweg	22
4.3. Mesures ponctuelles	23
4.4 Effets hydromorphologiques des mesures	25
Etape 5 : ETUDE HYDRAULIQUE	25
5.1 Situation existante	25

5.2 Situation projetée.....	26
Conclusion partie 1.....	27
DEUXIEME ETUDE DE FAISABILITE.....	29
I. Introduction.....	29
1.1. Problématique du projet.....	30
II MATERIELS ET METHODE	30
Etape 1 : Appropriation du projet	30
Etape 2 : Recherche et calculs des paramètres nécessaires pour l'avancement du projet (pente, débit maximum...)	31
2.1 Débit régionalisé.....	31
2.2 Seconde méthode : Débit maximum.....	32
2.3 Sinuosité	32
Etape 3 : Situation projetée du profil en long	33
Etape 4 : Recherche d'un possible dimensionnement de passe à poissons	33
Conclusion partie 2.....	34
III Conclusion	35
Retour sur expérience	35
Bibliographie	36
Annexe.....	37
Annexe 1 : Ichtyocénose de référence	37
Annexe 2 : Formules.....	37
Annexe 3 : Paramètres hydromorphologiques	38
Annexe 4 : Profil en long du Reichelbaach	39
Annexe 5 : Plan de l'étude du Reichelbaach	40

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme représentant l'organisation actuel du bureau d'étude Micha Bunusevac.....	3
Figure 2: Géologie autour du tronçon d'étude de l'Alzette (source : geoportail.lu).....	4
Figure 3: Extrait de la carte des propriétaires (les couleurs identiques indiquent les mêmes propriétaires).....	6
Figure 4 : Analyse historique	7
Figure 5: Etat actuel hydromorphologique Source Géoportail.lu	9
Figure 6: Classification selon le concept de la connectivité des habitats aquatiques (source : géoportail.lu)	11
Figure 7: Longue section rectiligne, sans diversité d'écoulement et de structures particulières et une végétation des berges très localisée voire inexistante	13
Figure 8: Structures particulières selon le type 9.1 de la typologie LAWA (S. D ÖBBELT-, et al., 2013).....	14
Figure 9: Illustration de la sinuosité d'un cours d'eau du type 9.1 de la typologie LAWA (S. D ÖBBELT-, et al.,.....	15
Figure 10: Dimensionnement du méandre (source : https://content.ces.ncsu.edu/natural-stream-processes).....	16
Figure 11: Alternance mouille/radier (source : https://aida.ineris.fr/consultation_document/7301) .	18
Figure 12: Croquis de travail du tracé de la future renaturation selon le critère historique - variante 1	21
Figure 13: Profil en travers avec présentation de la différence de hauteur entre le thalweg et la crête des berges existantes	22
Figure 14: Croquis de travail du tracé de la future renaturation selon le critère thalweg - variante 2.	23
Figure 15: Principe d'aménagement de souches maintenues par des pilotis en bois	24
Figure 16: Schéma bilan des mesures sur l'Alzette et leurs effets (Réalisation personnelle).....	25
Figure 17: Profil en long du modèle HEC-RAS montrant le rehaussement du niveau d'eau de la situation projetée comparé à la situation existante sans terrassement des berges	27
Figure 18: Localisation de l'étude de faisabilité 2 : Le Reichelbaach à Clervaux	29
Figure 19: Site d'étude du projet	30
Figure 20: Localisation des débits régionalisés	31
Figure 21: Localisation de la portion du cours d'eau avec de potentiels méandres historiques (source géoportail)	33

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Débits régionalisés pour le bassin versant de l'Alzette	5
Tableau 2: Description de l'évolution des paramètres largeur et longueur au cours des années.....	6
Tableau 3: Tableau des typologies de référence.....	8
Tableau 4 : Analyse hydromorphologique	9
Tableau 5: Paramètres évalués pour chaque tronçon	13
Tableau 6: Récapitulatif des différents paramètres pour l'état actuel et l'état projeté	16
Tableau 7: Comparaison des paramètres caractéristiques de la géométrie actuelles et projetées.....	16
Tableau 8: Récapitulatif de la puissance spécifique en l'état actuel et projeté (en W/m ²)	17
Tableau 9: Distance entre mouille et radier.....	17
Tableau 10: Dimensions projetées du corridor de développement du Kiemelbach	19
Tableau 11: Récapitulatif de l'analyse hydromorphologique	19
Tableau 12: Variante 1 - Dimensions projetées du lit d'été, du lit moyen et du lit de plein bord (selon HQ ₂ : dans les méandres et points d'inflexion (PI))	21
Tableau 13 : Variante 2 - Dimensions projetées du lit d'été, du lit moyen et du lit de plein bord (selon HQ ₂ : dans les méandres et points d'inflexion (PI))	23
Tableau 14: Débits régionalisés.....	31
Tableau 15: Estimation du débit du Reichelbaach avec les données régionalisées	32
Tableau 16: Estimation des débits maximums.....	32

I Introduction

Depuis le début de la révolution industrielle dans les années 1760, nos territoires n'ont pas cessé d'être modifiés. L'état naturel des territoires est alors changé laissant place à un nouveau paysage adapté aux besoins de la population. Les cours d'eau sont déplacés et canalisés empêchant toute dynamique fluviale naturelle. A cela vient s'ajouter l'artificialisation croissante des sols qui a un impact indirect sur le cours d'eau empêchant ainsi l'infiltration des précipitations ; une plus grande partie de ces dernières finissent alors dans les cours d'eau amenant avec elle toutes les diverses pollutions rencontrées sur leur parcours.

Depuis quelques années, des lois ont été établis pour encadrer ces développements et permettre de rester en accord avec la préservation de l'environnement (faune, flore), des masses d'eau souterraines et de surfaces, et ainsi maintenir voire améliorer leur qualité. Ces lois s'inscrivent dans une démarche visant à éviter entre autres une aggravation des inondations en zone urbaine ou une augmentation des phénomènes d'anthropisation.

Toutes les études environnementales prennent appuies sur des directives, des lois ou bien des règlements tels que ceux cités ci-dessous :

- La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) établit des règles à respecter pour les différents Etats de l'union Européenne concernant la bonne gestion des eaux de surface, souterraines, intérieures et de transition afin de parvenir au bon état écologique des différentes masses d'eau.
- La Directive Habitat fixe des règles afin d'obtenir une « amélioration de la qualité de l'environnement y compris la protection des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages ».
- La Directive Inondation émet des mesures pour atténuer les effets des inondations sur le territoire car elles constituent une menace pour les vies humaines et ont un impact néfaste sur l'environnement ainsi qu'au niveau du développement économique.
- La loi modifiée du 18 juillet 2018 concernant la protection de la nature et des ressources naturelles a principalement pour objectifs de sauvegarder le caractère, la diversité et l'intégrité de l'environnement naturel.
- La loi sur l'eau du 20 juillet 2017 établit les règles à suivre quant à la gestion des eaux sur l'ensemble du territoire.
- Le règlement grand-ducal du 16 avril 2003 qui porte sur la réglementation des périodes de pêche et de la taille légale de bonne prise pour les différentes espèces de poissons fixe les périodes de pêche pour certaines espèces de poissons.
- Le règlement grand-ducal du 8 janvier 2010 concerne la protection intégrale et partielle de certaines espèces de la flore sauvage et énumère les espèces en question.

Ces quelques lois énumérées servent de cadre pour tous les projets environnementaux. C'est dans ce contexte que les études de faisabilité sont réalisées.

Le Luxembourg vit actuellement un boom démographique causé par la main-d'œuvre qualifiée provenant des pays frontaliers et même du monde entier et ayant décidé d'y faire carrière. C'est un pays qui déploie les moyens pour l'aménagement de son territoire et pour augmenter sa capacité à accueillir une population plus importante qui engendrent donc un impact sur le milieu naturel

L'expertise du Bureau d'études Micha Bunusevac intervient dans le domaine de l'environnement afin d'aider les administrations publiques et étatiques et les entreprises privées à réaliser leur projet de restauration de cours d'eau, de zones humides, de murs en pierres sèches, d'assainissement...

Dans un premier temps, il sera présenté la première mission qui est une mesure compensatoire. Il s'agit d'un projet de contournement de route ayant un impact sur un cours d'eau et ses habitats écologiques.

Dans un second temps une deuxième mission sera présentée, elle consiste en une étude de faisabilité pour la mise à ciel ouvert d'un cours d'eau canalisé et enterré en vue d'un projet de construction d'un viaduc.

Ce rapport présente le déroulé de deux études de faisabilité distinctes.

II Présentation du bureau d'études Micha Bunusevac

Le bureau d'études Micha Bunusevac est en activité depuis 1998 et est spécialisé dans les domaines du génie civil, de l'assainissement hydraulique et de l'environnement.

Le bureau d'études est mandaté pour plusieurs projets au Luxembourg par des organismes publics tels que les Administrations communales, les Administrations des Ponts et Chaussées, l'Administration de la Gestion de l'Eau et l'Administration de la Nature et des Forêts mais également par des organismes privés. Les missions attribuées sont principalement des renaturations ou des nécessités de compensation de volume de rétention lors de la réalisation de PAP (Plan d'Aménagement Particulier). D'autres missions s'accompagnent de la gestion des réseaux (eaux pluviales et eaux usées), de la réalisation de pistes cyclables ou encore de la restauration des murs en pierres sèches. Ces missions, bien que différentes dans leur domaine et dans leur réalisation technique, sont souvent liées dans un même projet.

Les domaines d'activités y sont divers. On peut recenser les thématiques suivantes

- Génie civil

Conception, réalisation, réhabilitation et contrôle d'infrastructures telles que les digues, bassins de retenue, ponts, passerelles...

- Renaturation de cours d'eau

Hydrologie, hydraulique, hydromorphologie, génie végétal, géologie, évaluation des biotopes, situation historique, évaluation des tronçons de références.

- Protection contre les inondations

Bassin de retenue, hydraulique, hydrologie, mesure de protection (élargissement, muret, by-pass), gestion amont du bassin versant.

- Passe à poissons

Hydraulique, hydrologie, dimensionnement, réglementation technique, ichtyocénose.

- Pistes cyclables

Conception, dimensionnement, analyse des contraintes (environnementales, urbaines, techniques), voirie, mobilité douce, développement durable, intégration paysagère.

- Assainissement

Bassin de rétention, construction en zone inondable, réseau séparatif, eau usée, eau pluviale

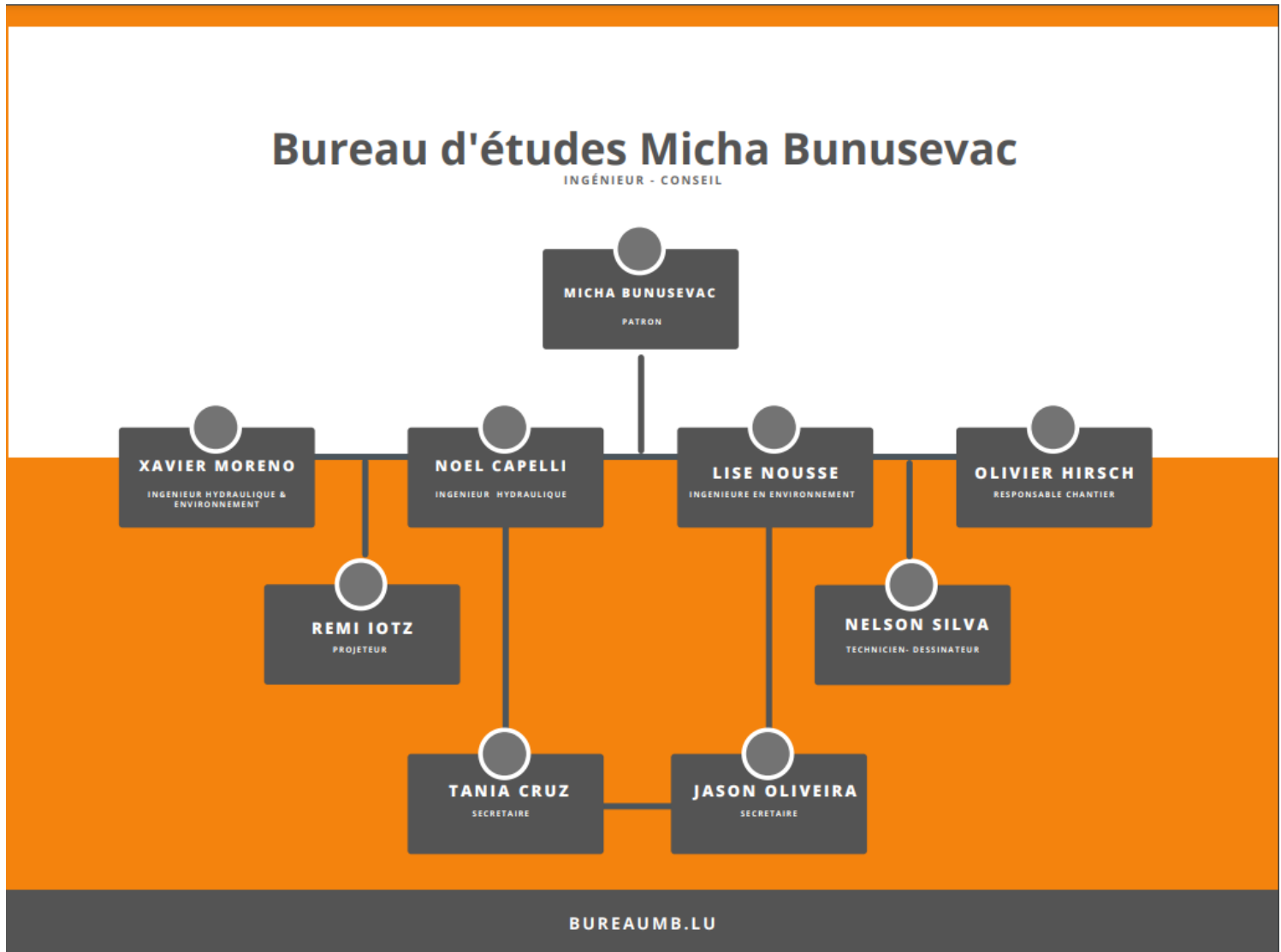
- Concept PAP

VRD : Voirie, réseaux Divers, trottoir, parking

- Mur en pierres sèches

Conception, dimensionnement, matériaux, viticulture, intégration paysagère, environnement

Figure 1: Organigramme représentant l'organisation actuel du bureau d'études Micha Bunusevac



III. Matériels et méthode

La première étude présentée est celle d'une mesure compensatoire pour un projet de contournement mandaté par l'Administration des Ponts et Chaussées au sein de la commune de Roeser se situant dans la région sud du Luxembourg. L'étude de faisabilité porte sur la renaturation de l'Alzette, cours d'eau prenant sa source en France avec pour longueur 2.7 km uniquement pour sa partie française puis entre au Luxembourg pour rejoindre les villes de Luxembourg et Mersch et à son exutoire dans la commune d'Ettelbruck. Sa longueur totale est de 73 km.

Etape 1 : Appropriation des données concernant le cours d'eau et les caractéristiques environnementales - Etude de la situation existante

Avant de débuter mon étude de faisabilité, j'ai dû m'approprier les différentes notions concernant l'étude hydromorphologique au Luxembourg. Pour les questions environnementales, le Luxembourg se base sur la législation française et allemande. La lecture de ces documents m'a permis de mieux comprendre le cheminement des études de faisabilité et d'assimiler les notions importantes. De plus, parcourir des dossiers déjà achevés m'a permis de découvrir la structure attendue et de comprendre les attentes du bureau d'études.

L'étude de faisabilité s'est effectuée sans avoir été au préalable sur le terrain. De ce fait, l'analyse de cartes, l'outil Géoportail ainsi que des discussions avec mes collègues ont été bénéfiques pour mieux comprendre la situation existante.

1.1 Géologie

L'étude de la géologie constituant la zone nous permet de déterminer sur quel substrat le cours d'eau s'écoule, ce qui nous permettra par la suite de déterminer la typologie du cours d'eau. Ici on constate que l'Alzette se compose essentiellement de Marne feuilletées (Im2) et des Alluvions de vallées. Les Alluvions des vallées entourent le cours d'eau sur environ 620 m. Le fond du lit est alors composé majoritairement d'argile, limon et sable, la perméabilité y est variable et la consistance est meuble. Les marnes plus ou moins éloignées du cours d'eau sont peu perméables avec une consistance semi-consolidée à consolider (voir carte ci-dessous).

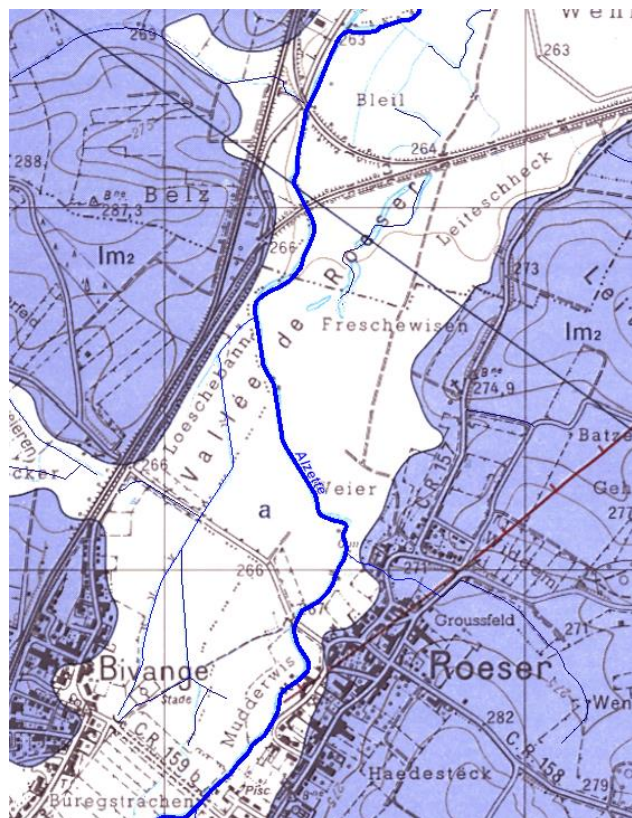


Figure 2: Géologie autour du tronçon d'étude de l'Alzette (source : geoportail.lu)

1.2 Hydrologie

Les données concernant l'hydrologie du cours d'eau sont renseignées par l'Administration de la Gestion de l'eau (AGE), après que le bureau d'études a effectué une demande pour recevoir ces informations. Ce sont les débits régionalisés concernant notre tronçon d'étude. Ces données sont importantes car elles nous renseignent sur les différents débits enregistrés au plus près de notre zone d'étude. Ces données nous permettront par la suite de calculer de nombreux paramètres. Nous recevons les données suivantes :

- EZG-ID : Identifiant zone de prélèvement
- EZA. A_E : Superficie du bassin versant
- MNQ : Moyenne des débits minimaux
- MQ : Débit moyen
- MHQ : Débit moyen des hautes eaux
- HQ2 : Débit de crue biennale
- HQ10 : Débit de crue décennale
- HQ100 : Débit de crue centennale

Tableau 1: Débits régionalisés pour le bassin versant de l'Alzette

EZG ID	EZG A_E	MNQ	MQ	MHQ	HQ2	HQ10	HQ100
	[km ²]	[m ³ /s]					
1623	248,2	0,337	2,44	33,84	38,77	60,10	95,70
1599	253,5	0,351	2,51	34,66	39,41	61,10	97,10

1.3 La situation foncière

L'étude de la situation foncière nous permet de prendre conscience des contraintes éventuelles sur le terrain. En effet plus il y aura de propriétaires privés plus l'acquisition des terrains pour les travaux sera compliquée sur notre zone d'étude. La majorité des parcelles appartiennent à des propriétaires privés. Six agriculteurs exactement ont leurs parcelles autour de la zone d'étude dont 2 localisés à Alzingen, 3 à Roeser et 1 à Fentange. Le projet est susceptible d'impacter 8 différentes exploitations.

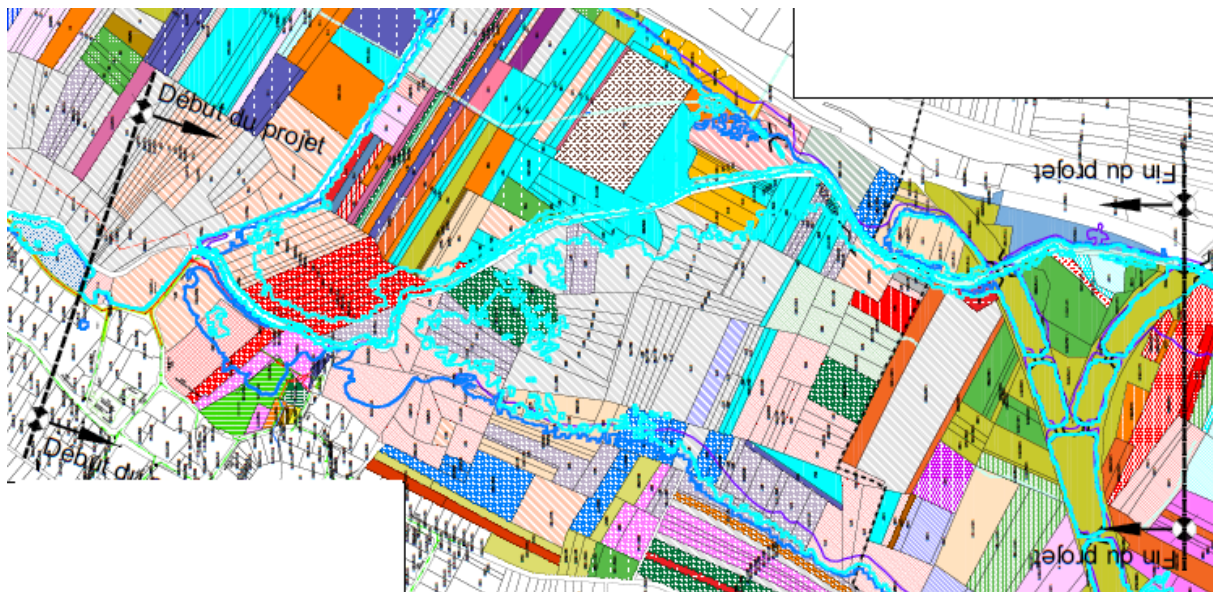


Figure 3: Extrait de la carte des propriétaires (les couleurs identiques indiquent les mêmes propriétaires)

1.4 Situation historique

L'étude de la situation historique nous permet de visualiser et d'avoir des informations quant à la situation du cours d'eau avant, si possible, l'apparition d'impacts anthropiques notable sur sa morphologie. Cette donnée est très importante car elle va servir de support pour la renaturation du cours d'eau. L'enjeu sera alors de se rapprocher au maximum de cet état d'origine tout en prenant en compte les contraintes actuelles et les évolutions des occupations du sol au sein du bassin versant.

Nous disposons des cartes de Nicolas Jamez datant de 1750 et des cartes de Ferraris datant de 1771. Dans notre cas d'étude, ces deux cartes nous permettent d'une part de connaître l'emplacement d'origine du cours d'eau ainsi que sa morphologie (son méandrage) mais aussi les dimensions, largeur profondeur du cours d'eau au XVIIIe siècle. Ainsi il est possible de comparer les dimensions actuelles à celles historiques.

Tableau 2: Description de l'évolution des paramètres largeur et longueur au cours des années

Année	1750	1771	Aujourd'hui
Profondeur (m)	2	1-2	3.4
Largeur (m)	6	10	17.4

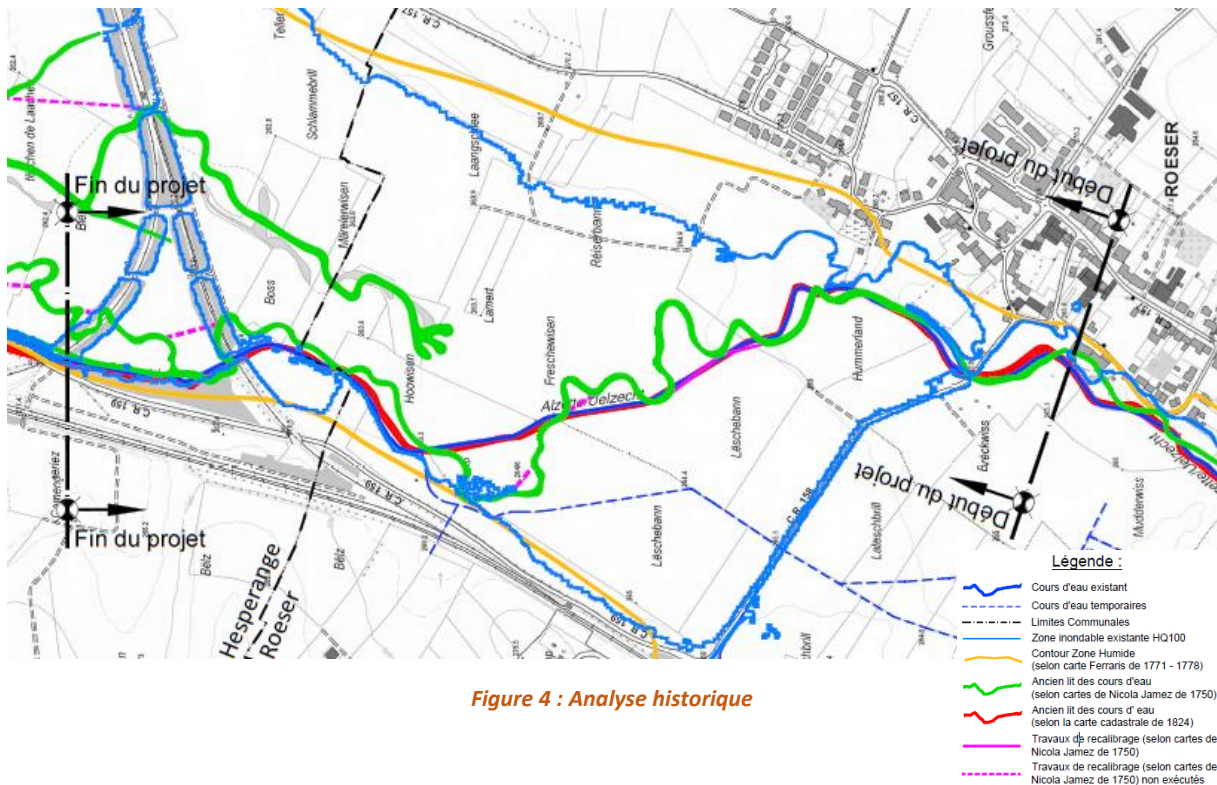


Figure 4 : Analyse historique

Etape 2 : Analyse de l'état cible

2.1 Définition de la typologie de référence

La renaturation a pour finalité de recréer (au mieux) ou de se rapprocher de l'état d'origine du cours d'eau. Pour cela, il faut connaître les conditions de référence de ce cours d'eau.

Plusieurs typologies nationales des cours d'eau existent au Luxembourg, celles retenues par le bureau d'études sont les suivantes :

- La typologie LAWA
Il s'agit d'une typologie allemande qui est tout de même assignée aux masses d'eau de surface luxembourgeoises. On les retrouve sur Géoportail. Il existe six différents types au Luxembourg
- La typologie Ferréol (2014)
Cette typologie fait foi pour la mise en œuvre de la DCE au Luxembourg. Dans cette typologie Il existe 6 classifications différentes classifiant les types de cours d'eau, du type I au type VI.

Le tronçon étudié de l'Alzette appartient au type LAWA 9.1: *Karbonatische, fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse* (Rivières carbonatées de basse montagne, riche en matières fines et grossières) et au type V Ferréol : « Rivières de l'étage collinéen du Gutland ».

Ces différentes typologies nous permettent de classifier les cours d'eau comme suit :

Tableau 3: Tableau des typologies de référence

Valeurs cibles Ferréol		Valeurs cibles LAWA	
Morphologique		Morphologique (très bon état écologique)	
Type	V (lias)	Type	9,1
Type de vallée	Fond plat ou alluviale, parfois méandreuse	Type de vallée	Vallée alluviale
Pente du fond de vallée ‰	0.7-4	Pente du fond de vallée ‰	/
Sinuosité	Sinueux ou méandreaux	Sinuosité	>1.5 (méandreaux à très méandreaux)
Type de substrat dominant	Argiles et sable	Type de substrat dominant	Limon, argile et sable fin
Type de substrat secondaire	Graveleux et pierreaux (Dominant dans le Muschelkalk)	Type de substrat secondaire	Minéral grossier et substrats organiques
Substrat organique		Substrat organique	Bois mort 5-10% feuillus, chevelus racinaires
Largueur du cours d'eau	15-25	Largueur du cours d'eau	/
Ripisylve		Ripisylve	Aulnes et frênes, chênaies, mégaphorbiaies
Description	Bras latéraux, berges escarpées, affouillement des berges, méandres bien dessinés	Description	Erosion présente (faible à forte). Alternance de profondeur modérée à importante (mouille-radier). Profil très plat à moyennement profond (1/3 à <1/10)

2.2 Cartographie du milieu physique

Pour déterminer l'état hydromorphologique actuel, on se base sur la cartographie hydromorphologique réalisée en 2013 par le bureau d'études Zumbroich (Planungsbüro Zumbroich, 2014), on retrouve cette carte sur Géoportail et elle permet de visualiser l'état de cinq zonages paramètres, qui sont les suivants : plaine alluviale gauche, berge gauche, lit mineur, berge droite, et plaine alluviale droite. Voir Figure 5 ci-dessous.

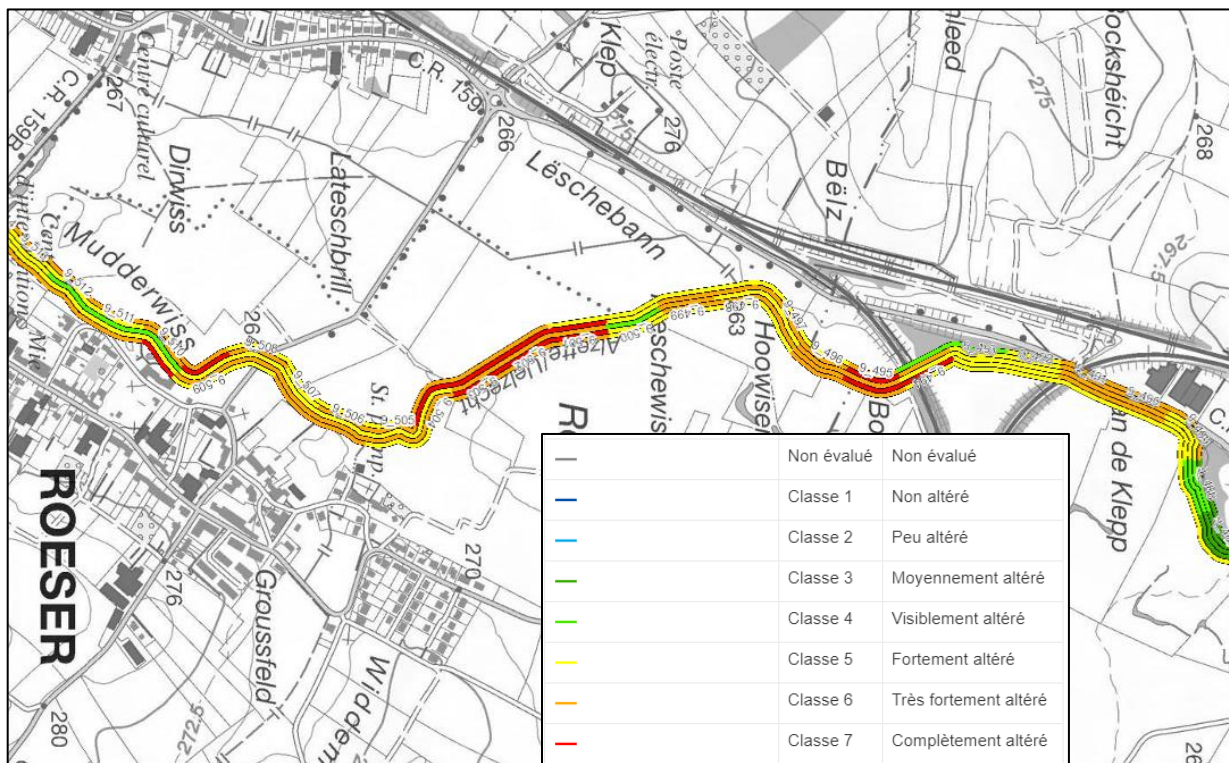


Figure 5: Etat actuel hydromorphologique Source Géoportail.lu

Le cours d'eau a été analysé par des sections de 100 m. Les classifications pour chaque bande sont les suivantes :

- **Lit mineur** → **classe 4 à 6** (visiblement altéré à très fortement altéré) ;
- **Berges** → **classes 5 à 7** (Fortement altéré à complètement altéré) ;
- **Plaines** → **classes 4 à 6** (visiblement altéré à complètement altéré).

Les classes des paramètres principaux sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Analyse hydromorphologique

Tronçon	Lit mineur			Berges		
	Style fluvial	Profil longitudinal	Structure du fond	Profil en travers	Structure des berges	
					Gauche	Droite
9_489	5	5	4	5	5	5
9_490	7	6	5	7	5	5
9_491	7	6	5	7	5	5
9_492	5	5	5	5	5	5
9_493	5	5	4	5	5	5
9_494	5	5	4	7	5	6
9_495	6	6	5	7	6	6
9_496	6	6	5	6	5	6
9_497	6	6	4	6	5	5
9_498	6	6	4	6	5	6
9_499	7	6	5	6	6	6
9_500	5	5	3	5	5	4
9_501	7	6	5	7	7	7

9_502	6	6	5	7	6	7
9_503	6	6	5	7	7	6
9_504	5	6	5	7	6	5
9_505	5	5	4	6	5	5
9_506	6	5	5	6	5	6
9_507	6	5	4	6	4	6
9_508	6	5	4	6	5	5
9_509	6	6	4	7	6	5
9_510	5	4	3	5	6	5

2.3 Etat cible selon le concept de connectivité des habitats aquatiques

« Le concept de la connectivité des habitats aquatiques se base sur le principe de la migration des espèces aquatiques depuis des habitats présentant des conditions locales favorables vers des habitats présentant des conditions moins favorables. Sur base de la cartographie du milieu physique qui a été réalisée en 2013-2014 ainsi que des conditions-cadre de planification et des restrictions présentes, le réseau hydrographique des masses d'eau de surface du Luxembourg a été divisé en six catégories d'éléments fonctionnels » (source géoportail.lu)

Cette étape permet de déterminer dans quel type de tronçon se trouve notre zone d'étude. Selon la zone de connectivité, des contraintes seront alors imposées. Voir Figure 6.

Notre zone d'étude ne comporte pas d'habitat particulier bien qu'une portion du tronçon soit en zone « Habitat central », nous n'en tiendrons pas rigueur étant donné que les aménagements n'iront pas jusqu'à cette zone. Le tronçon d'étude se trouve néanmoins dans une zone de liaison fonctionnelle. Les éléments tels que les structures transversales, les rejets de canalisation et les ponts ne doivent pas se retrouver sur cette portion ou ne pas impacter le milieu.

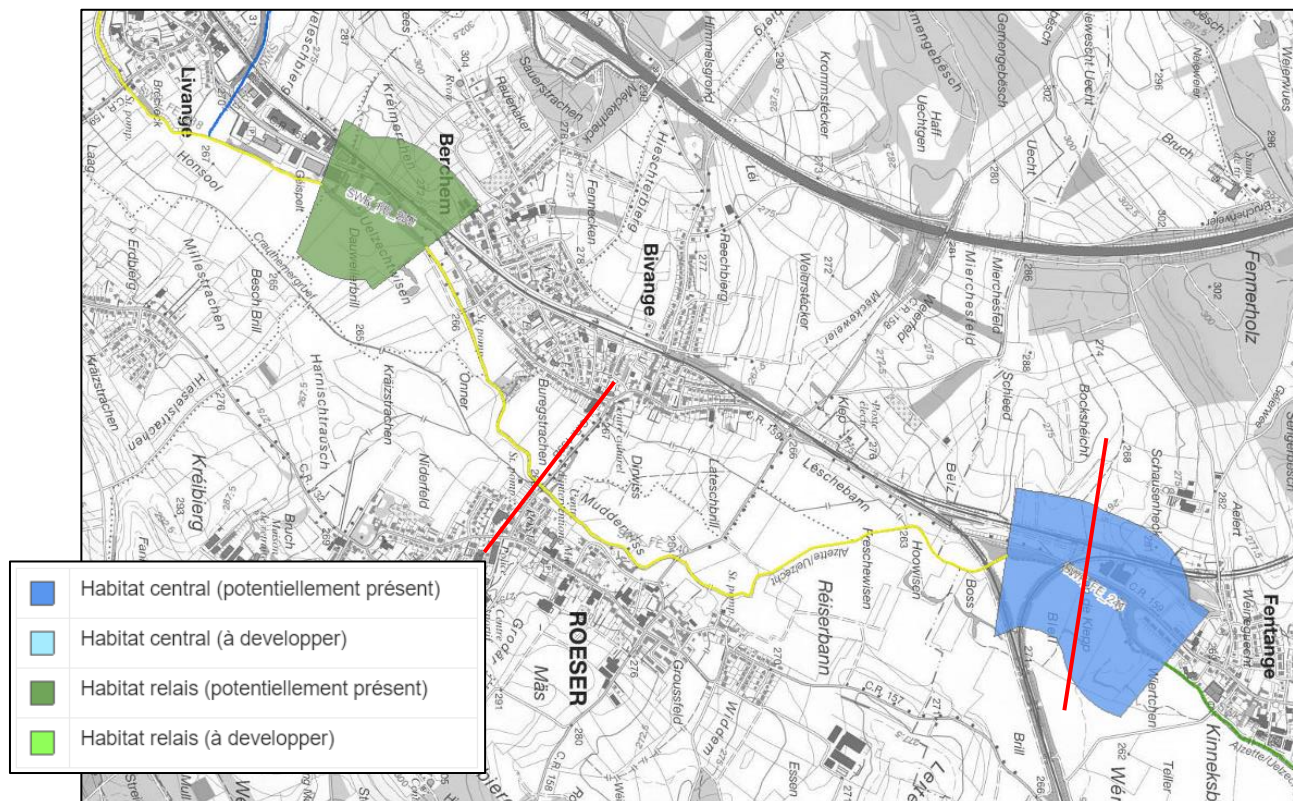
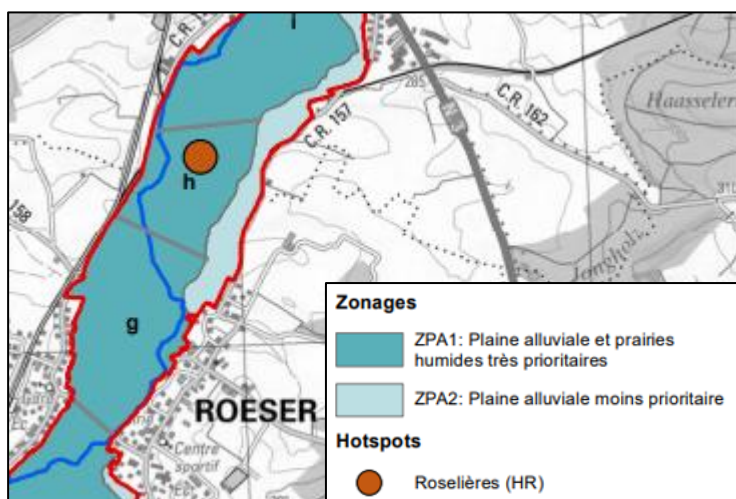


Figure 6: Classification selon le concept de la connectivité des habitats aquatiques (source : géoportail.lu)

2.4 Analyse Natura 2000

Par la suite, on cherche à savoir si notre zone d'étude se trouve être en zone Natura 2000, on retrouve cette information sur Géoportail. Avec ces données, on peut appliquer les plans de gestions sur notre zone d'étude. En l'occurrence le projet de renaturation est localisé dans la Zone de Protection Oiseaux Natura 2000 elle-même divisée en deux zones (voir image ci-dessous).



Selon le plan de gestion (ANF, 2018) le site de la Vallée de l'Alzette est important pour la préservation, le maintien et le rétablissement des populations d'espèces d'oiseaux sauvages. Pour ce faire, la renaturation de la plaine alluviale de l'Alzette avec la restauration de ses fonctions écologiques et le développement de prairies humides est **prioritaire**.

La plaine alluviale de l'Alzette **très prioritaire** est délimitée par les zones inondables HQ₁₀ ainsi que les biotopes suivants : prairies humides, BK10 (Prairies humides du Calthion) et BK11 (Friches humides, marais des sources, bas marais et végétation à petites Laïches).

Les objectifs suivants sont formulés :

1. Renaturation structurée de l'Alzette sur environ 25 à 50% du tronçon
2. Conversion des labours en prairies permanentes
3. Extensification de la totalité de la surface de la plaine alluviale en prolongeant les contrats de biodiversité existants
4. Sécurisation des biotopes en milieu ouvert, mise en place de contrats de biodiversité ou des mesures agro-environnementales (MAE)
5. Développement de Mégaphorbiaies sur les rives gauches et droites sur une distance de 5-10 m
6. Surveillance et lutte contre les espèces végétales et animales invasives (Balsamine de l'Himalaya, Berce du Caucase, Rat musqué, Oulette d'Egypte)
7. Surveillance des espèces cibles (Râle des genêts, Cigogne blanche)
8. Inventaire des mâts à haut risque d'électrocution pour les oiseaux et émettre un relevé de mesures techniques pour sécuriser les mâts à risques
9. Déplacer vers des sites plus adaptés les plates-formes artificielles des nids de la cigogne blanche
10. Restauration de 40% des prairies habitats potentiels (enlèvement de drains, humidifier)

Les zones ZP2 sont des zones dédiées principalement au maintien des herbages en l'occurrence ici les prairies maigres de fauche (6510) et quelques labours. Dans cette zone les objectifs sont d'obtenir un paysage rassemblant prairies et labours de façon structurée et de restaurer les prairies maigres de fauche. Pour cela les mesures suivantes sont à appliquer dans cette zone :

1. Restauration de 20 % des prairies dites habitats potentiels (enlèvement des drains, humidifier)
2. Installation de 10% de jachères ou de bandes enherbées sur labours

A cela vient s'ajouter la vérification des espèces et habitats qui seraient prioritaires dans la zone d'étude. Notre zone ressent un habitat, le mégaphorbiaies et cinq espèces à protéger. De plus, le cours d'eau l'Alzette se trouve en zone à barbeaux, elle est donc caractérisée comme Epipotamon. Pour la renaturation, il faudra prendre en compte les habitats des espèces cibles énumérés dans la fiche de l'ichtyocénose de référence (voir Annexe 1 : Ichnyocénose de référence)

Etape 3 : Analyse hydromorphologique

Maintenant que les informations majeures ont été recueillies quant à la zone d'étude, nous allons nous intéresser à l'analyse hydromorphologique.

Les paramètres du lit mineur vont être analysés en premier lieu comme ce sont les plus importants pour atteindre les conditions hydromorphologiques cibles. Ils sont subdivisés en trois groupes : style fluvial, profil longitudinal, structure du fond.

Au préalable, pour pouvoir classer les différents paramètres, les données ont été collectées sur le terrain pour chaque tronçon. La visite de terrain a été effectuée le 20 novembre 2018, le tronçon d'étude a été parcouru à pied sur la totalité du linéaire.

Sur les 600 premiers mètres, la sinuosité du lit est assez marquée avec des sections en méandres plus larges (environ 25 m de largeur contre 17 m en moyenne en point d'inflexion). Ces surlargeurs

s'accompagnent par la présence d'une structuration spécifique de cette morphologie à savoir une mouille, une érosion prononcée de la rive concave, une pente convexe douce avec une sédimentation localisée. La grande majorité du tronçon ne présente pas de structures particulières dans le lit mineur (banquette, bois mort, granulométrie diversifié) ni de diversité d'écoulement. Ceci s'explique notamment par les recalibrages réalisés par Nicolas Jamez en 1750 qui ont favorisé la mise en place d'un cours d'eau rectiligne avec une largeur identique sur de grands linéaires et par la nature du cours d'eau (faible pente longitudinale, profondeur marquée, granulométrie très fine).



Figure 7: Longue section rectiligne, sans diversité d'écoulement et de structures particulières et une végétation des berges très localisée voire inexistante

Par ailleurs, l'agriculture intensive des terrains le long du cours d'eau, la forte profondeur du lit (environ 3.3 m en moyenne) et l'appauvrissement de la ripisylve ne favorisent pas le développement morphologique du lit mineur et la mise en place de toutes les structures particulières typiques nécessaires à l'apparition et à l'implantation de niches écologiques (atterrissement longitudinaux et transversaux, bois mort, cache de sous berge, radier, etc...).

Le cours d'eau dispose néanmoins d'un potentiel de développement intéressant au vu de la largeur de la plaine alluviale (environ 700 m), des quelques méandres déjà présents et de la quantité de biotopes déjà en place sur la partie aval (voir Figure 7)

Les paramètres classés en cinq groupes ont été évalués pour chaque tronçon. Ce tableau ci-dessous regroupe les paramètres qui ont été évalués.

Tableau 5: Paramètres évalués pour chaque tronçon

Ecoulement	Profil longitudinal	Structure du lit	Profil en travers	Structures des berges	Plaine alluviale
Sinuosité	Ouvrages transversaux	Substrat du lit mineur	Type de profil	Végétation des berges (gauche)	Occupation des sols (gauche)
Erosion en extrados	Passages busés	Diversité du substrat	Profondeur du profil	Végétation des berges (droite)	Occupation des sols (droite)
Sédimentation longitudinale	Retenue d'eau	Aménagements du lit mineur	Erosion en largeur (dépend de 4.2)	Végétation des berges (droite)	Zones rivulaires (gauche)

Structures particulières du tracé	Sédimentation transversale	Structures particulières du lit mineur	Variation de la largeur	Aménagement des berges (droite)	Structures de l'environnement préjudiciables
	Diversité des écoulements		Ponceau/Ouvrage mineur	Structures des berges particulières (gauche)	
	Variation de la profondeur			Structures des berges particulières (droite)	
	Prises d'eau				

Grace à la typologie du cours d'eau préalablement identifiée, on peut avoir une image de la représentation type du cours d'eau avec ses structures particulières.



Figure 8: Structures particulières selon le type 9.1 de la typologie LAWA (S. D ÖBBELT-, et al., 2013)

3.1 Sinuosité

Pour renaturer au mieux le cours d'eau, il est important de savoir quelle était sa sinuosité d'origine. Cela peut être trouvé grâce aux cartes historiques (la connaissance de la géologie est alors un atout), en estimant les méandres ou lorsqu'on connaît la typologie du cours d'eau dans ce dernier cas, l'indice de sinuosité nous est indiqué.

Selon les typologies l'indice de sinuosité de notre cours d'eau doit être compris entre **1.25** et **2** (c'est-à-dire entre très sinueux à fortement méandreaux)

Ces valeurs sont une combinaison des différentes sources :

1. Typologie LAWA : entre 1.5 et 2 (voir aussi Figure 9 ci-dessous)
2. Typologie FERREOL : entre 1,25 et 2 pour une vallée à fond plat
3. Selon (Gebler , 2005) pour une vallée alluviale : >1.5

La sinuosité projetée d'un cours d'eau peut être calculée selon la formule suivante (Gebler , 2005) :

$$W = \frac{Lw}{Ls}$$

W : Indice de sinuosité

Lw : Longueur développée du cours d'eau [m]

Ls : Longueur selon l'axe d'orientation du cours d'eau [m]

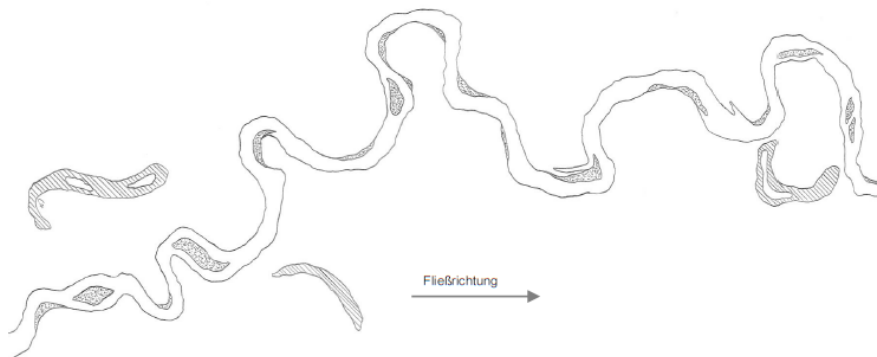


Figure 9: Illustration de la sinuosité d'un cours d'eau du type 9.1 de la typologie LAWA (S. D ÖBBELT-, et al.,

L'Alzette présente actuellement une sinuosité de +/- 1.16 avec Lw= 1780 et Ls=1530, soit une sinuosité inférieure à la typologie de référence. La situation historique montre en effet une sinuosité plus forte que la situation actuelle.

(Lw : Longueur développée du cours d'eau [m] et Ls : Longueur selon l'axe d'orientation du cours d'eau [m] voir Figure 10).

Un autre paramètre important concernant le méandrage est la longueur d'onde et amplitude naturelle du méandre. En analysant les cartes historiques à Roeser, ces valeurs peuvent être définis pour la situation projetée (voir tableau ci-dessous).

Tableau 6: Récapitulatif des différents paramètres pour l'état actuel et l'état projeté

	Actuel	Projeté
Longueur d'onde (m)	-	110 - 250
Amplitude (w)	-	40 - 180

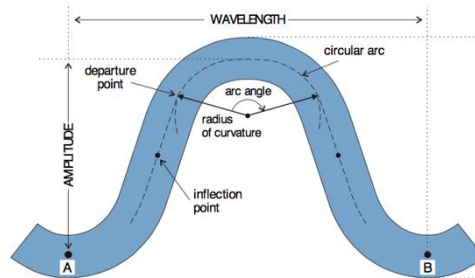


Figure 10: Dimensionnement du méandre (source : <https://content.ces.ncsu.edu/natural-stream-processes>)

3.2. Géométrie de plein bord

Les caractéristiques du lit mineur à plein bord (soit avant débordement dans la plaine alluviale) constituent des paramètres essentiels pour étudier la morphologie d'un cours d'eau et ses dysfonctionnements.

Il est couramment admis que le débit de pleins bord des cours d'eau naturels sont des débits avec une période de retour correspondant à une crue d'une fréquence de 1,5 à 2,5 ans (voir p.ex. : (Malavoi & Bravard, 2011; Leopold, 2005)). En s'appuyant sur cette hypothèse, il est possible de définir les caractéristiques morphologiques de l'Alzette en prenant un débit d'une crue égale à 2 ans soit $HQ_2 = 39,41 \text{ m}^3/\text{s}$

(Le dimensionnement s'effectue par la réalisation d'un calcul de Manning-Strickler en point d'inflexion (section de base hydraulique) (voir Annexe 2 : Formules))

L'analyse hydromorphologique a révélé une incision du lit qui ne permet pas un débordement à partir du débit morphogène HQ_2 . En l'état actuel, le niveau d'eau HQ_2 se trouve à 60 cm en moyenne en dessous des hautes berges sur l'ensemble du tronçon. Ce dysfonctionnement peut être rectifié par un rehaussement du fond du lit qui peut également s'accompagner d'un terrassement de la plaine alluviale, si nécessaire.

Le résumé des différents paramètres liés à la profondeur est présenté dans le tableau ci-dessous

Tableau 7: Comparaison des paramètres caractéristiques de la géométrie actuelles et projetées

	Situation existante Moyenne (min - max)	Situation projetée Min - Max
Profondeur HQ_2 (m)	2.6 (1.55 – 3.68)	2.2 – 2.7
Profondeur de plein bord (m)	3.29 (2.46 – 4.14)	
Largeur de plein bord (m)	17.3 (12.2 – 24.9)	17 – 33
Rapport P/L	1/5 (1/8 - 1/3)	1/11 - 1/6

3.2.1 : Puissance spécifique

La puissance spécifique caractérise la potentialité dynamique du cours d'eau et donc sa capacité d'ajustement. Elle est calculée en utilisant le débit et la largeur de plein bord.

Tableau 8:Récapitulatif de la puissance spécifique en l'état actuel et projeté (en W/m²)

	Situation existante	Situation projetée
Puissance spécifique (W/m²)	14 - 28	14 - 20

Sur l'ensemble du linéaire, l'Alzette présente une faible puissance spécifique, caractéristique des cours d'eau peu dynamiques avec faible capacité d'ajustement. L'érosion des rives est plutôt inexistante en-dessous de 35 W/m² (Voir Tableau 8). Ainsi un reméandrage utilisant des techniques basées sur l'auto-développement du cours d'eau ne pourront pas être proposées ici.

Les valeurs projetées sont légèrement plus faibles du fait du rehaussement du fond du lit et de la largeur de plein bord augmentée, néanmoins ces ajustements permettent un débordement au débit morphogène HQ₂.

3.2.2 : Structure du fond

La structure du fond manque de structures particulières du fond (tourbillon de turbulence, racines, alternance mouille/radier), considéré comme étant très important pour le développement d'habitats et donc pour la diversification d'une flore et d'une faune typique (Dahm, et al., 2014). Pour la planification des futures mesures, la distance naturelle entre mouilles / radiers est importante. Selon la littérature (Malavoi & Bravard, 2011; Leopold, 2005; Gebler, 2005), la distance entre les mouilles aussi bien que la distance entre les radiers est estimée entre 4 – 7 fois la largeur plein bord pour un cours d'eau naturel. Il est à noter que ces gammes sont utilisées à titre indicatif pour le choix du tracé du lit projeté, il s'agit d'estimations approximatives. Voir tableau ci-dessous.

Tableau 9:Distance entre mouille et radier

	Tronçon d'étude (Min – Max)
Largeur de plein bord au point d'inflexion (m)	17 - 24
Distance entre séquences mouille-radier (m)	68 - 168

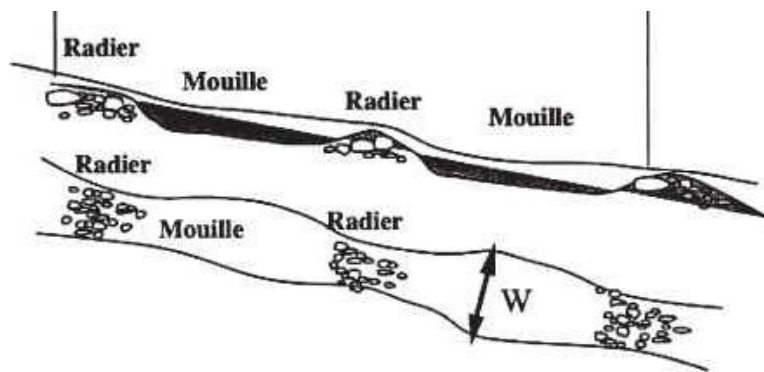


Figure 11: Alternance mouille/radier (source : https://aida.ineris.fr/consultation_document/7301)

3.4 Paramètres principaux des berges

Les berges sont évaluées dans les classes 5 à 7 (fortement altéré à complètement altéré). Pour pouvoir proposer des mesures conformément à l'état actuel des berges et pour connaître les déficits principaux, les sous-paramètres des deux groupes hydromorphologiques ont été évalués : les profils en travers et la structure des berges.

Pour le **profil en travers**, l'évaluation résulte d'une incision du lit trop importante avec une faible variabilité de profondeur et de largeur du cours d'eau. Ces paramètres seront améliorés avec le reméandrage qui favorisera ces variations de sections et de profondeur.

De plus, après concertation avec l'AGE, la largeur MQ naturelle est d'environ **12,5 - 13 m**. Dans la situation actuelle cette largeur varie entre **6,2 m et 11,56 m** avec une moyenne de **8,75 m**.

Pour la **structure des berges**, l'état fortement altéré résulte des déficits suivants :

Absence de végétation typique de la ripisylve (ou très éparse) entraînant un sur-ensoleillement du lit ;
Structure des berges non diversifiée, provoquant un manque de diversité d'habitat.

3.5 Paramètres principaux de plaine

Pour pouvoir proposer des mesures conformément à l'état actuel de la plaine et pour connaître les principaux déficits selon le concept de la connectivité des habitats, les paramètres suivants concernant la plaine ont été évalués : utilisation des sols, bande rivulaire, structures particulières, structures endommageantes. Les plaines alluviales sont évaluées entre les classes 4 et 7 (visiblement altéré à complètement altéré). Ceci est principalement dû à une intensification des pratiques agricoles générant un drainage des parcelles, et au fait que la végétation de la plaine est inadaptée ou très éparse. Par ailleurs, l'agriculture pratiquée jusqu'en bordure du cours d'eau empêche tout maintien d'une bande rivulaire en forêt alluviale ou en succession végétale et provoque l'appauvrissement écologique du ruisseau.

3.5.1 : Dimensionnement de l'espace de liberté et de la bande rivulaire

Compte tenu de la taille de l'Alzette à Roeser, nous préconisons le développement d'une **bande rivulaire** d'une largeur de **10 m** de chaque côté du cours d'eau, qui commence à partir de la crête des berges. Dans la bande rivulaire, aucun apport direct des substances artificielles (pesticides, engrais, etc.) n'est permis, donc aucune utilisation par une agriculture intensive n'est tolérée (MUNLV NRW, s.d.).

Le corridor de développement (« Entwicklungskorridor ») consiste en l'espace autour du cours d'eau qui est nécessaire pour son développement naturel (formation des méandres). Cet espace peut être utilisé par des tiers contrairement à la bande rivulaire (MUNLV NRW, 2010). Selon la typologie LAWA, le corridor de développement est fonction de la largeur naturelle du lit moyen. Les dimensions projetées sont les suivantes :

Tableau 10: Dimensions projetées du corridor de développement du Kiemelbach

	Tronçon d'étude (min - max)
Largeur projetée du lit moyen (m)	6 - 13
Corridor de développement (m)	30 - 130

3.6 Structures endommageantes

Lors de la visite de terrain qui a été effectué avant mon arrivée, des photos montrant l'état du cours d'eau ont été prises. Les structures endommageantes ont été recensées. Voir annexe X pour visualiser les différentes structures.

3.7 Résumé hydromorphologique

Suite à l'étude hydromorphologique, les caractéristiques (retrouvées dans les différents aménagements) formant le lit existant et le lit projeté de l'Alzette sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 11: Récapitulatif de l'analyse hydromorphologique

Paramètres	État existant	État projeté
Sinuosité du cours d'eau	Indice de sinuosité actuel $\approx 1,16$	Voir variante 1 et 2 chapitre suivant
Profondeur	Profil modérément profond ($P/L \approx 1/5$)	Très plat à peu profond ($1/10 < P/L < 1/3$)
Variabilité de la profondeur	Faible	Modérée à forte (séquence radiers-mouilles)
Variabilité de la largeur	Aucune à faible	Grande
Diversité d'écoulement	Faible à modérée	Modérée à très grande
Substrat du fond du lit	Sable, limon et argiles	Prédominance de limon, d'argile et de sable fin, avec présence de pierres, blocs, gravier ou substrat organique
Bancs de sédiments longitudinaux et transversaux	Aucun	Peu à beaucoup
Structures particulières	Rares, quelques accumulations de bois mort	Nombreuses
Occupation des sols (Ripisylve)	Prairie dominante, mégaphorbiaie, herbe, ripisylve très éparse et non connective au cours d'eau	Bandes rivulaires : végétation arbustive typique formant une ripisylve connective

Occupation des sols (plaine)	Prairie dominante	Prairie humide et à pâturage extensif (selon la situation d'exploitation en vigueur, contrat biodiversité etc...)
Structure du lit d'été	Structure globalement homogène. Présence de quelques racines/bois mort	Alternance de mouilles / radiers formant des zones à fond plat et des poches d'eau. Distance estimée entre 68 et 168m Bois mort/souches/blocs rocheux
Largeur du lit d'été (m)	6 (3 – 10)	5.5 (3 – 8)
Largeur du lit moyen (m)	8.7 (6 – 11.6)	9 (5.7 – 13)
Largeur haut de berge du lit mineur (m)	17.3 (12.2 – 24.9)	17 – 33
Largeur espace de liberté (lit majeur)	-	30 à 130 m

Etape 4 : Propositions de mesures, situation projetée

Une étude de faisabilité réalisée en 2019 proposait un aménagement visant à déplacer le cours d'eau de l'Alzette dans le Talweg. Une seconde variante va être proposée à l'issue de l'analyse des différents paramètres qui est la recréation du tracé historique du cours d'eau afin que l'Alzette puisse retrouver sa morphologie d'origine dans la mesure du possible. En effet il est préférable quand cette option est possible de retracer le cours d'eau tel qu'il était à l'origine, avant tout impact anthropique. Deux variantes sont alors proposées.

4.1 Variante 1 : Reméandrage et élargissement du lit

Le lit actuel a une sinuosité faible comparée à celle de la situation historique de 1750. La variante 1 vise à restaurer autant que possible l'ancien tracé historique afin de conserver un méandrage cohérent (en amplitude et longueur d'onde) et naturel.

Cette mesure sera réalisée sur toute la longueur du tronçon d'étude et permettra d'atteindre une sinuosité d'environ 1.53 (contre 1.16 pour la sinuosité existante).

L'Alzette, à cet endroit, ne dispose pas d'une assez grande puissance spécifique pour que le reméandrage puisse s'effectuer par ajustement hydromorphologique, c'est pourquoi le reméandrage se fera par terrassement. Par ailleurs, pour limiter les terrassements, certaines sections du lit existants seront conservées et élargies selon le reméandrage proposé. Vu la qualité hydromorphologique du cours d'eau existant, il n'est pas préconisé de conserver des linéaires intacts mais plutôt de restaurer le fond du lit et les berges.

Comme indiqué précédemment le lit actuel de l'Alzette à Roeser est profond et incisé avec des berges raides. Ces conditions ne permettent pas de connexion avec la plaine alluviale indispensable à l'enrichissement et le développement de niches écologiques. Des zones de biotopes se trouvent en rive droite notamment à l'aval du tronçon d'étude. Pour maximiser les zones humides (inscrit dans le plan de gestion Natura2000) et permettre le développement d'une morphologie plus adaptée, il est préconisé une inondation de la plaine à partir de +/- HQ₂. Ce rehaussement sera en moyenne de 0.8 m (de 0.2 à 1.6 m). Pour ne pas uniquement rehausser le fond du lit, un retalutage des berges, et notamment un abaissement, est proposé ponctuellement sur des tronçons où des connexions avec la

plaine alluviale nécessite peu de terrassements, et peut permettre la création d'annexes hydrauliques (mares, bras mort, ou lac d'oxbow) ou d'agrandir la surface de zones humides déjà implantées.

La pente moyenne projetée sera régulière et identique à la pente existante autour de 0.09 %.

Ces mesures vont permettre d'obtenir une plus grande capacité de rétention notamment dans les zones dites de biotopes.

Suite à l'analyse hydromorphologique et à la réalisation des calculs de Manning-Strickler, les dimensions du lit projeté sont détaillées dans le tableau ci-dessous. Pour le lit mineur à plein bord, le dimensionnement a été décomposé en deux zones ; les zones de mouilles dans les méandres et les radiers au niveau des points d'inflexion. Pour MQ et HQ₂, les profondeurs sont données sans inclure la profondeur MNQ.

Tableau 12: Variante 1 - Dimensions projetées du lit d'été, du lit moyen et du lit de plein bord (selon HQ₂ : dans les méandres et points d'inflexion (PI))

	MNQ	MQ	HQ ₂	
			PI	Méandre
Largeur niveau d'eau (m)	3 – 8	5.7 – 13	17 – 25	25 – 33
Profondeur (m)	0.2 – 0.8	0.4 – 1	2.2 – 2.7	2.2 – 2.8

Ces dimensions offrent au cours d'eau le potentiel de se développer naturellement permettant de créer une diversité de substrat (minéral/végétal, fin/grossier), de dynamique (érosion/dépôt), d'écoulement (rapide, lent), et de hauteur d'eau (mouille/radier).

Une représentation sous forme de croquis du tracé de la future renaturation pour la variante 1 est visualisable ci-dessous.

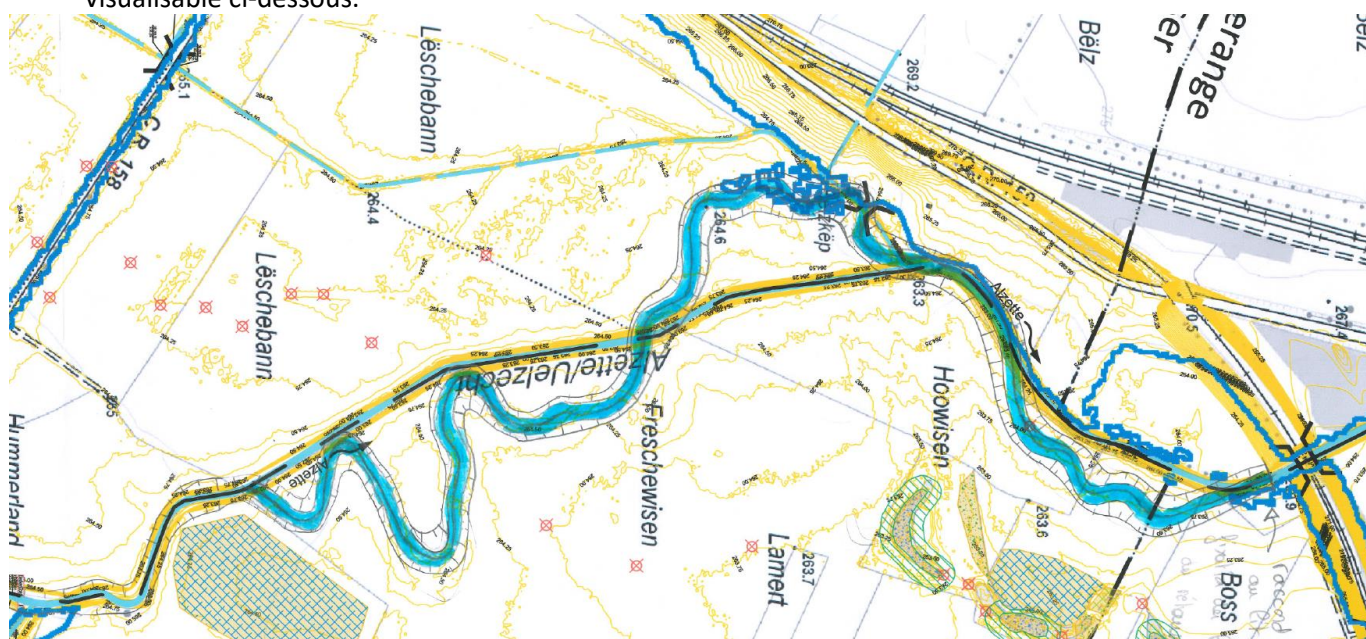


Figure 12: Croquis de travail du tracé de la future renaturation selon le critère historique - variante 1

4.2 Variante 2 : Déplacement du lit dans le talweg

Cette variante consiste à déplacer le cours d'eau dans le talweg en prenant en considération les exploitations et leur faisabilité d'acquisition.

En effet, les points bas sont relativement bien marqués dans la plaine alluviale de l'Alzette (environ 1 m en-dessous des hautes berges existantes, voir image ci-dessous). Il peut alors être judicieux de retracer le cours d'eau à cet endroit.

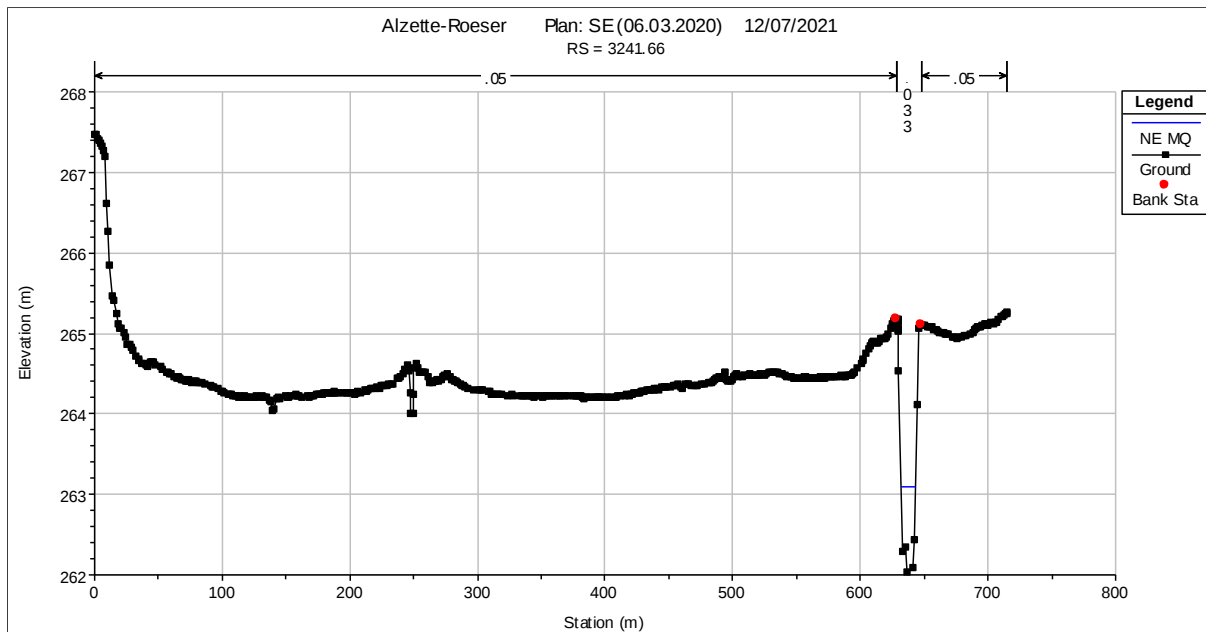


Figure 13: Profil en travers avec présentation de la différence de hauteur entre le thalweg et la crête des berges existantes

Le méandrage se fera en suivant les amplitudes et les longueurs d'onde de la situation historique, ainsi, le cours d'eau suivra les paramètres d'origines. Cette mesure sera réalisée sur toute la longueur du tronçon d'étude est permettra d'atteindre une sinuosité d'environ 1.65 (contre 1.16 pour la sinuosité existante).

La pente moyenne projetée sera régulière et légèrement plus faible que la pente existante autour de 0.08 %.

Comparativement à la variante 1 (selon tracé historique), la variante 2 ne conservera pas de section existante du lit mais verra son tracé emprunter les points bas marqués de la plaine alluviale (entre 0.8 et 1.2 m). Les terrassements pourront ainsi être limités et la balance déblais-remblais sera équilibrée par le remblaiement du lit existant. L'emprise du futur lit nécessitera une acquisition parcellaire légèrement plus importante pour cette variante du fait du méandrage plus conséquent dans la plaine et étant plus éloigné du cours d'eau existant. Il sera également possible d'effectuer une meilleure connexion avec les biotopes environnants en proposant ponctuellement des abaissements des berges ou des créations d'annexes hydrauliques.

Le dimensionnement sera relativement identique à celui de la variante 1 avec néanmoins une diminution de la profondeur haute berge (voir tableau ci-dessous) et donc un débordement haute berge à partir d'un débit légèrement inférieur à HQ_2 (par exemple $HQ_{1.5}$).

Tableau 13 : Variante 2 - Dimensions projetées du lit d'été, du lit moyen et du lit de plein bord (selon HQ₂: dans les méandres et points d'inflexion (PI))

	MNQ	MQ	HQ ₂ (voir HQ _{1.5})	
			PI	Méandre
Largeur niveau d'eau (m)	3 – 8	5.7 – 13	17 – 25	25 – 33
Profondeur (m)	0.2 – 0.8	0.4 – 1	2 – 2.5	2 – 2.6

Une représentation sous forme de croquis du tracé de la future renaturation pour la variante 2 est visualisable ci-dessous.



Figure 14: Croquis de travail du tracé de la future renaturation selon le critère thalweg - variante 2

4.3. Mesures ponctuelles

Ces mesures ponctuelles seront ajoutées pour les deux variantes citées précédemment

4.3.1 Talutage des berges

Le talutage des berges sera effectué en complément du rehaussement du fond de lit le long du tronçon d'étude permettant ainsi un débordement de la plaine alluviale à un niveau HQ₂. Ce talutage sera favorisé au niveau de la rive droite pour permettre une connexion du cours d'eau avec les zones de biotope.

4.3.2 Alternance mouilles/radiers

La typologie de référence montre que la présence de structures particulières dans le lit est un facteur de bon état hydromorphologique. Des mouilles et des radiers seront donc aménagés selon les caractéristiques définies dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** afin de créer une diversité d'écoulement et favoriser le développement d'habitats adaptés.

Pour les mouilles, les profondeurs initiées dans le lit d'été pourront varier de 0.5 à 1.2 m. Pour les radiers, les profondeurs seront comprises entre 0.2 et 0.4 m de manière à éviter les étiages critiques et garantir la continuité piscicole. Ils consisteront en un dépôt de substrats grossiers assez variables (2 à 3 groupes de granulométrie différente) et de préférence lavé/roulé.

4.3.3 Remplacement des buses

Une partie du cours d'eau circule dans des buses, principalement sous les ponts. Pour permettre au cours d'eau de retrouver sa connexion sur l'ensemble du tronçon avec la plaine alluviale, on préconise de retirer les buses et de laisser le cours d'eau s'écouler sur un substrat naturel

4.3.5 Implantation de souches d'arbres dans le lit

Selon (Gebler , 2005) le positionnement des souches d'arbres est avantageux dans les rives concaves. Cela permet une amélioration structurelle du cours d'eau, la création de sous-berges, qui forment des abris pour les poissons en combinaison avec les racines des souches ainsi que la protection des berges

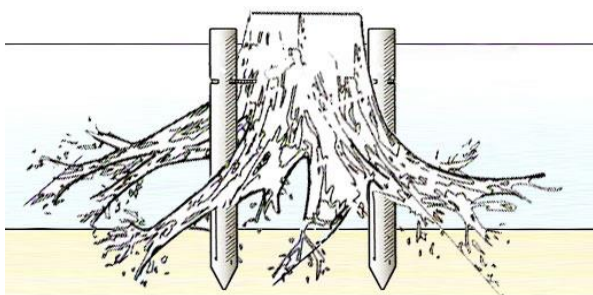


Figure 15: Principe d'aménagement de souches maintenues par des pilotis en bois

Ces souches seront installées dans la rive concave des méandres et maintenues à l'aide de deux pieux en bois de diamètre 10-15 cm et d'une longueur d'environ 1.5-2 m. Pour garantir le maintien de la souche au niveau des pieux, des fils de fer galvanisé de diamètre 3 mm pourront être utilisés.

4.4 Effets hydromorphologiques des mesures

La figure ci-dessous recense les différentes mesures qui seront apporté au projet ainsi que les effets attendus.

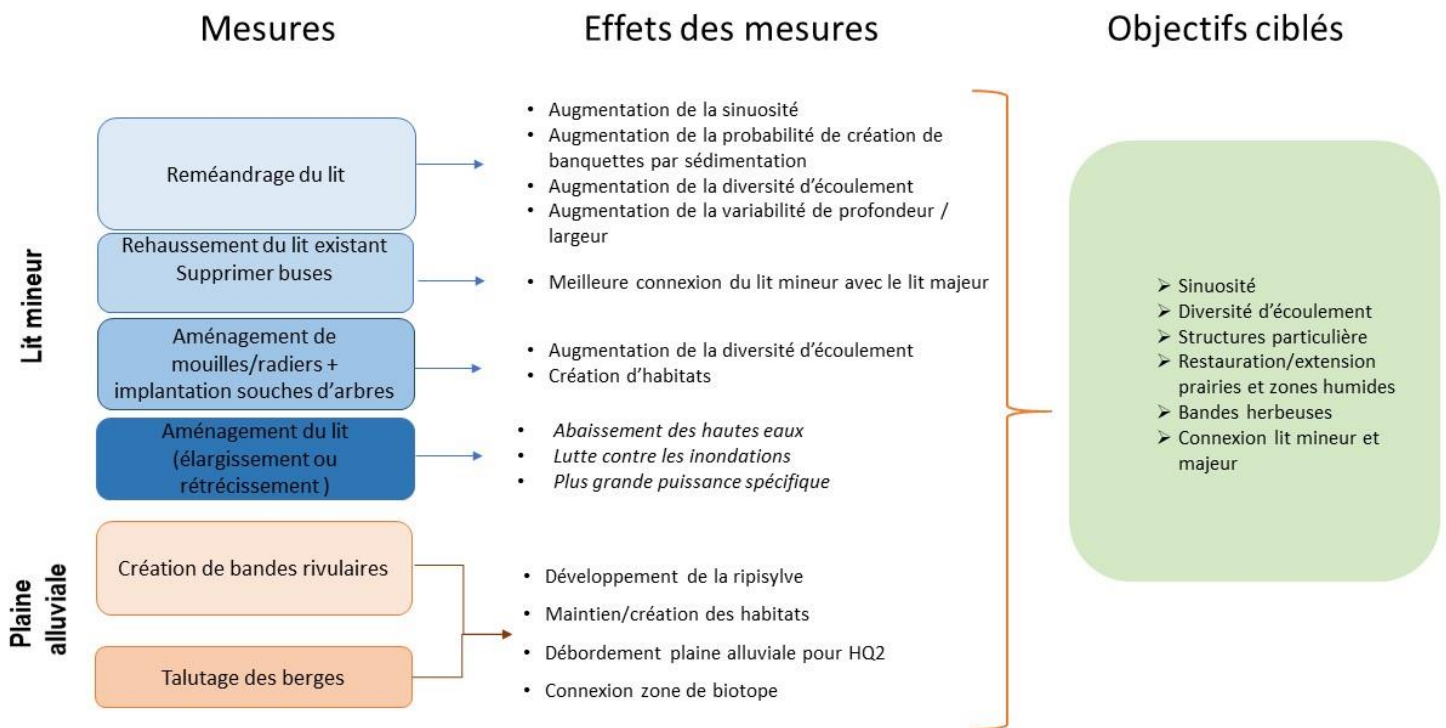


Figure 16: Schéma bilan des mesures sur l'Alzette et leurs effets (Réalisation personnelle)

Etape 5 : ETUDE HYDRAULIQUE

La dernière étape de l'étude consiste à créer le modèle hydraulique. Le modèle hydraulique est créé avec le logiciel HEC RAS. Ici nous avons réalisé un modèle 1D afin d'estimer les niveaux d'eau pour les différents débits présentés mais également en première évaluation pour l'établissement des variantes à retenir

Le modèle de la situation existante a tout d'abord été créé pour visualiser le comportement du cours d'eau sous l'influence des différents débits, puis pour comparer cette situation aux situations projetées

5.1 Situation existante

Une situation existante a été réalisé pour calibrer les niveaux d'eau et comprendre la problématique actuelle du cours d'eau.

Les principaux paramètres utilisés dans la situation existante du modèle sont :

- Des coefficients de Manning Strickler de 0.033 dans le lit principale et 0.05 au niveau des rives gauches et droites
- Au niveau des PK 3491.05 les coefficients de Manning sont de 0.04 au niveau du lit et 0.06 sur les berges gauches et droites
- Au PK 3509,06, un coefficient de 0.07 au niveau de la berge rive gauche.

5.2 Situation projetée

Pour évaluer la situation projetée, le scénario retenu est celui de la situation projetée recommandée.

Les aménagements suivants sont proposés :

- Rehaussement du fond du lit entre les deux ponts
- Harmonisation de la pente à 0.09% entre les deux ponts
- Terrassement des berges là où seul le rehaussement ne suffisait pas à atteindre le niveau de débordement HQ2 Le terrassement de la berge rive droite sera préféré pour optimiser la connexion avec les zones de biotopes.
- Elargissement du cours d'eau d'environ 3 m de largeur.
- Reméandrage par terrassement en suivant le tracé historique.

La figure ci-dessous montre un rehaussement du niveau d'eau par le biais des aménagements présentés ci-dessus. En rouge on observe la situation projetée et en bleu la situation existante. On observe que les niveaux d'eau de la courbe rouge (SP) pour HQ₂ sont plus élevés que ceux de la courbe bleue (SE). La situation projetée permet donc un débordement des berges plus important. Cependant, le niveau des hautes eaux reste identique en situation projetée et existante, témoignant un impact négligeable des aménagements sur le caractère inondable.

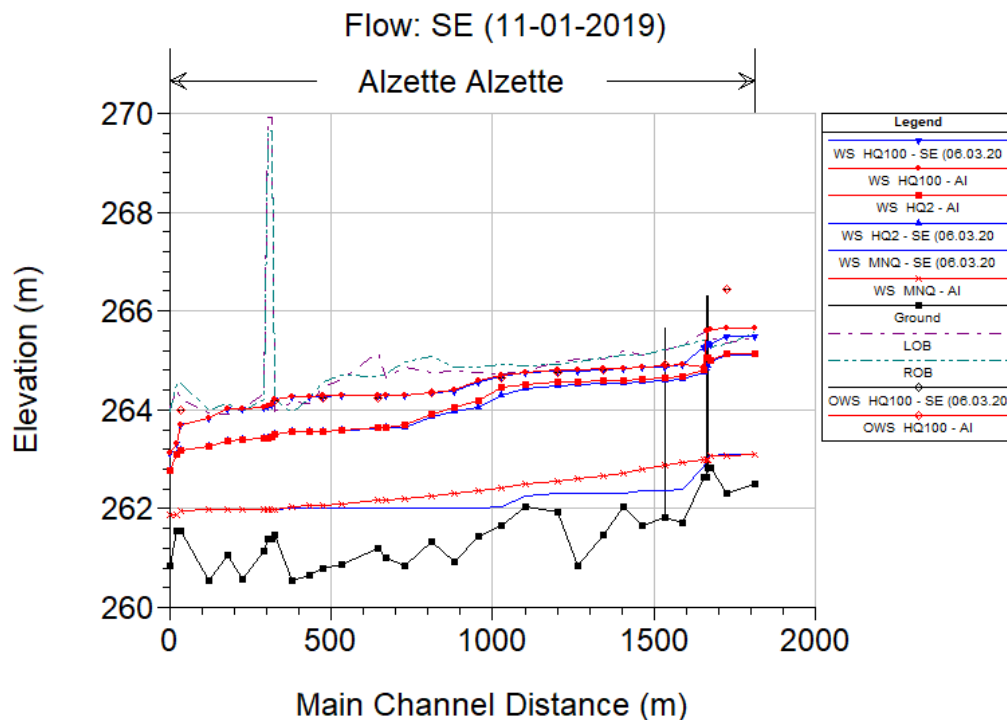


Figure 17: Profil en long du modèle HEC-RAS montrant le rehaussement du niveau d'eau de la situation projetée comparé à la situation existante sans terrassement des berges

Conclusion partie 1

L'analyse hydromorphologique actuelle nous a permis d'identifier les points précis sur le tronçon de l'Alzette à améliorer pour recréer les conditions hydromorphologiques de référence du cours d'eau :

- Cours d'eau anthropique, linéaire avec peu voire aucun méandre
- Profondeur du cours d'eau trop importante (incision du lit)
- Pas de connexion avec la plaine alluviale

Des mesures ont alors été proposées pour améliorer, restaurer le cours d'eau endommagé en suivant les typologies de références ainsi que le plan de gestion Natura 2000 qui s'étend sur l'ensemble du tronçon d'étude. Les mesures principales sont les suivantes :

- Reméandrage et rehaussement du lit
- Déplacement du lit dans le thalweg

A ces mesures viennent s'ajouter des mesures ponctuelles qui seront-elles complémentaires aux mesures principales :

- Le talutage des berges pour connecter le cours d'eau à sa plaine alluviale
- L'incorporation de mouille/radier et bois mort pour donner au cours d'eau différentes dynamiques
- La suppression des buses pour permettre une connexion du cours d'eau avec les berges et une continuité écologique.

Les aménagements mentionnés ci-dessus pourront permettre d'obtenir des zones de prairies humides au sein de la plaine alluviale, zone dites très prioritaire à préserver ou restaurer aux alentours du cours

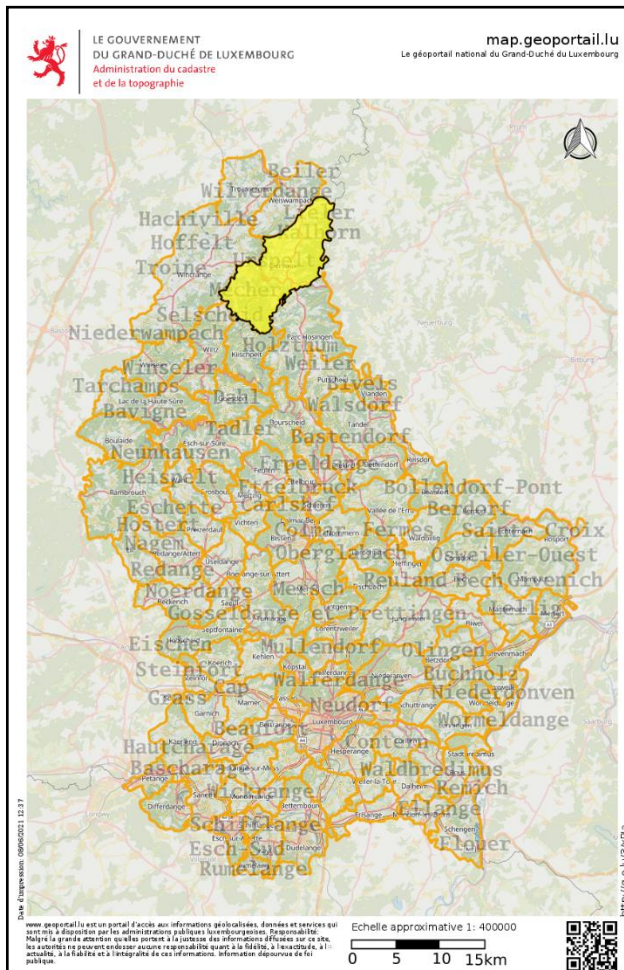
d'eau et replacer le cours d'eau dans une morphologie plus adaptée pour lui permettre de se rapprocher du bon voir très bon état écologique du cours d'eau souhaité dans le cadre des objectifs de la DCE.

Le projet en l'état actuel nécessite un approfondissement de la partie hydraulique notamment par la réalisation d'un modèle hydraulique HEC-RAS 2D qui n'a pas pu être réalisé au cours du stage. A cela, viennent se rajouter l'élaboration des plans sur lesquelles sont décrites les mesures proposées, qui n'ont pu être analysé que sommairement. La phase suivante consistera à organiser une concertation avec les différents acteurs pour présenter le projet dans son ensemble pour le valider avant sa conception finale ou bien de le réévaluer en fonction de la variante choisie.

DEUXIEME ETUDE DE FAISABILITE

I. Introduction

Le second projet est une étude de faisabilité concernant la remise à ciel ouvert d'un cours d'eau, le Reichelbaach, situé au nord du Luxembourg dans la commune de Clervaux voir Figure 18. Ce petit cours d'eau est actuellement enterré sur certaines sections, notamment sous un terrain appartenant à l'Administration des Bâtiments Publics.



**Figure 18: Localisation de l'étude de faisabilité 2 :
Le Reichelbaach à Clervaux**

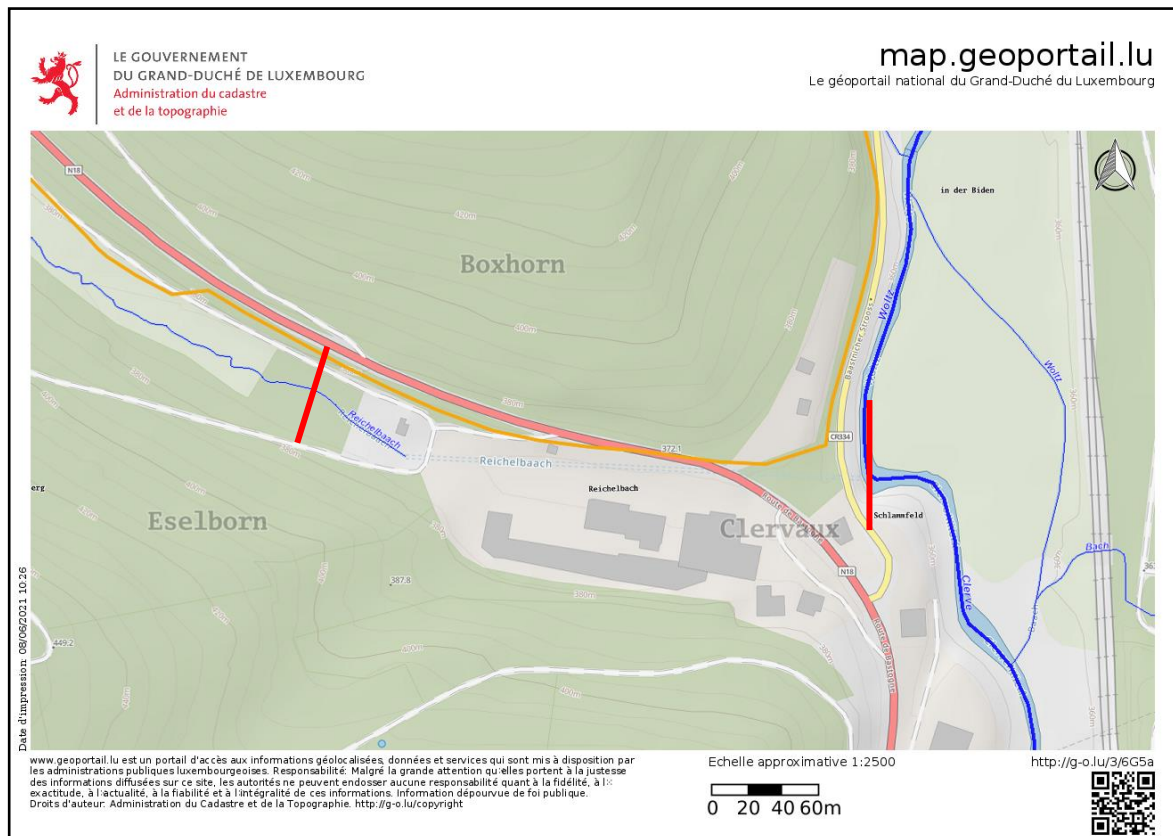


Figure 19: Site d'étude du projet

1.1. Problématique du projet

Les problématiques rencontrées au cours de ce projet sont les suivantes :

- Cours d'eau semi enterré
- Chutes de 2 m et 2.5 m empêchant la continuité écologique
- Pente trop importante pour atteindre la confluence chute de 7 m
- Sinuosité d'origine non connue

II MATERIELS ET METHODE

Etape 1 : Appropriation du projet

Dans l'objectif d'avoir une complète compréhension du sujet j'ai dû me renseigner sur le projet en lisant le rapport effectué par le bureau d'étude Stream & River Consult qui renseignait des données terrains collectés dont l'évaluation de la plus-value écologique du projet de découverte de la Reichelbaach. Nous avons aussi à notre disposition :

- Les plans de l'architecte, concernant un nouvel aménagement dans la zone
- Les débits régionalisés à l'amont et à l'aval de la confluence du cours d'eau, (aucunes données précises étaient disponibles concernant le cours d'eau lui-même)

- Les levés topographiques (pour avoir le terrain naturel, TN)
- Les plans du rond-point, projet de viaduc qui doit être réalisé sur cette zone
- Les plans des canalisations fourni par le Syndicat Intercommunal de Dépollution des Eaux résiduaires du Nord

Etape 2 : Recherche et calculs des paramètres nécessaires pour l'avancement du projet (pente, débit maximum...)

L'analyse des documents déjà en notre disposition a révélé que des paramètres nécessaires manquaient pour pouvoir fournir une analyse complète tel que Les débits.

Comme mentionné ci-dessus, les débits utilisés pour cette étude sont les débits régionalisés de la Clerve reçus de l'AGE voir Figure 20 et le Tableau 14 pour le tronçon de l'étude du Reichelbaach. En effet on ne dispose pas des données des débits spécifiques au Reichelbaach, ainsi pour déterminer les différents débits du Reichelbaach on va procéder par estimation grâce aux données que l'on dispose en amont et à l'aval de la confluence avec la Clerve et le Reichelbach.

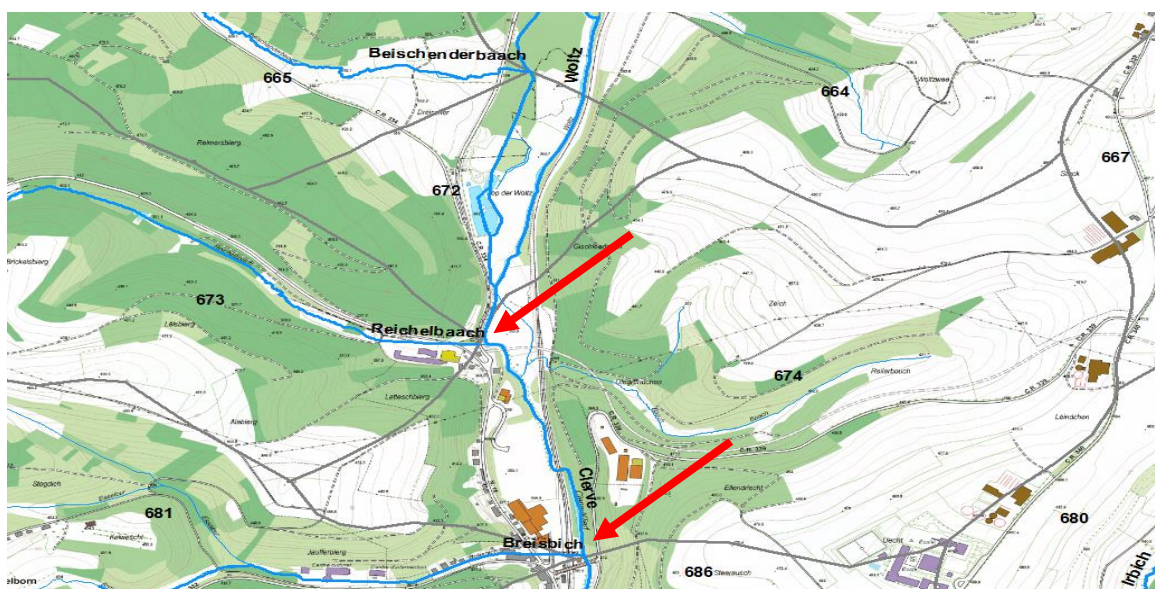


Figure 20: Localisation des débits régionalisés

Tableau 14: Débits régionalisés

EZGID	EZG A _E	MQ	MNQ	MHQ	HQ2	HQ10	HQ100
	[km ²]	[m ³ /s]					
672	141.8	1.94	0.167	22.00	24.80	37.22	58.69
674	145.9	1.99	0.169	22.40	25.28	37.98	59.96

2.1 Débit régionalisé

Le Reichelbaach n'est pas le seul affluent de la Clerve entre les stations de mesure des débits. Un autre cours d'eau plus petit que le Reichelbaach y est affluent, le Bach ainsi que le Woltz. Ces deux cours d'eau vont être pris en compte dans l'estimation du débit du Reichelbaach voir tableau ci-dessous.

Tableau 15: Estimation du débit du Reichelbaach avec les données régionalisées

	Distance (m)	Proportion	Débit MNQ [m3/s]	Débit MQ [m3/s]	Débit HQ2 [m3/s]	Débit MHQ [m3/s]	Débit HQ10 [m3/s]	Débit HQ100 [m3/s]
Reichelbaach	3800	68%	0.002	0.037	0.328	0.272	0.516	0.862
Bach	1500	27%	0.001	0.014	0.130	0.107	0.204	0.340
Woltz	296	5%	0.000	0.003	0.026	0.021	0.040	0.067
Total	5596	1	0.003	0.054	0.483	0.400	0.760	1.270

2.2 Seconde méthode : Débit maximum

Une autre estimation du débit est possible, celle du débit maximum se trouvant dans la partie du Reichelbaach enterré. Le cours d'eau circule au sein d'une canalisation ayant un DN 1000. Le tronçon d'étude détient deux pentes différentes une à +/- 1.6% et une autre à +/- 3.8%.

Le débit maximum pour la pente de +/- 1.6% est de 1.94 m3/s

Le débit maximum pour la pente de +/- 3.8% est de 3.03m3/s

Tableau 16: Estimation des débits maximums

Pente (m/m)	Hauteur (m)	Distance (m)	Angle (degré)	Rh(m)	S(m²)	V(m³/s)	Q (m³/s)
0.016	1.116498	105.33	38.8	0.244255091	0.785398163	2.471301571	1.940955715
0.038	2.62808	69.16	122	0.248643325	0.785398163	3.854011495	3.02693355

Après comparaison entre le débit maximum voir ci-dessus et l'estimation du débit régional, le dimensionnement se basera sur le débit maximum (car il est plus élevé que l'estimation faite avec le débit régionalisé).

2.3 Sinuosité

Les cartes cadastrales de 1824 ne permettent pas d'identifier la sinuosité historique du Reichelbaach, en effet il est probable qu'à cette époque le cours d'eau ait déjà été modifié. Néanmoins une portion du cours d'eau semble ne pas avoir été modifié, voir carte ci-dessous où on y voit des méandres. Cette portion du cours d'eau a permis de faire une estimation de la sinuosité (voir Figure 21).

La sinuosité projetée d'un cours d'eau peut être calculée selon la formule suivante (Gebler , 2005) :

$$W = \frac{Lw}{Ls}$$

W : Indice de sinuosité

Lw : Longueur développée du cours d'eau [m]

Ls : Longueur selon l'axe d'orientation du cours d'eau [m]

La portion du Reichelbaach permet d'estimer la sinuosité à 1.4 avec Lw= 93.6 m et Ls= 66.7 m



Figure 21: Localisation de la portion du cours d'eau avec de potentiels méandres historiques (source géoportail)

Une autre estimation est possible en comparant un cours d'eau aux caractéristiques similaires afin d'y évaluer sa sinuosité. Le cours d'eau ici choisi est la Woltz car l'aval du cours d'eau qui se situe près du Reichelbaach s'écoule sur un même support géologique.

La typologie de ce cours d'eau est de type 3 dans la typologie Ferreol et dans la typologie Lawa elle est de type 5 à proximité du Reichelbaach, la typologie Lawa change en aval elle devient de type 9.

Cette typologie nous indique que le cours d'eau doit avoir un indice de sinuosité entre 1.5 et 2.00 d'après la typologie Ferreol.

Etape 3 : Situation projetée du profil en long

Cette étape consiste à créer le profil en long de la situation projetée. Cette situation comporte les nouveaux aménagements prévus par les administrations. La création du profil en long a été faite en collaboration avec un collègue dessinateur. Ce profil en long sert alors de base pour proposer d'éventuels aménagements (Voir Annexe 4 : Profil en long du Reichelbaach).

Etape 4 : Recherche d'un possible dimensionnement de passe à poissons

Les différentes étapes précédentes ainsi que les discussions entre collègues au sujet du terrain naturel ont montré une grande problématique concernant la continuité écologique due aux fortes pentes, avec un dénivelé estimé à 7 m. Pour pallier ce dénivelé, la création d'une passe à poisson a alors été envisagée. Les paramètres nécessaires pour la réalisation d'une passe à poisson qui ont fait l'objet de recherches sont les suivantes :

- Calculs précis des différentes pentes
- Information sur les espèces cibles du cours d'eau (capacité de nage et vitesses minimum et maximum)

Après une autre réunion, la maîtrise d'ouvrage a signalé que l'étude ne devait pas être autant poussée. Un plan regroupant toutes les situations possibles était suffisant sans entrer dans les détails de l'étude.

Le plan des situations a donc été réalisé en travaillant avec un des dessinateurs et une collègue ingénieure.

Voir Annexe 5 : Plan de l'étude du Reichelbaach

Conclusion partie 2

L'étude de faisabilité concernant le cours d'eau le Reichelbaach a été mise en suspens après la remise des plans au client. En effet cette étude consistait à donner un avis sur les différentes possibilités quant à la réalisation d'un futur projet. Il ne s'agissait pas d'une étude détaillée. Il faut attendre que le client revienne vers le bureau d'études pour fournir une analyse complète.

III Conclusion

Retour sur expérience

Ce stage m'a permis de comprendre le fonctionnement des bureaux d'études au Luxembourg, une approche bien différente de ceux en France.

Le bureau d'études Micha Bunusevac a reçu et continue de recevoir de nombreux contrats. Ainsi, avec un faible effectif d'ingénieurs, le bureau travaille sur de nombreux projets en même temps, dont l'achèvement peut parfois s'étendre sur plusieurs années. Les projets sont classés par ordre de priorité, qui peut rapidement varier en fonction des demandes des clients et des événements de fortes précipitations. Les ingénieurs doivent donc traiter plusieurs dossiers en même temps. En travaillant sur les deux projets présentés précédemment, j'ai pu voir le déroulement de la reprise d'un projet (étude de faisabilité 1), lorsque celui-ci n'avait pas été achevé par un ancien collègue. La rédaction de l'étude de faisabilité pour les clients m'a permis de savoir comment s'organisent l'établissement d'un mémoire, de l'étape de recherche à sa phase finale rédigée.

Dans le cadre du deuxième projet, j'ai pu voir comment organiser une étude de faisabilité du début jusqu'à la transmission au client. Bien que ce dernier projet ne soit pas encore fini et sera sûrement en suspend en attendant un retour client, j'ai eu à collecter les données de base indispensables au lancement du projet (données cadastrales, plans des réseaux, informations sur les sols pollués, zones spécifiques protégées, etc.)

Le nombre important de projets à réaliser pour un nombre faible d'ingénieurs n'a pas permis d'avoir un accompagnement étroit sur la durée du stage, non pas par manque de volonté mais plutôt en raison d'une grande surcharge de travail au sein du bureau. De plus mon maître de stage qui devait me prendre en charge a finalement quitté le bureau d'étude une semaine après mon arrivée (décision qui m'a bien évidemment été communiquée avant mon arrivée).

Tout l'aspect de l'étude de faisabilité n'a pas pu être vu tel que la planification des plans avec les dessinateurs.

Ce qui aurait pu me permettre d'avoir une meilleure compréhension du projet est une sortie de terrain sur le site d'étude avant de commencer l'étude de faisabilité. En effet, j'ai travaillé sur des projets sans avoir pu voir les sites. Je pense qu'il est préférable lorsqu'une personne travaille sur un projet, d'aller elle-même sur le terrain afin de comprendre et visualiser les problématiques, cela offre une autre perspective et cela peut aussi éviter de nombreuses erreurs que la théorie seule ne montre point.

Cependant, je suis reconnaissante d'avoir pu intégrer l'équipe au sein du Bureau d'études Micha Bunusevac, bureau qui m'a permis d'apprendre sur la réalisation d'études environnementales, sur l'importance de l'autonomie et sur l'organisation de son travail en général. En discutant avec des collègues dans divers spécialités m'a fait réaliser que je souhaiterais exercer sur plusieurs thématiques différentes ainsi que d'aller plus souvent sur le terrain afin d'obtenir aussi la capacité de contrôler les chantiers.

Bibliographie

2027, Version 1.1; *Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg - Ministère du Développement Durable et des Infrastructures - Administration de la nature et des forêts*, s.l.: s.n.

Dahm, V. et al., 2014. *Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Flie gew ssertypen - Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“*. Dessau-Ro blau: Umweltbundesamt (UBA Texte: 43/ 2014).

Gebler , R.-J., 2005. *Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse: Massnahmen zur Strukturverbesserung - Grundlagen und Beispiele aus der Praxis*. Walzbachtal: Verlag Wasser und Umwelt.

Leopold, L. B., 2005. *A view of the river*. London: Havard University Press.

Malavoi, J.-R. & Bravard, J.-P., 2011. * l ments d'hydromorphologie fluviale*, s.l.: Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques).

MUNLV NRW, 2010. *Blaue Richtlinie - Richtlinie für die Entwicklung naturnaher Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen*, Düsseldorf: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

MUNLV NRW, s.d. *Wasserwirtschaft Nordrhein-Westfalen : Handbuch zur naturnahen Entwicklung von Flie gew ssern - Teil 2*, s.l.: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Parlement et Conseil européens, 2000. *Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (JO L 327 du 22.12.2000)*, s.l.: s.n.

Planungsbüro Zumbroich, 2014. *Organisation und Durchführung der Strukturkartierung des Luxemburgischen Gew ssernetzes für die Flie gew sser mit einem Einzugsgebiet >10km  - Abschlussbericht*, Bonn: Administration de la Gestion de l'Eau, Luxembourg (Auftraggeber).

Planungsbüro Zumbroich, 2018. *Strahlwirkungskonzept für die Oberfl chenwasserk rper Luxemburgs*, Bonn: Administration de la Gestion de l'Eau, Luxembourg (Auftraggeber).

Pottgiesser, T. & Birk, S., 2014. *Steckbriefe der Flie gew ssertypen des Gro herzogtums Luxemburg*, s.l.: s.n.

Annexe

Annexe 1 : Ichtyocénose de référence

LUX	Référence-Fischzönose der Fließgewässer Luxemburgs Alzette 3			LF
<u>OWK</u> VI-4.1.1.b	<u>Gewässer</u> Alzette 3 Hunherange (Kälbaach) bis Hesperange (Holleschbierg)	<u>Gewässertyp</u> Typ V, Fluss der kollinen Stufe des Gutland; Epipotamal	<u>Großraum:</u> <u>Vorfluter:</u> <u>Länge:</u>	Gutland Sauer 11,9 km
Referenz	%-Anteil	gesicherter Nachweis seit 1995/97*)	Historische Referenz / Experteneinschätzung	Dimensionierungs-Zielarten („Bemessungsfische“)
Dreistachliger Stichling	20	✓	1/E	Ubiquitäre Kleinfischart (TL 8 cm)
Gründling	20	✓	1/E	Rheophile Kleinfischart (TL 18 cm)
Schmerle	20	✓	1/E	Rheophile Kleinfischart (TL 13 cm)
Elritze	15	✓	1/E	Rheophile Kleinfischart (TL 13 cm)
Döbel	10	✓	1/E	Ubiquitäre Fischart (TL 60 cm)
Hasel	5	✓	1/E	Rheophile Fischart (TL 25 cm)
Bachneunauge	4	✓	E	
Aal	2	✓	1/E	
Schneider	1	✓	1/E	
Rotaugen	1	✓	1/E	
Flussbarsch	1	✓	1/E	
Hecht	0,5	✓	1/E	
Bachforelle	0,1	✓	1/E	
Bitterling	0,1		1/E	
Rotfeder	0,1	✓	1/E	
Groppe	0,1	✓	1/E	
Schleie	0,1	✓	1/E	

fett = Leitarten (> 5,0 %) - *normal* = typspezifische Arten (1,0 - 4,99 %) - *kursiv* = Begleitarten (< 1,0 %)

Annexe 2 : Formules

- Formule de Manning-Strickler :

$$Q = S * K * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Q : Débit de plein bord [m³/s]

S : Surface hydraulique [m²]

K : Coefficient de Strickler [-]

R_h : Rayon hydraulique [m]

I : Pente [-]

Annexe 3 : Paramètres hydromorphologiques

Analyse du style fluvial (les couleurs de la colonne à gauche correspondent à la classe la plus mauvaise du paramètre hydromorphologique le long le tronçon de l'étude)

	Paramètre	État actuel	État cible
Courbure (« Krümmung ») Classe 7	Sinuosité	Voir section 5.1.1.1	
	Banquettes longitudinales (voir l'image ci-dessous)	Aucune	Plusieurs par section
	Structures particulières (bois mort, rétrécissement, élargissement, voir l'image ci-dessous)	Aucune à plusieurs structures par section	Plusieurs structures par section
Mobilité (« Beweglichkeit ») Classe 7	Érosion des rives concaves (« Krümmungserosion »)	Majoritairement faibles et isolés. Certaines peuvent être fortes	Parfois faible à souvent fort
	Profondeur	Voir section Erreur ! Source du renvoi introuvable.	
	Aménagements des berges	Aucun	

Analyse du profil longitudinal (les couleurs de la colonne à gauche correspondent à la classe la plus mauvaise du paramètre hydromorphologique le long du tronçon de l'étude)

	Paramètre	État actuel	État cible
Éléments naturels Classe 4 - 6	Banquettes transversales	Aucune – une par section	Aucune
	Diversité d'écoulement	Faible à modérée	Modérée à importante (keuper : faible à modérée)
	Diversité de profondeur	Faible	Modérée à importante
Obstacles aux migrations	-	Un seul	Aucun

	Paramètre	État actuel	État cible
Structure du fond Classe 3 - 5	Macrophyte	Aucun	Grande à très grande
	Diversité du substrat	Faible	Grande à très grande
	Dynamique	Nulle	Faible à modérée

Analyse des berges (les couleurs de la colonne à gauche correspondent à la classe la plus mauvaise du paramètre hydromorphologique le long du tronçon de l'étude)

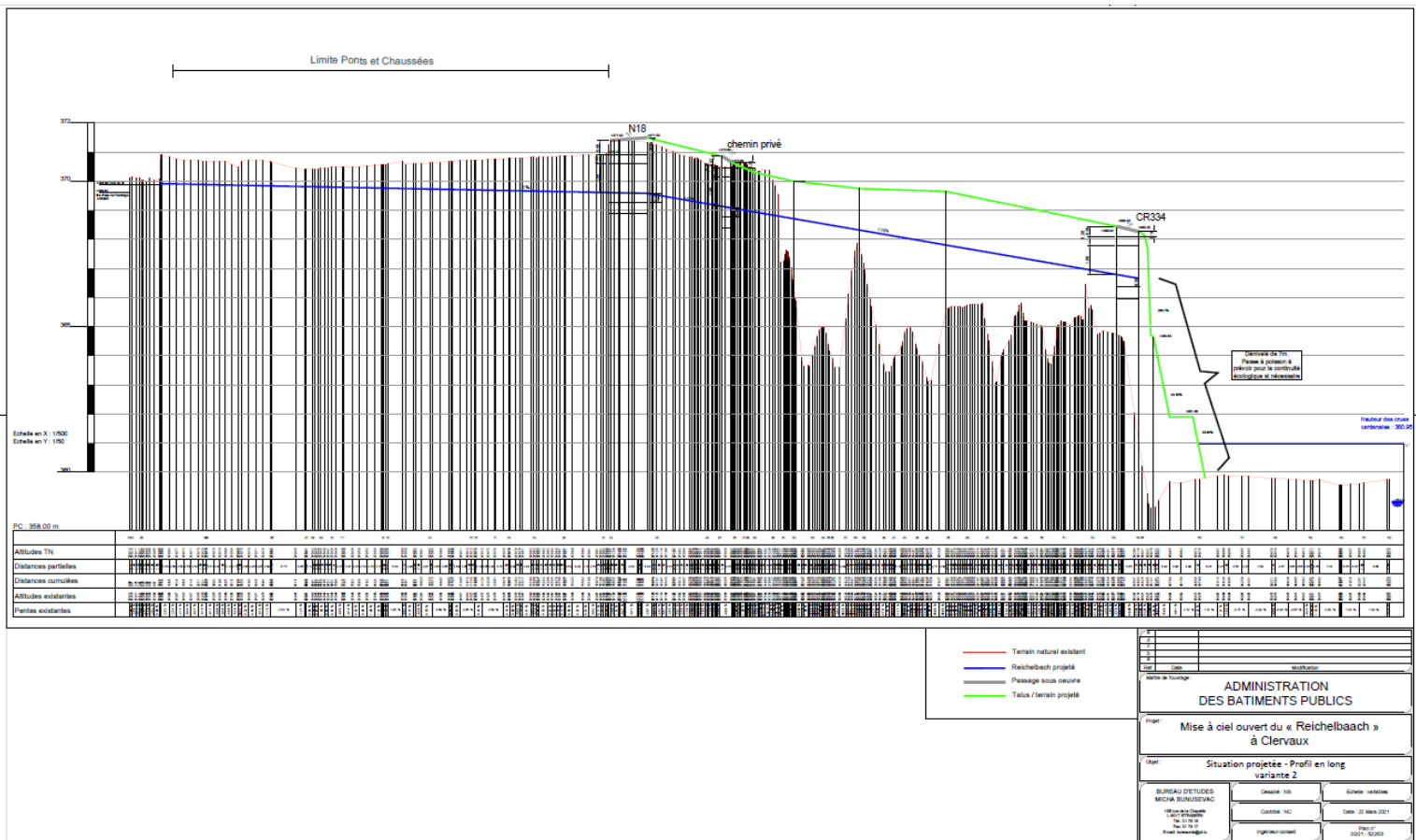
	Paramètre	État actuel	État cible
Profil en travers Classe 5-7	Variabilité de la largeur	Nulle à faible	Modérée à élevée
	Érosion latérale	Faible à forte	Aucune

Structure des berges Classe 4-7	Aménagement des berges	Aménagements problématiques : • Remblais sur tronçon 9_489 • Enrochement des berges sur les tronçons 9_490, 9_491, 9_498.	Aucun
	Végétation des rives	Végétation herbacée, grand arbuste prairie	Forêt alluviale
	Structures particulières des berges	Principalement en classe 6 avec un tronçon en classe 2	Quelques-uns à plusieurs

Analyse de la plaine (les couleurs de la colonne à gauche correspondent à la classe la plus mauvaise du paramètre hydromorphologique le long le tronçon de l'étude)

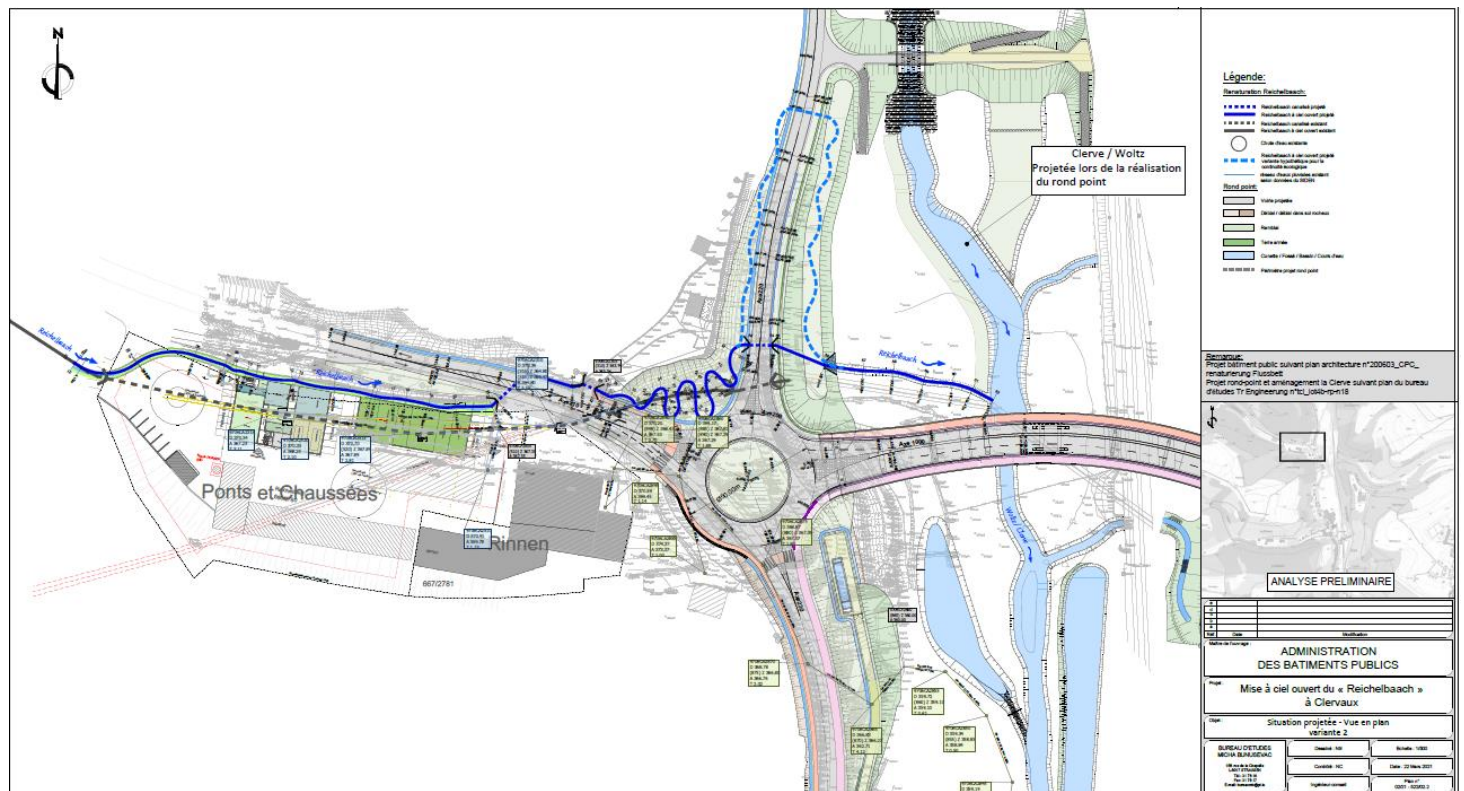
	Paramètre	État actuel	État cible
Plaine Classe 1-7	Utilisation des sols	<u>Plaine gauche</u> : majoritairement de la prairie, pâturage et forêt <u>Plaine droite</u> : majoritairement de la prairie	Dominant : Forêt alluviale
	Bande rivulaire	<u>Plaine gauche</u> : majoritairement une absence de bandes rivulaires et de la lisière <u>Plaine droite</u> : majoritairement de la lisière ou absence de bandes rivulaires	Forêt / succession naturelle
	Structures endommageantes	Zone pavée sur 6 tronçons amont de la rive gauche	Aucune
	Structures particulières	Aucune	Quelqu'une à plusieurs

Annexe 4 : Profil en long du Reichelbaach

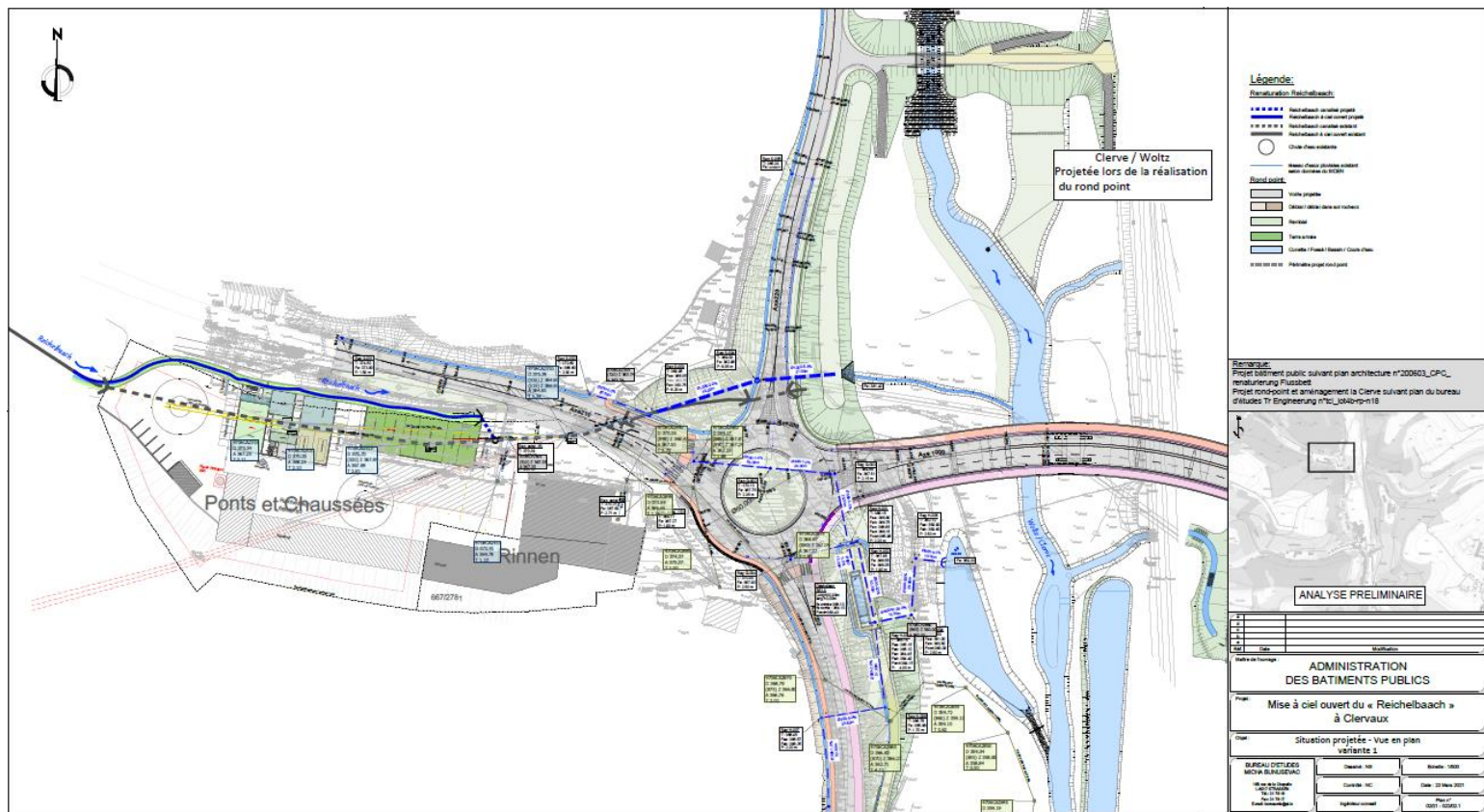


Annexe 5 : Plan de l'étude du Reichelbaach

Situation projetée 1



Situation projetée 2



MFUNDU KONDI LORÈNE
2020-2021

**Etudes de faisabilité d'une mesure compensatoire pour un
projet de contournement de cours d'eau et pour la mise à ciel
ouvert d'un cours d'eau au Luxembourg**

Résumé:

This document shows two distinct environmental studies. The first one is about a compensatory measure. It is a road detour project which has an impact on a watercourse and its habitat.

The second study consists of a feasibility study for the open-cutting of a canalized and buried watercourse in view of a project of construction of a viaduct.

**Mots clefs: Rivers, environment, luxembourg, study, road,
environmental impact**

Bureau d'études Micha Bunusevac - Luxembourg

**Tuteur bureau d'études: Xavier Moreno
Tuteur académique: Vincent Rotgé**