

RENATURATION DE LA BROYE

Tamara GHILARDI

Projet de Master, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, 2008

ABSTRACT

Broye is one of the most important rivers in the Canton de Vaud. It is located in an agricultural plain in the North. For this project, restoration needs have been analyzed. Studies have shown an important ecological deficit. Hydraulic studies revealed that no major security problem exists. Thus, restoration scenarii are mainly based on the environmental improvement. To choose the best scenario, comparative studies have been accomplished. Scenario number 5, which is a combination of multiples scenarii, has finally been selected. A detailed hydraulic analysis of this scenario has been made to ensure that the security level is not lowered as a consequence of these interventions. Because of the project's size, the establishment of a priority within interventions is mandatory.

RESUME

La Broye est une des rivières vaudoises plus importantes. Elle coule dans une plaine agricole du Nord vaudois. Dans le cadre de ce projet, les besoins de renaturation de ce cours d'eau ont été analysés. Les analyses ont montré un fort déficit écologique. Les études hydrauliques ont prouvé qu'aucun problème sécuritaire majeur n'existe. Plusieurs variantes de renaturation visant presque exclusivement l'amélioration environnementale ont donc été proposées. Des études comparatives ont été faites afin de choisir la variante à retenir. La variante 5, qui est une combinaison des variantes proposées, a été finalement retenue. Une analyse hydraulique détaillée de la variante a été faite afin de garantir le même niveau sécuritaire que celui existant actuellement. Au vu de l'importance des aménagements proposés, une priorisation des mesures est nécessaire.

INTRODUCTION

En Suisse, les ruisseaux et les rivières font partie d'un paysage exploité par l'homme de multiples façons et de manière intensive. Ils sont entourés de zones d'habitation, de zones agricoles et de routes, aménagés pour la production d'énergie et pour la protection contre les crues; ils absorbent l'eau polluée des stations d'épuration ainsi que celle des champs cultivés. Ces développements ont des répercussions sur les cours d'eau en tant qu'écosystèmes naturels.

Cela est également le cas pour la Broye, l'une des rivières vaudoises les plus importantes. Elle se situe dans le Nord du canton, dans une plaine agricole fortement exploitée. Aucun problème sécuritaire n'a récemment été mis en évidence pour ce cours d'eau. Toutefois, l'état écologique de cette rivière continue à s'aggraver. La pêche a nettement diminué dans les dernières années, notamment avec la disparition de certaines espèces, comme le Nase (*Chondrostoma nasus*) [4]. C'est pourquoi, plusieurs personnes ont tiré la sonnette d'alarme. Il s'agit principalement des associations de pêcheurs de la région, qui se sont activés pour attirer l'attention du service cantonal compétent. Une démarche participative est en train de se mettre en place maintenant, afin de manifester la sensibilité de la population locale envers l'environnement de la plaine. De nos jours, la volonté populaire est le seul espoir de ce type de projet. En effet, dans la presque totalité des projets de renaturation de cours d'eau, le problème sécuritaire se trouve à la base de l'étude.

La présente étude découle directement des mobilisations qui ont lieu actuellement. Comme son titre l'indique, le but est celui d'analyser l'état actuel de la Broye et de proposer des scénarios d'aménagements

afin d'en améliorer la qualité écologique. Les aspects sécuritaires doivent notamment être pris en compte pour l'aménagement de l'état futur.

La Broye a une longueur totale de 70 kilomètres. Pendant sa course au lac de Morat, elle matérialise souvent les frontières des cantons de Vaud et de Fribourg. Sur les premiers 35 [km], sa condition est encore proche de l'état naturel. A partir de Moudon, le cours d'eau a complètement perdu son aspect naturel à la suite de plusieurs corrections qui ont eu lieu dès la moitié du XIX^{ème} siècle. Depuis ce point, les berges sont systématiquement renforcées, le tracé a été fortement rectifié et les rives sont presque totalement privées de végétation pour ce qui concerne la partie vaudoise. Au vu de la rectification prononcée, plusieurs seuils ont vu le jour au cours du dernier siècle afin de stabiliser le lit et les berges de la Broye. Avant les travaux de correction, l'écoulement se faisait par bancs alternés à l'amont de Payerne. A l'aval de cette ville, là où la plaine s'élargit et s'aplatit brusquement, la Broye se développait à la limite entre les bancs alternés et les méandres. Ici, le tracé de la Broye a été complètement modifié, afin de bonifier plusieurs terrains pour l'agriculture. Ainsi, la zone d'étude du projet de renaturation de la Broye s'étend depuis Moudon jusqu'au lac de Morat, sur un total de 35 [km].

METHODOLOGIE

La méthode d'analyse choisie est basée sur l'évolution dans le temps de l'état de la Broye. L'état passé, présent et futur ont été étudiés successivement.

L'analyse de cartes anciennes ainsi que de rapports relatifs aux corrections de la Broye au XIX^{ème} siècle ont permis de se faire une idée du régime d'écoulement original.

L'analyse de l'état actuel sous plusieurs points de vue permet d'identifier les déficits écologiques et hydrauliques actuels. Plusieurs visites de terrain permettant de bien comprendre la problématique ont été faites. Par la suite un examen des informations caractérisant la qualité écologique a été nécessaire afin de valider les observations de terrain. Il s'agit notamment de l'analyse des résultats de l'étude écomorphologique des rivières vaudoises, de relevés d'indice biotique (indice RIVAUD), de mesures de concentration de pesticides ainsi que la présence d'obstacles le long de la Broye.

L'étude hydrologique a permis de déterminer les débits caractéristiques de la Broye à la station de mesure de Payerne. Une étude de la distribution des débits le long du bassin versant a également été faite, car le projet concerne 35 [km] de cours d'eau. Le débit aval est nettement plus élevé que le débit amont. Les débits d'étiage ont également été analysés dans l'optique des problèmes d'irrigation d'une plaine agricole.

L'étude hydraulique est fondamentale pour l'analyse des problèmes sécuritaires. Elle a été faite à l'aide du logiciel HEC-RAS. Le calage du modèle a été fait sur la base de la courbe niveau-débit de la station de mesure de Payerne. L'état des berges a été analysé afin d'établir leur rugosité selon les 140 profils disponibles. La rugosité du fond dépend de la granulométrie. Le d_{50} de la Broye est le plus souvent de 50 [mm], sauf proche de l'embouchure, à cause de l'influence du niveau du lac. A cet endroit les sédiments sont plus fins.

L'analyse du charriage s'est déroulée à l'aide du logiciel DUPIRO. Cinquante profils simplifiés ont été utilisés pour cette modélisation. Un calage assez précis a été fait sur le modèle HEC-RAS. Les seuils présents sur la Broye n'ont été digitalisés ni dans le modèle DUPIRO ni dans le modèle HEC-RAS.

Une étude des informations disponibles pour plusieurs piézomètres dans la plaine de la Broye a permis de définir une profondeur moyenne de la nappe. Parriaux [6] a fourni plusieurs données concernant les caractéristiques géologiques de la région. Cette étape est nécessaire pour la mise en place de bassins à utilisation agricole (variante 3).

Sur la base des constats faits grâce aux études de l'état historique ainsi que de l'état actuel, plusieurs variantes d'aménagement sont proposées. Pour cela, une analyse des milieux typiques qui devraient se mettre en place ainsi que du régime d'écoulement qui va se développer dans le cadre d'un élargissement a été faite.

Une seule variante est retenue au final, grâce à une étude multicritère. Une analyse hydraulique de la variante retenue est menée.

Les critères utilisés lors de l'étude multicritère sont d'ordre socio-économique, écologique et sécuritaire. Des poids différents ont été donnés à chacun des 16 critères utilisés. Une analyse de l'emprise des terrains agricoles et des coûts a également été nécessaire pour la comparaison des variantes proposées.

ETAT ACTUEL

OBSERVATIONS DE TERRAIN

La situation sur le terrain à l'aval de Moudon se présente comme montré dans la Figure 1. Les berges sont complètement privées de végétation (Figure 1, à gauche). Le lit de la Broye est construit soit en double trapèze, soit en lit unique. L'embouchure de la presque totalité des affluents est complètement artificielle (Figure 1, au centre). Le tracé est rectiligne, sans variation de la largeur de l'écoulement ni de la profondeur d'eau. Plusieurs seuils ont été construits. La seule exception à ce type d'aménagement se trouve à Villeneuve dans une zone alluviale d'importance nationale. A cet endroit, la berge gauche est boisée, mais quand même souvent stabilisée. Un élargissement de 130 [m] a été fait récemment. Depuis, un banc de gravier s'est créé spontanément.

A l'aval de Payerne, plus précisément à partir du Pont Neuf, aucun seuil n'existe. A cet endroit la stabilisation des berges est également souvent inexistante. L'érosion de berges est forte (Figure 1, à droite), imposant d'importants travaux d'entretien. Plusieurs buissons de saules se sont installés sur les rives.



Figure 1: à gauche: lit de la Broye à l'aval de Moudon; au centre: embouchure des affluents de la Broye; à droite: érosion de berge à l'aval du Pont Neuf

ETAT ÉCOLOGIQUE

L'étude écomorphologique montre que la qualité de la Broye va de très atteinte à artificielle. A l'aval du Pont Neuf la rivière est qualifiée de très atteinte, et pas artificielle, grâce à l'érosion des berges et aux quelques buissons présents. Les cours d'eau atteignant la Broye sont presque tous artificiels ou sous-tuyaux. 125 seuils ont été comptés entre Moudon et le Pont Neuf, soit sur un tracé de 25 [km]. Même si leur taille est limitée, ne créant ainsi aucun problème à plusieurs espèces de poissons typiques, ils peuvent présenter un obstacle important pour la migration des espèces de petite taille. Dans le cas d'une renaturation il est donc envisageable d'en enlever le plus grand nombre possible.

La qualité biotique (indice basé sur la présence de macrozoobenthos) ainsi que la qualité chimique (pollution par les pesticides) s'aggrave de l'amont vers l'aval. A Moudon, l'indice biotique montre un bon état, alors que proche du lac de Morat cet indice témoigne d'une très mauvaise qualité. La pollution par les pesticides est relativement limitée à Moudon, la qualité de l'eau étant classifiée comme « moyenne ». Plus à l'aval, où la plaine s'élargit laissant d'amples espaces aux cultures, la qualité de l'eau devient mauvaise. L'étude de Ghilardi [2], a montré une forte corrélation entre ces deux indicateurs.

La température de l'eau de la Broye est souvent très élevée pendant les mois estivaux. Les températures moyennes des mois de juillet-août sont supérieures à 18 [°C]. Cela représente un problème pour la faune piscicole, à cause de la propagation de la maladie rénale proliférative (MRP), qui se diffuse rapidement à partir de 16 [°C]. De plus, des températures létales pour la truite (> 24 [°C]) ont été mesurées à plusieurs reprises. Un reboisement des berges peut contribuer à la diminution des températures.

ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique basée sur la loi des valeurs extrêmes a mis en évidence le grand écart existant entre le débit moyen de la Broye ($Q_m=8$ [m³/s] à Payerne) et les débits des périodes de crue ($Q_2=141$ [m³/s] et $Q_{100}=314$ [m³/s] à Payerne). Les crues et décrues sont donc très rapides. Le débit moyen pendant la période estivale est de 4 [m³/s], alors que le débit d'étiage Q_{347} vaut 1.26 [m³/s]. Les prélèvements d'eau pour l'agriculture ne peuvent donc pas être très élevés. D'après l'analyse des durées des débits d'étiage, une interdiction de pompage pendant quelques jours a lieu tous les 5 ans approximativement.

Au vu de la longueur de la zone d'étude, une variation des débits en fonction de la surface des bassins versants est introduite. Ainsi $Q_{100}=184$ [m³/s] à Moudon et 454 [m³/s] après l'arrivée des eaux de la Petite Glâne, proche du lac de Morat.

ETUDE HYDRAULIQUE

Les débits calculés lors de l'étude hydrologique sont utilisés pour la modélisation hydraulique. Cette étude permet d'analyser les problèmes de débordements de la Broye. Les résultats montrent que des problèmes de débordement existent seulement à l'entrée de Lucens. Ici, la Broye déborde sur une petite zone boisée en rive droite pour une crue quinquennale. En rive gauche, où se trouve une zone boisée suivie par un champ de football, la rivière déborde pour une crue de temps de retour 50 ans. Des mesures de sécurisation doivent être prises à cet endroit. Pour le reste du tracé, aucun problème de débordement n'existe pour une crue centennale. Néanmoins, la ligne d'énergie est proche des berges à plusieurs endroits, notamment en ville à Payerne. Cela signifie que des débordements peuvent avoir lieu lors d'une surélévation du niveau d'eau causé par une obstruction de l'écoulement. Ce niveau de protection doit continuer à être garanti même dans le cas d'une renaturation, malgré le fait que la loi exige une protection pour un temps de retour de seulement 50 ans pour des terrains agricole.

Des simulations ont également été faites pour des débits plus élevés, tel que le débit historique mesuré lors de la crue de 1944 (415 [m³/s]), qui correspond à un temps de retour de approximativement 3'000 ans. Même pour ce débit, les débordements ont lieu seulement à quelques endroits. Néanmoins, les risques de débordement à cause d'obstructions de l'écoulement sont très forts. Un niveau de protection si élevé ne doit pas être garanti par les aménagements futurs.

Le niveau du lac influence l'écoulement jusqu'à 5 [km] de l'embouchure pendant les périodes d'étiage. Cette influence se réduit à 1 [km] pour des crues biennales. A cause de l'écoulement ralenti par le niveau du lac, les sédiments fins peuvent se déposer. Cela explique la granulométrie très fine proche de l'embouchure de la Broye.

ETUDE DU CHARRIAGE

L'écoulement d'eau provoque des contraintes de cisaillement sur le fond et les rives du lit d'un cours d'eau. Elles ont pour effet, si elles sont assez fortes, d'arracher des sédiments du lit, de les déplacer, puis de les déposer lorsque les conditions d'écoulement auront changé. Le lit va donc être modifié par l'écoulement, qui va lui-même être influencé par les changements morphologiques du fond.

Les calculs faits avec le logiciel DUPIRO avec transport solide en entrée ont montré une sédimentation complète sur les deux premiers kilomètres, pour n'importe quel débit solide en entrée.

Plus à l'aval, les phénomènes d'érosion du lit et de sédimentation ont été observés seulement à quelques endroits. Dans la plupart des cas, aucun changement du fond n'est observé. Cela indique une forte stabilité du lit, même dans l'absence de seuils, puisqu'ils n'ont pas été modélisés. La pente réelle du lit est donc inférieure à celle utilisée pour les calculs, diminuant ainsi encore d'avantage les phénomènes d'érosion du lit et sédimentation.

Il faut souligner que DUPIRO ne modélise que l'érosion du lit. Ainsi, la méthode de Stevens adaptée aux cours d'eau de plaine a été utilisée afin de calculer le diamètre des grains empêchant l'érosion de berge à l'aval du Pont Neuf. Les résultats montrent qu'un diamètre de 7 [cm] est nécessaire afin d'éviter l'érosion des berges. Ce diamètre est supérieur à celui naturellement en place sur les rives. Une érosion de berge aurait effectivement lieu sans protection des rives.

ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE

Une étude hydrogéologique a été effectuée afin de fournir les données nécessaires aux calculs de dimensionnement de bassins à utilisation agricole alimentés partiellement par la nappe (variante 3).

L'analyse de la profondeur de la nappe mesurée pour plusieurs piézomètres mis en place par l'Office Fédéral des Routes dans la plaine à l'aval de Payerne ainsi que de 3 puits suivis par le laboratoire de Géologie de l'EPFL a permis de fixer la profondeur de la nappe à environ 3 [m] au-dessous de la surface. Des importantes variations ont toutefois lieu d'une station à l'autre.

Parriaux [6] a fourni plusieurs données concernant les caractéristiques géologiques de la région. Ainsi la perméabilité K est de approximativement $5 \cdot 10^{-5}$ [m/s] et l'épaisseur moyenne de la nappe de 10 [m]. Dans ce cas aussi, des importantes variations existent. Ces chiffres sont néanmoins utilisés afin de calculer la quantité d'eau que la nappe peut fournir.

Il a été établi que la nappe alimente la Broye pendant les périodes d'eau moyennes. Par contre, des écoulements se font depuis le cours d'eau vers la nappe dans des périodes de hautes eaux, à partir d'approximativement 30 [m³/s].

ETUDE DE VARIANTES

L'analyse de l'état actuel permet de mettre en évidence le déficit écologique de la Broye. Cette première étape de l'étude a souligné que pratiquement aucun problème ni sécuritaire ni lié au charriage n'existe. Ainsi, le but prioritaire du réaménagement de la Broye est d'ordre environnemental. Des variantes d'aménagement visant prioritairement l'amélioration écologique sont donc développées par la suite. Une vérification de la sécurité hydraulique est faite pour la variante retenue.

Les milieux ainsi que la faune [7] et le type de régime cible [8] ont été étudiés afin de pouvoir proposer des variantes visant un rétablissement d'un état semi-naturel.

Les zones alluviales constituent le milieu cible le long de la Broye. Une végétation typique de ces zones va s'installer en fonction du temps de retour des crues. Proche du cours d'eau, dans la zone modifiée régulièrement par les hautes eaux, se trouvent des végétations herbacées pionnières (al.1), peu plus loin peuvent se développer également des fourrés de saules, argousiers et myricaires (al. 2.1). Viennent ensuite des fourrés d'aulne blanc (al. 2.2) et des forêts d'aulne blanc dynamique (al. 2.3). Ces deux dernières formations constituent la forêt à bois tendre. Les forêts d'aulne blanc à peupliers (al. 3.1), les forêts d'aulne blanc stable (al. 3.2) et les forêts de frêne (al. 4) constituent la forêt à bois dur, qui est la moins influencée directement par le cours d'eau. Des surfaces et distances minimales sont également nécessaires pour l'installation optimale de ces formations, sans quoi, un entretien périodique des berges est souvent nécessaire.

Les espèces faunistiques considérées dans le cadre de ce projet sont le Chevalier guignette, le Petit Gravelot, le Sonneur à ventre jaune, le Castor, la Couleuvre à collier, un type de Libellule et le Crapaud commun. Des informations ont été collectées quant à leurs nécessités qualitatives et quantitatives. L'amélioration du réseau écologique de la plaine de la Broye est également visée par les aménagements.

L'espace nécessaire au lit principal de la rivière, soit la largeur de régime B, a été calculée selon la méthode proposée par Yalin [8], basée sur le débit des crues formatrices (Q_2 et Q_5) ainsi que sur le diamètre moyen des grains. La largeur de régime varie entre 32 [m] à Moudon et 48 [m] à l'embouchure de l'Arbogne. Cette largeur augmente jusqu'à 90 [m] après l'embouchure de la Petite Glâne, proche du lac, où la granulométrie est très fine. Cette largeur ne serait cependant jamais atteinte à cause du manque de dynamique dû à l'influence du niveau du lac. Selon l'Office Fédéral de l'Environnement [5], la largeur minimale des berges doit être de 15 [m].

Le type de régime d'écoulement a été analysé d'après la méthode de Da Silva [8], grâce aux résultats obtenus avec Yalin. Il s'agit de bancs alternés. La distance entre deux bancs du même côté de la rivière est de $L=6 \cdot B$ [8]. La profondeur d'affouillement est calculée avec plusieurs formules d'après Hersberger [3]. Les résultats varient de 1.2 [m] à Moudon jusqu'à 2.1 [m] entre l'Arbogne et la Petite Glâne pour une crue décennale.

VARIANTE 1 : ÉLARGISSEMENT GÉNÉRALISÉ

Pour cette variante, un élargissement de la Broye est proposé sur la presque totalité de son tracé à l'aval de Moudon. Cela consiste à atteindre la largeur de régime partout et à donner suffisamment d'espace aux berges, c'est-à-dire 15 [m] pour chaque rive. Cette mesure est appliquée partout, sauf dans les villes et au droit des ponts, soit sur un total de environ 29.4 [km] entre Moudon et l'embouchure de la Petite Glâne. Cela correspond en moyenne à un élargissement de 1.6 fois la largeur actuelle des rives. Avec cet élargissement, une dynamique naturelle peut se créer, ainsi des bancs alternés vont se mettre en place dans la largeur de régime. Une végétation alluviale s'installe en peu de temps, selon les niveaux des crues. Cependant, les largeurs des bandes de végétation ne sont clairement pas suffisantes pour garantir la création d'un système complètement naturel. La mise en place d'un système d'entretien régulier est nécessaire. Pour ce qui concerne la faune, la migration est garantie pour la plupart des espèces. Le réseau écologique est sûrement amélioré. Toutefois, les surfaces ne seraient très probablement pas suffisantes afin d'accueillir la grande faune. Pour ce qui concerne la petite faune, telle que les insectes, l'amélioration serait très importante. Le profil type de cet aménagement, partiellement repris pour les aménagements proposés par les autres variantes, est visible sur la Figure 2.

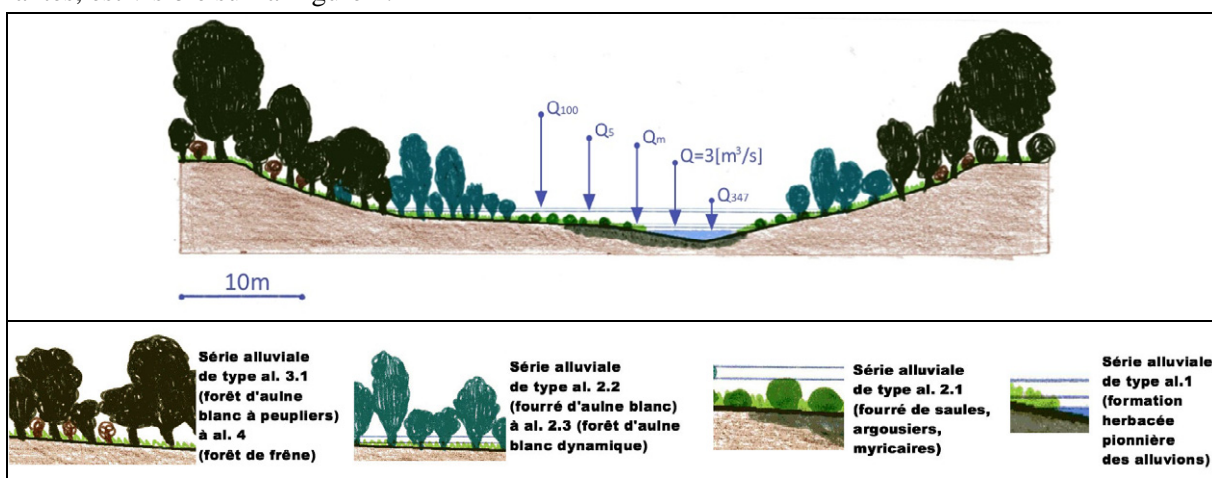


Figure 2: profil type de la variante 1

VARIANTE 2 : MISE EN VALEUR DES ZONES BOISÉES

Une deuxième variante consiste en la création de milieux alluviaux dans des zones déjà fortement boisées à l'état actuel. Il s'agit d'une renaturation de milieux alluviaux. La surface boisée va également être augmentée. Trois zones sont identifiées à cet effet. Il s'agit de la zone alluviale de Villeneuve, de zone boisée à l'amont de Fétigny ainsi que de la zone boisée à la hauteur du Bois de Boulex (Fétigny). Avec cet élargissement, une dynamique naturelle peut se créer sur des tronçons de quelques kilomètres de longueur. S'agissant de zones avec une grande surface, la qualité de l'habitat est également suffisante pour une bonne partie de la faune. Le castor peut ainsi s'installer sur toutes les zones, sauf peut-être celle du Bois de Boulex. Le réseau écologique de la plaine est ainsi amélioré pour ce qui concerne les zones nodales, mais aucune amélioration des corridors à faune n'est faite.

VARIANTE 3 : BASSINS DE RÉTENTION À UTILISATION AGRICOLE

Dans le cadre de cette variante, la proposition de mise en place de bassins à utilisation agricole alimentés par la nappe est analysée. Cette idée a été mise en avant par les associations de pêcheurs de la région, dans le but de diminuer les prélèvements d'eau de la Broye pour l'irrigation ainsi que pour obtenir des terrains permettant l'élargissement du lit. Ces bassins devraient se trouver au bord de la Broye, être alimentés périodiquement par cette dernière ainsi que régulièrement par la nappe phréatique. Cette mesure permet d'obtenir le support du milieu agricole, très important pour un projet de ce type dans une plaine à forte vocation agricole. Une augmentation des quantités d'eau mises à disposition de l'irrigation est visée. L'entier des 290 [l/s] qui peuvent être actuellement pompés dans la Broye sont transférés aux bassins. Un permis de pompage pour 100 [l/s] doit encore être délivré pendant les périodes les plus sèches, si le débit résiduel le

permet. Afin d'avoir un intérêt du point de vue écologique, ces bassins doivent être assez grands et être aménagés et entretenus de manière naturelle. Une végétation de type alluviale doit pouvoir s'y installer. Il est ainsi choisi de créer des bassins de taille 250 [m] x 20 [m]. La profondeur est fixée à 10 [m], les prix d'excavation deviendraient excessifs au-delà. La méthode de Vibert [1], basée sur la formule classique de Dupuis, a été utilisée afin de calculer les débits qui peuvent être fournis par la nappe. La formule est la suivante :

$$Q'_m = q'_1 + q'_2 = \frac{K \cdot \pi}{\ln(L/R)} \cdot [H^2 + (H' - H) \cdot H] = \frac{K \cdot \pi \cdot H' \cdot H}{\ln(L/R)},$$

avec $L = \text{rayon d'influence du puits} = 3'000 \cdot \text{rabattement} \cdot \sqrt{K}$ et R le rayon du puits, imposé égal au rayon équivalent de la surface des bassins. Les résultats montrent que 9 bassins sont suffisants afin de garantir le débit désiré. Le niveau d'eau dans les bassins à l'équilibre est de 1.2 [m]. Une vue en plan de l'aménagement d'un bassin est montrée sur la Figure 3.

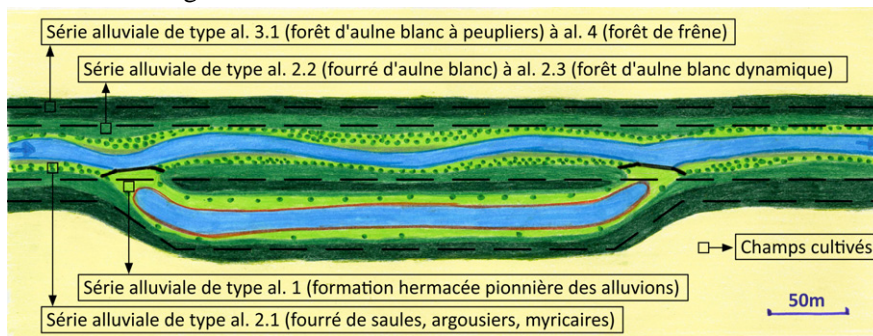


Figure 3: vue en plan d'un bassin de rétention à utilisation agricole

La faisabilité de la création de bassins de rétention à utilisation agricole a été montrée, il faut cependant rester très attentifs et être conscient du fait que les résultats sont très approximatifs. Beaucoup d'investigations supplémentaires sont nécessaires afin de garantir ces résultats. Ces investigations concernent un suivi du niveau de la nappe dans le temps dans les zones choisies ainsi que des études concernant l'aptitude du sous-sol à fournir de l'eau, au moyen d'essais de pompage.

VARIANTE 4 : MILIEUX ALLUVIAUX ET MILIEUX ANNEXES

Une quatrième variante concerne la mise en place de plusieurs mesures ponctuelles le long de la Broye. Cela concerne la création de milieux alluviaux ainsi que la mise en valeur de milieux annexes, tels que plusieurs étangs se trouvant le long de la Broye. Les aménagements des zones boisées proposés par la variante 2 sont repris, sans toutefois augmenter la surface forestière. A cela s'ajoute la création d'une zone alluviale d'assez grande surface entre Payerne et le Pont Neuf. Cet aménagement se ferait entre l'ancien et le nouveau lit de la Broye. Un reboisement et la création d'une zone alluviale proche de l'embouchure de l'Arbogne ainsi que autour de l'embouchure de la Petite Glâne est prévu, de manière à créer des zones nodales plus vers le centre de la plaine. Ceci est très important pour l'amélioration du réseau écologique. L'utilisation de trois étangs proches de la Broye (à l'aval de Moudon, Lucens et Granges-près-Marnand) afin de créer des milieux annexes avec des eaux calmes favorables à l'installation du crapaud commun et de plusieurs autres espèces est prévue. Des élargissements sont faits à l'entrée de Lucens, afin de résoudre les problèmes de débordement.

VARIANTE 5 : COMBINAISON DE VARIANTES

Comme son nom l'indique, cette variante consiste en une combinaison de variantes présentées précédemment. Quelques mesures supplémentaires sont également ajoutées. Toutes les mesures proposées dans le cadre de la variante 4 sont reprises. Les bassins proposés par la variante 3 sont intégrés dans les aménagements à effectuer. En plus de cela, la variante 5 prévoit un élargissement jusqu'à la largeur de régime (42 [m]) plus 15 [m] par berge à l'aval du Pont Neuf, dans la zone où une forte érosion de berge est déjà observable à l'état actuel. Cette variante prévoit un élargissement supplémentaire juste en amont de

Lucens, dans une zone non exploitée par l'agriculture. Deux zones de détente et de loisir sont prévues à Payerne, dans la zone aval de la ville. Un élargissement se fait et une bande d'environ 15 [m] de gravier est mise en place, produisant ainsi un endroit idéal pour la baignade dans des eaux peu profondes. Cette mesure augmente l'acceptabilité par la population locale. Enfin, une plus grande dynamique est laissée à la Broye par endroits, dans la largeur actuelle des berges. Cela se fait entre Moudon et la falaise à l'aval de Lucens, à l'amont et à l'aval de Granges-près-Marnand. Il s'agit des zones où peu de travaux sont faits. De plus, dans ces zones, la largeur actuelle des berges correspond approximativement à la largeur nécessaire afin de mettre en place une largeur de régime plus une pente des berges de 1:2. Selon les calculs de type de régime, des bancs alternés vont se créer. Les berges qui ne sont pas réaménagées seront néanmoins reboisées sur une longueur d'approximativement 5.5 [km] au total. La Figure 4 montre la position des aménagements prévus dans le cadre de cette variante.

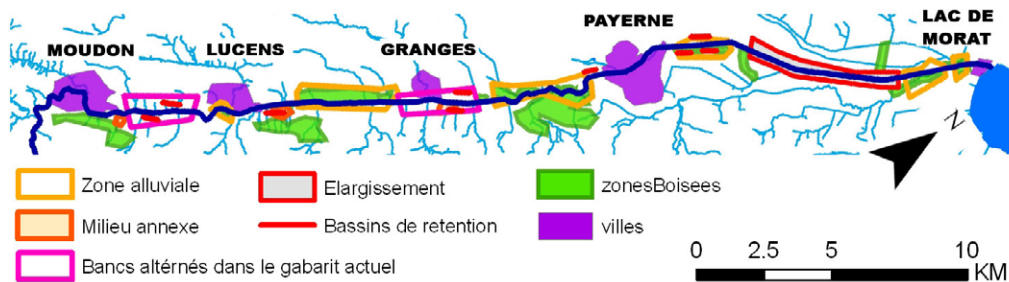


Figure 4: aménagements prévus dans le cadre de la variante 5

COMPARAISON DES VARIANTES

Une comparaison des 5 variantes d'aménagement de la Broye proposées ci-dessus est faite afin de choisir la variante à retenir. Cette comparaison se base sur une étude multicritère, l'emprise de terrains et les coûts. La valeur écologique obtenue avec l'étude multicritère est également utilisée. Maints critères ont été utilisés au total dans le cadre de l'étude multicritère¹. Le graphique de la Figure 5 montre l'évolution dans l'espace des améliorations totales liée à chaque variante. A Moudon (35 [km]), les scores de la variante 1 et de la variante 5 sont presque identiques. Les variantes 2 à 4 obtiennent des scores nettement inférieurs. Cela est dû aux surfaces limitées pour les variantes 2 et 3, et au manque de mise en liaison entre les zones réaménagées ainsi qu'au manque d'intérêt pour l'agriculture pour la variante 4. Toutefois, la variante 1 ne crée pas d'écosystèmes qui peuvent abriter la grande faune car aucune zone de surface suffisante n'est créée. Ceci n'est pas le cas pour la variante 5. En effet, plusieurs zones nodales sont créées par la variante 5. Les différents aménagements sont également reliés entre eux grâce au reboisement partiel des berges qui ne sont pas réaménagées.

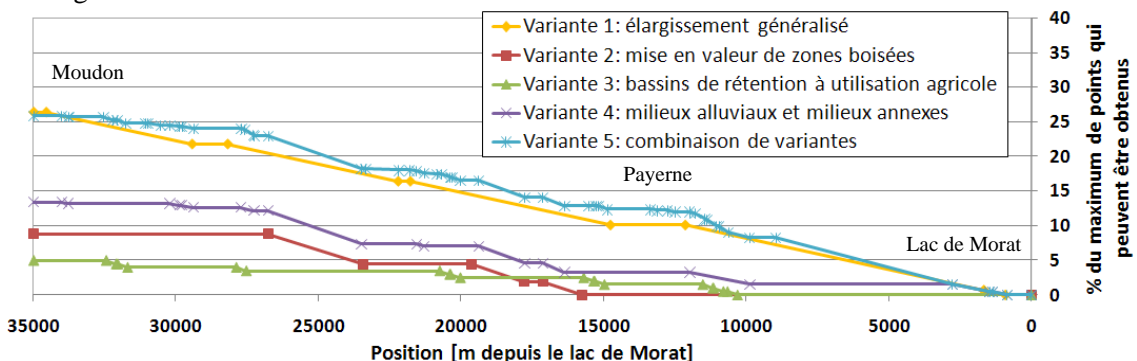


Figure 5: évolution dans l'espace de la qualité de la Broye d'après les résultats de l'étude multicritère

La Figure 6 montre une comparaison des emprises de terrains agricoles et coûts des différentes variantes en fonction de l'amélioration écologique qu'elles apportent, obtenue d'après l'étude multicritère. Les variantes 1 et 5 sortent encore une fois. Leur valeur environnementale est nettement plus élevée. Cependant les coûts

¹ Morphologie, écologie végétale (terrestre), écologie animale (terrestre), biotopes aquatiques, réseau écologique, migration piscicole, loisir/détente, coûts, emprise de terrains agricole, arrosage, stabilité du lit et des berges, sécurité, qualité de l'eau, paysage, contraintes structurelles et garantie des résultats.

et emprises de terrains sont également plus élevés. Les coûts de ces deux variantes sont approximativement les mêmes, autour des 300 mio CHF² (triangles verts). Ces prix peuvent être réduits de manière remarquable si une érosion naturelle a lieu à l'aval du Pont Neuf (cercles bleus). Ce discours est valable pour une bonne partie des aménagements prévus. De plus, les terres excavées peuvent en partie être vendues, surtout pour ce qui concerne les couches superficielles des sols agricoles. L'emprise de terrains agricole (carrés rouges) est plus élevée pour la variante 5. Une partie de cette emprise est néanmoins due à la mise en place de bassins à utilisation agricole. La valeur environnementale de la variante 1 est plus élevée puisqu'un aménagement de la presque totalité de la Broye a lieu. Mais aucun écosystème à forte valeur n'est créé. De plus, la valeur de la variante 5 est encore augmentée par le reboisement des berges non réaménagées, qui n'a pas été pris en compte dans l'analyse multicritère.

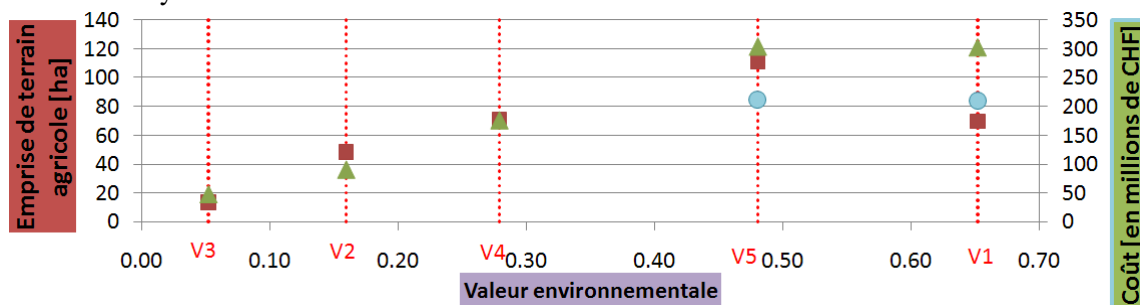


Figure 6: comparaison des coûts et de l'emprise de terrains agricoles en fonction de la valeur environnementale de chaque variante

VARIANTE RETENUE : VARIANTE 5

La variante 5 a finalement été retenue malgré son emprise de terrains agricoles supérieure à la variante 1 et sa valeur environnementale inférieure. Ceci puisque le réseau écologique de la plaine obtient une amélioration nettement plus élevée avec cette variante. Une deuxième raison très importante concerne l'acceptation par la population. En effet, la variante 5 amène plusieurs avantages pour ce qui concerne l'irrigation et les zones de détente et de loisir.

Une étude hydraulique détaillée de la variante est menée afin de continuer à garantir la sécurité lors des crues. 365 profils sont ainsi modélisés dans HEC-RAS. Aucun problème de débordement n'est créé avec ces aménagements. Les problèmes sont diminués à l'entrée de Lucens, mais ne sont pas encore complètement résolus. Il faut ainsi surélever les berges de quelque dizaine de centimètres afin de garantir une protection totale.

Au vu de l'ampleur des travaux d'aménagement envisagés, il n'est pas possible de les exécuter tous au même temps. Il faudra vraisemblablement compter une dizaine d'années pour la mise en place de toutes ces mesures. Une priorisation des aménagements est donc nécessaire. Une certaine logique doit être suivie, afin d'améliorer le plus rapidement possible la qualité de la Broye, en laissant ainsi en dernier les mesures qui apportent le moins d'avantages. Dès le départ, les espaces nécessaires à la renaturation doivent être réservés à cette fin, de manière à éviter un changement d'utilisation entravant la conclusion des travaux. Ceci est d'autant plus nécessaire que les aménagements se feront sur un grand laps de temps.

Une fois le projet fixé et les oppositions gérées, on commencera par enlever les protections de berges là où des élargissements sont faits. De cette manière, l'érosion des berges peut commencer dès tout de suite, réduisant ainsi les travaux d'excavation pour la mise en place finale. Par la suite, il est nécessaire de procéder rapidement aux aménagements qui ont fourni le soutien de la population, soit la création de bassins, l'aménagement de zones de loisir et de détente et la sécurisation du village de Lucens.

La renaturation de la zone alluviale de Villeneuve est également assez urgente, afin d'éviter une dénaturisation totale à cause du manque de dynamique. Les autres aménagements peuvent être faits par la suite.

² Les coûts des variantes sont estimés très grossièrement sur la base de la formule 'Coût = 1.5*Coût d'excavation + Coût d'achat des terrains'. Les coûts d'excavation (40.-/m³) incluent le terrassement, l'évacuation et la taxe de mise en décharge. Le prix d'achat des terrains agricoles est d'environ 5.-/m². Information fournie par le SESA (VD).

CONCLUSION

Le déficit écologique de la Broye ainsi que sa garantie sécuritaire à l'état actuel ont été démontrés. Les milieux et les espèces typiques ont été mis en évidence. Sur la base de ces observations des variantes de renaturation ont été proposées et ensuite comparées. La variante retenue, variante 5, s'est montrée apte à garantir l'atteinte du but visé, c'est-à-dire une amélioration écologique de la Broye tout en garantissant une protection contre les crues. Ce projet ne constitue que le lieu de départ pour un développement de la plaine de la Broye vers une utilisation durable du territoire. La création de quelques petits écosystèmes et corridors à faune éparpillés dans la plaine est indispensable afin d'obtenir un projet d'aménagement complet et qui a un sens dans la vision d'ensemble du territoire. Un continuum dans l'espace est nécessaire.

Un suivi de l'évolution des mesures doit être mis en place dès le départ. Cela concerne la surveillance de l'érosion naturelle ainsi que le suivi de l'évolution de la végétation et de la faune, tant aquatique que terrestre. Cela permet de s'assurer de la réussite des travaux.

L'adhésion de la population est très importante dans des projets de renaturation, surtout pour ceux de grande ampleur. Des mesures visant à satisfaire la population doivent être introduites dès le départ (amélioration de l'arrosage, zones de loisir et de détente, etc.). De plus, une démarche participative visant la concertation de la population et la prise en compte des nécessités est indispensable afin de diminuer les oppositions au projet. Cela permet notamment de diminuer les temps de mise en œuvre ainsi que les frais de mise en à l'enquête.

REMERCIEMENTS

Des remerciements sincères vont à tous ceux qui m'ont aidée pendant ce projet de master ainsi qu'aux personnes qui ont rendu possible ce travail. Je pense en particulier à M. Philippe Savary, aux associations de pêcheurs de la Broye et à la section vaudoise de WWF.

Je remercie également le personnel du Service des Eaux, Sols et Assainissements du Canton de Vaud, qui a mis son temps à disposition et m'a fourni plusieurs données et informations précieuses pour le déroulement du projet. J'adresse également mes remerciements sincères à M. Jean-Louis Boillat et M. Marcelo Leite Ribeiro du LCH pour leur soutien et leurs conseils.

Enfin, un grand merci à Enea et à ma famille pour leur soutien moral pendant ces longs mois.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. CARLIER, 1972, *Hydraulique générale et appliqué*, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Eyrolles
- [2] T. GHILARDI, 2007, *Rivières vaudoises : besoins de revitalisation et moyens à disposition*, Projet de semestre, EPFL (non publié)
- [3] D.S. HERSBERGER, 2002, *Wall Roughness Effects on Flow and Scouring in Curved Channels with Gravel Bed*, Communications n°14 du Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL
- [4] A. KIRCHHOFER, 2004, *La Broye vivante, étude conceptionnelle pour la réintroduction du nase (Chondrostoma nasus) dans la Broye VD/FR*, Rapport sur mandat de la Conservation de la faune du canton de Vaud & Service des forêts et de la faune du Canton de Fribourg (non publié)
- [5] Offices fédéraux OFEFP, OFEG, OFAG et ODT, 2003, *Idées directrices - Cours d'eau suisses. Pour une politique de gestion durable de nos cours d'eau*
- [6] A. PARRIAUX, 1981, *Contribution à l'étude des ressources en eau du bassin de la Broye*, Thèse n° 393, EPFL
- [7] C. ROULIER, S. RAST, A. HAUSAMMANN, 2007, *Plan d'aménagement du Rhône PA R3- Outil prédictif du développement des milieux riverains* (non publié)
- [8] M.Selim YALIN, A.M. Ferreira DA SILVA, 2001, *Fluvial processes*, IAHR International Association of Hydraulic Engineering and Research