

AQUAVISION ENGINEERING SARL
1024 ECUBLENS

**AquaVision
Engineering** 

RAYMOND DELARZE
1860 AIGLE

Raymond DELARZE
Bureau d'études biologiques

HINTERMANN & WEBER SA
1820 MONTREUX

**Hintermann
Weber.ch**
Etudes et conseils en
environnement

MANDATERRE
1400 YVERDON

 **MandaTerre**

BUREAU NICOD+PERRIN
1530 PAYERNE

1510 MOUDON

 **NICOD + PERRIN**
INGÉNIEURS ET GÉOMÈTRES SA

Diagnostic de la plaine de la Broye *Secteur Moudon – Lac de Morat*



Préparé pour :

Etat de Vaud - SESA

Rue du Valentin 10
1014 LAUSANNE

Etat de Fribourg – SLCE

Rue des Chanoines 17
17000 FRIBOURG

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
1 Hydrologie de la Broye	3
1.1 Introduction	3
1.2 Données existantes	3
1.3 Références bibliographiques	6
1.4 Annexes	6
2 Hydraulique de la Broye	7
2.1 Introduction	7
2.2 Données existantes	7
2.3 Modélisation	7
2.4 Remise en eau de l'ancienne Broye et stockage des eaux	11
2.5 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation	13
2.6 Références bibliographiques	13
2.7 Annexes	14
3 Transport solide dans la Broye	15
3.1 Introduction	15
3.2 Données existantes	15
3.3 Modélisations et calculs	15
3.4 Analyse des résultats	18
3.5 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation	20
3.6 Références bibliographiques	20
3.7 Annexes	20
4 Morphologie de la Broye	23
4.1 Introduction	23
4.2 Données existantes	23
4.3 Calculs morphologiques	23
4.4 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation	27
4.5 Références bibliographiques	27
4.6 Annexes	27
5 Etude morphologique et historique de la Broye et de sa plaine	29
5.1 Introduction	29
5.2 Méthode	29
5.3 Résultats	31
5.4 Points à compléter et suppléments d'étude proposés	42
5.5 Références bibliographiques	43
5.6 Annexes	43
6 Potentiel de développement d'un réseau écologique	45
6.1 Introduction	45
6.2 Le réseau écologique de la plaine	45
6.3 Références bibliographiques	49
6.4 Annexes	49
7 Ecosystèmes aquatiques de la Broye	51
7.1 Introduction	51
7.2 La Broye : contexte général	51
7.3 Ecosystèmes aquatiques	53
7.4 Objectifs de renaturation	78
7.5 Identification de sites particuliers d'importance	80
7.6 Points à compléter et suppléments d'étude proposés	82
7.7 Références bibliographiques	83
7.8 Annexes	84
8 Besoins en eau pour l'agriculture	85
8.1 Introduction	85
8.2 Périmètre d'étude	85

8.3	Méthode et données recensées	85
8.4	Résultats	86
8.5	Préoccupations des agriculteurs et solutions proposées	102
8.6	Conclusion	103
8.7	Annexes	104
9	Plan de contraintes	107
9.1	Définition du mandat	107
9.2	Périmètre et données de base	107
9.3	Représentation des données	107
9.4	Aspect foncier	108
9.5	Aspect Infrastructures	110
9.6	Données complémentaires à acquérir en cas d'études sectorielles	112
9.7	Annexes	112
10	Entretien des berges de la Broye	113
10.1	Etat actuel de l'entretien	113
10.2	Influence d'une renaturation sur l'entretien des berges	113
10.3	Contraintes à prendre en compte dans l'entretien après renaturation	114
10.4	Synthèse de l'entretien des berges après renaturation	114
11	Synthèse	115
11.1	Synthèse par volet	115
11.2	Approche suivie	120

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits de pointe à la station de Payerne pour différentes périodes de retour (1990 et 2009)	4
Tableau 2 : Evolution des débits le long de la Broye pour différentes périodes de retour	4
Tableau 3 : Débits d'étiage le long de la Broye	5
Tableau 4 : Points de débordements recensés pour la crue extrême et pour la crue centennale	8
Tableau 5 : Secteurs hydrauliquement intéressants pour la renaturation	11
Tableau 6 : Granulométrie moyenne le long de la Broye	15
Tableau 7 : Longueurs et volumes d'érosion et de dépôts sur la totalité de la zone d'étude	16
Tableau 8 : Evolution du profil en long de la Broye sur la totalité de la zone d'étude	18
Tableau 9 : Largeur et profondeur d'équilibre pour les différents tronçons	25
Tableau 10 : Volumes et coûts d'excavation pour atteindre le régime d'équilibre	26
Tableau 11 : Lacunes identifiées et propositions de suppléments d'investigation	42
Tableau 12 : Synthèse de l'appréciation qualitative des affluents et de la franchissabilité des embouchures	57
Tableau 13 : Liste des invertébrés benthiques présents dans la Broye et menacés au niveau Suisse ..	58
Tableau 14 : Résultats du suivi de la macrofaune benthique et détermination de la note de qualité biologique (indice Rivaud) pour la Broye	60
Tableau 15 : Pesticides dans les rivières vaudoises. Résultats pour la Broye, 2002-2004	60
Tableau 16 : Détection de pesticides dans la Broye en concentration supérieure à 100 ng/l en 2007-2008	61
Tableau 17 : Concentrations des éléments majeurs dans la Broye à Domdidier pour les années 2000-2009	61
Tableau 18 : Résultats du suivi de la macrofaune benthique et détermination de la note de qualité biologique (l'indice Rivaud) pour les affluents	62
Tableau 19 : Pesticides dans les rivières vaudoises. Résultats pour les affluents, 2002-2004	63
Tableau 20 : Eléments majeurs dans les affluents de la Broye. Valeurs pour 2004 et 2007	63
Tableau 21 : Espèces piscicoles recensées dans la Broye	64
Tableau 22 : Plantes aquatiques recensées au bord de la Broye	67
Tableau 23 : Espèces recensées dans les ourlets du bord de la Broye	70
Tableau 24 : Extrait des espèces protégées observées sur les talus séchards de la Broye	71
Tableau 25 : Espèces recensées parmi les formations buissonnantes humides de la Broye	72
Tableau 26 : Espèces observées dans les formations buissonnantes mésophiles de la Broye	72
Tableau 27 : Espèces menacées des milieux alluviaux recensées à Villeneuve	73
Tableau 28 : Espèces recensées à proximité de la Broye	75
Tableau 29 : Espèces observées au Près de Rosex et à l'embouchure de la Broye	76
Tableau 30 : Espèces recensées historiquement le long de la Broye	76
Tableau 31 : Espèces recensées le long de la Broye	77
Tableau 32 : Quelques espèces des plans d'eau de la Broye	77
Tableau 33 : Espèces animales recensées dans les différents plans d'eau	78
Tableau 34 : Dimensionnement de la liaison biologique régionale selon le Réseau écologique Vaudois établi par R. Delarze (2010)	81
Tableau 35 : Besoins annuels en eau d'irrigation des différentes cultures (besoins actuels recensés) ..	88
Tableau 36 : Besoins recensés par source d'eau, sont indiqués les surfaces irriguées en hectares et les besoins en m ³ /an	90
Tableau 37 : Systèmes d'irrigation recensés	92
Tableau 38 : Besoins moyens extrapolés par source d'eau	93
Tableau 39 : Evolution des cultures et des surfaces irriguées à un horizon de 10 à 15 ans selon les réponses au questionnaire	95
Tableau 40 : Récapitulatif des besoins en eau et des surfaces irriguées recensés par questionnaire, estimés et futurs	98
Tableau 41 : Récapitulatif des scénarios et des principaux paramètres retenus pour les comparaisons	99
Tableau 42 : Récapitulatif des surfaces irriguées et besoins en eau pour le bassin versant de la Broye en amont de Payerne	99

Tableau 43 : Besoins mensuels en eau pour les divers scénarios, d'après les données recensées, extrapolées et futures	100
Tableau 44 : Débits mesurés à la station de Payerne en [m ³ /s]. En rouge, les valeurs proches ou inférieures au Q _{min} (0.516 m ³ /s).....	100
Tableau 45 : Répartition des types de propriétaires par secteur	108
Tableau 46 : Surfaces d'assèchement par secteur	110
Tableau 47 : Contraintes gaz et fibre optique par secteur	111

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Zone d'étude et bassin versant du Lac de Morat	3
Figure 2 : Courbe des débits classés à Payerne.....	5
Figure 3 : Zones inondables pour la crue centennale – identification des principaux secteurs touchés ...	9
Figure 4 : Profil en travers – aval Granges-près-Marnand	10
Figure 5 : Niveaux atteints au profil 11'000 à l'amont du pont Neuf pour Q100 et Qext	11
Figure 6 : Capacité de l'ancienne Broye	12
Figure 7 : Stockage potentiel dans la Broye.....	13
Figure 8 : Zones d'érosion et de dépôts sur la zone d'étude pour une crue centennale – $d_{50} = 50$ mm	17
Figure 9 : Evolution du lit le long de la Broye (selon contraintes de cisaillement / vitesses)	19
Figure 10 : Diagramme de Da Silva pour Q1 et Q2, $d_{50} = 50$ mm et 1 mm.....	23
Figure 11 : Diagramme de Da Silva par secteur – $d_{50} = 50$ mm - Q1	24
Figure 12 : Largeur et profondeur d'équilibre pour le tronçon amont de Granges-près-Marnand	26
Figure 13 : Phases successives du façonnement et du remplissage alluvial tardi- et postglaciaire de la vallée de la Broye, d'après Parriaux (1981) in Weidmann (1996).....	32
Figure 14 : Carte particulière du Balliage d'Avenches dressée par P. Willommet en 1745 (extrait, partie Basse plaine de la Broye)	33
Figure 15 : Légère courbe avec zone de divagation remplacée par le nouveau canal (en rouge), communes de Lucens (Nord) et de Curtilles (Sud)	34
Figure 16 : Moudon, après la crue de la Broye du 3 octobre 1888, in Chuard & Faucherre (1976)	36
Figure 17 : Moudon, crue de la Broye, probablement le 25 mars 1895, in Chuard & Faucherre (1976)	36
Figure 18 : zones piscicoles de la Broye. D'après Kirchofer A. (2004)	52
Figure 19 : Illustration du profil trapézoïdal de la Broye dans le secteur Moudon-Lucens.....	53
Figure 20 : Illustration du profil de la Broye, à partir du Pont-Neuf, à l'aval de Payerne.....	54
Figure 21 : Profil de la Broye, 1 km avant l'embouchure.....	54
Figure 22 : Illustration des successions de seuils présents sur le linéaire de la Broye. A droite : aval de Lucens. A gauche : aval de Payerne.....	55
Figure 23 : Nouvelle rampe rugueuse de Valacrêt (En Bressonnaz).....	55
Figure 24 : Ajout de gros blocs pour l'abri des poissons. Secteur Moudon-Lucens.	56
Figure 25 : Exemple de la formation d'un banc de graviers, à la hauteur de Fétigny.	56
Figure 26 : Localisation des stations de mesure pour le suivi de la macrofaune benthique dans la Broye	59
Figure 27 : Carte de distribution du blageon pour la période de 1991 à 2003 (CCFN, 2004).....	65
Figure 28 : Carte de distribution du nase pour la période de 1991 à 2003 (CCFN, 2004).....	66
Figure 29 : colonie de Nénuphar jaune près de l'embouchure.....	67
Figure 30 : Ourlet présent en pied de talus	68
Figure 31 : Talus de la Broye	68
Figure 32 : Aperçu des rives boisées à Villeneuve et Fétigny	69
Figure 33 : Profil-type de la rivière depuis le Pont-Neuf.....	69
Figure 34 : Cordon boisé de lit de l'ancienne Broye.....	74
Figure 35 : Carte du périmètre étudié et du bassin versant de la Broye, ainsi que les infrastructures et surfaces relevées ; en gris les communes pour lesquelles au moins une réponse au questionnaire a été enregistrée.....	87
Figure 36 : Part des différentes cultures dans les besoins en eau d'irrigation totaux (besoins actuels recensés).....	89
Figure 37 : Carte des besoins recensés pour chaque commune, indépendamment des sources d'eau, les lieux d'extraction définis sur cette carte proviennent de la base de données GESREAU du SESA ..	91
Figure 38 : Carte des besoins actuels extrapolés en $[m^3/an]$; les lieux d'extraction proviennent de la base de données GESREAU du SESA.....	94
Figure 39 : Carte des besoins futurs en $[m^3/an]$; pour cette carte, il a été supposé que l'ensemble des surfaces potentiellement irrigables sont irriguées et que les besoins sont 25% plus hauts qu'aujourd'hui, soit environ $1000 [m^3/(ha*an)]$ au lieu de $800 [m^3/(ha*an)]$	97
Figure 40 : Carte des secteurs	121

Introduction

Dans le cadre du projet de renaturation de la Broye entre Moudon et le lac de Morat, le Service des Eaux, Sols et Assainissement du canton de Vaud (SESA) et la Section Lacs et Cours d'Eau du canton de Fribourg (SLCE) ont lancé un ensemble de modules préliminaires devant permettre d'établir un diagnostic de la situation actuelle et du potentiel de renaturation. Dans un même temps, ce diagnostic doit permettre de dégager les synergies éventuelles avec les besoins en eau pour l'agriculture et les travaux d'entretien de la Broye sur le long terme.

Ces modules préliminaires ont été confiés à différents bureaux spécialisés :

- Le bureau d'étude **AquaVision Engineering** (ci-après : AVE) à Ecublens pour les modules « Hydrologie » (chap. 1), « Hydraulique » (chap. 2), « Transport solide » (chap. 3) et « Morphologie de la Broye » (chap. 4) ;
- Le bureau **Hintermann Weber** à Montreux pour le module « Etude morphologique et historique de la Broye et de sa plaine » (chap. 5) ;
- Le bureau d'études biologiques **R. Delarze** à Aigle pour les modules « Potentiel de développement d'un réseau écologique » (chap. 6) et « Ecosystèmes aquatiques de la Broye » (chap. 7)
- Le bureau **Prométerre** pour le module « Besoins en eau pour l'Agriculture » (chap. 8) ;
- La partie « recueil des données cadastrales, sites pollués, contraintes et surfaces d'assolement » a été confié aux géomètres du bureau technique **Nicod+Perrin** à Moudon et à Payerne (chap. 9).

Il convient de mentionner ici que le présent diagnostic n'a pas pour objectif de déterminer la liste des futurs projets de renaturation. Il s'agit avant tout de dresser un bilan de la situation actuelle sous l'angle des différents volets abordés, ainsi que de pointer des pistes qui mériteraient d'être explorées davantage dans la suite.

Dans ce sens, cette étude ne vise qu'à ouvrir les discussions et suggestions et se veut d'être un tremplin pour la future renaturation, sous quelque forme que ce soit.

1 Hydrologie de la Broye

1.1 Introduction

Ce module a été réalisé sur la base d'éléments bibliographiques pris auprès du canton et de l'OFEV ainsi que dans diverses études existantes. Ce chapitre présente succinctement les éléments principaux de l'hydrologie du bassin versant de la Broye.

1.2 Données existantes

1.2.1 Données générales

Les données hydrologiques ont été recueillies d'après les données disponibles auprès de l'OFEV et des études existantes. D'après l'Atlas hydrologique de la Suisse, la Broye peut être classée suivants plusieurs régimes. La partie supérieure de la Broye est considérée comme ayant un régime nivo-pluvial préalpin (débit maximum en avril-mai, minimum en novembre-janvier). De Moudon à Payerne, le régime est pluvial jurassien (débit maximum en février-mars, minimum en juillet-août), et à l'aval de Payerne, le régime est du type pluvial inférieur (pas beaucoup de différences suivants les mois, mais un débit maximum en février-mars et un minimum vers septembre-octobre).

Le bassin versant de la Broye a une superficie d'environ 440 km² (sans compter les bassins versants de la Petite Glâne 89 km² et de l'Arbogne 75 km²). L'altitude maximale du bassin versant est de 1514 msm, l'altitude minimale de 430 msm au niveau de l'embouchure dans le lac de Morat. L'altitude moyenne du bassin est d'environ 710 msm.

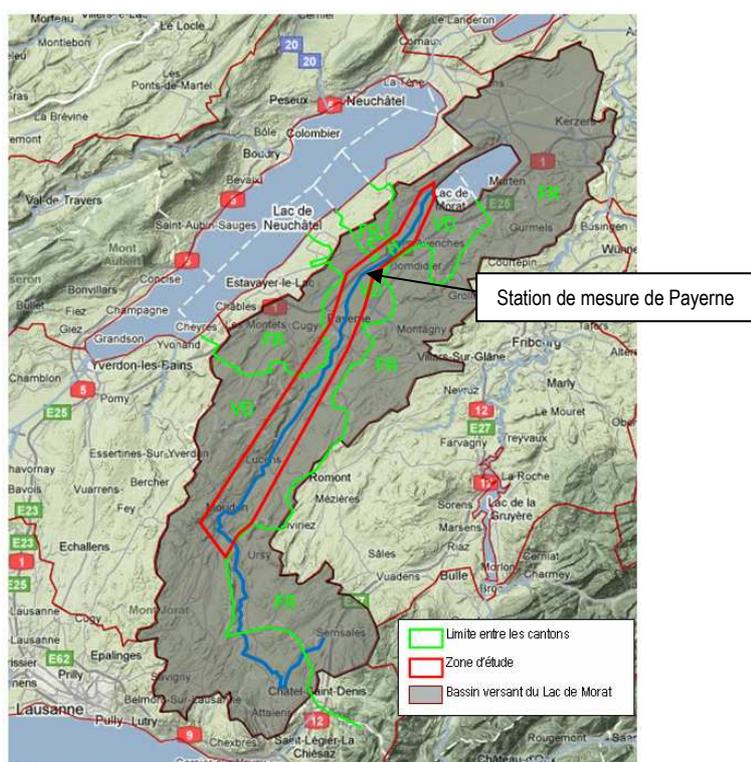


Figure 1 : Zone d'étude et bassin versant du Lac de Morat

1.2.2 Débits de crues

Il n'existe qu'une seule station de mesure des débits et des niveaux sur la Broye. Elle est située en aval de Payerne. Elle recueille des données depuis 1920. La courbe de tarage est présentée en annexe 1.1. Les débits pour différentes périodes de retour sont présentés dans le tableau 1. Ils ont été revus en 2009.

	Payerne (1990)	Payerne (2009)
Q2		137
Q 5	215	189
Q10	240	223
Q20	265	
Q30		271
Q50	310	293
Q100	340	321
Q300		366

Tableau 1 : Débits de pointe à la station de Payerne pour différentes périodes de retour (1990 et 2009)

En fonction des surfaces contributives du bassin versant, les débits ont été estimés sur tout le parcours de la Broye depuis Moudon jusqu'à l'embouchure. Ces calculs ont été effectués à partir des débits de Payerne de 1990 car ils sont plus importants.

	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Moudon	170	185	205	230	255
Lucens	180	195	220	250	275
Henniez	195	215	240	270	300
Granges	205	225	250	285	315
Trey	210	230	260	290	325
Fétigny	210	230	265	295	330
Payerne	215	240	270	310	340
Canal des Sésines	250	275	315	350	390

Tableau 2 : Evolution des débits le long de la Broye pour différentes périodes de retour

La carte en annexe 1.2 présente les surfaces contributives et leurs points d'injection.

1.2.3 Débits classés et débits d'étiage

Le graphique suivant présente la courbe des débits classés de la Broye (source : station de mesure de Payerne, OFEV).

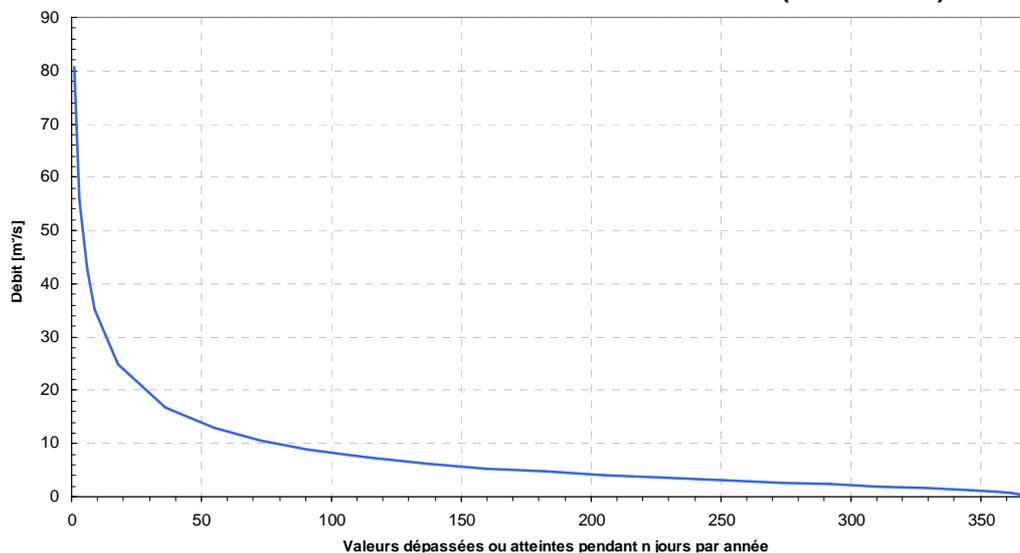


Figure 2 : Courbe des débits classés à Payerne

La courbe des débits classés donne le débit d'étiage (Q₃₄₇) qui est égal à 1,25 m³/s.

La répartition estimée du débit Q₃₄₇ le long de la Broye est la suivante.

	Etiage - Q ₃₄₇
Moudon	0.88
Lucens	0.93
Granges	1.15
Payerne	1.26
Aval Arbogne	1.54
Aval Petite Glâne	1.82

Tableau 3 : Débits d'étiage le long de la Broye

Ces valeurs sont des moyennes depuis 1920. Or depuis, il y a eu la deuxième correction des eaux de la Broye, et les pompages pour irrigation se sont multipliés tout au long de la Broye.

Le débit résiduel minimal après pompage est estimé à 515.60 l/s (40,9 % du Q₃₄₇) et le débit seuil pour le SESA est de 513 l/s.

Le pompage est interdit dès que le débit d'étiage est atteint.

1.3 Références bibliographiques

Consuegra, D. (1990), 'Etude hydrologique régionale de la Broye moyenne et aventicienne. Les problèmes relatifs aux eaux de surface dans la région de la Broye moyenne et aventicienne', Dossier d'enquête, HYDRAM/EPFL

Etat de Vaud, Département des travaux publics, de l'aménagement et des transports, Service des Eaux et de la protection de l'environnement (1990), 'La Broye – Rapport technique'

Ghilardi, T. (2008), 'Renaturation de la Broye', rapport technique, LCH/EPFL

1.4 Annexes

Annexe 1.1 : Courbe de tarage de la station de Payerne

Annexe 1.2 : Enchaînement des bassins versants et apports latéraux

2 Hydraulique de la Broye

2.1 Introduction

Le chapitre suivant présente les résultats de l'étude hydraulique 1D réalisée sur la Broye dans sa traversée du canton de Vaud en aval de Moudon. Cette étude a permis d'identifier les zones à risques d'inondation ainsi que les zones à fort potentiel en termes de capacité hydraulique.

2.2 Données existantes

Les données existantes suivantes ont été utilisées :

- profils en travers sur de la Broye dans le canton de Vaud relevés par l'OFEV en 2007 ;
- modèles hydrauliques réalisés par AVE pour les inondations du Camping de Moudon (PK et pour la passe à poisson de Valacrêt ;
- courbe de tarage pour la station de Payerne. ;
- Modèle numérique de terrain (MNT) et modèle numérique de surface (MNS) de la Broye (2001).

Le MNT a été corrigé pour intégrer le lit mesuré de la Broye (d'après les profils de l'OFEV).

Il existe plus d'une centaine de seuils plus ou moins importants sur la Broye et un grand nombre d'épis pour consolider les berges. Ils ont été réalisés pour stabiliser le lit suite aux modifications du tracé. Aucun relevé de ces seuils ou de ces épis n'existe actuellement.

Remarques :

- Nous ne disposons pas de suffisamment de données pour réaliser correctement le calage vu qu'il n'existe qu'un seul point de validation niveaux/débits sur le bassin versant.
- Les seuils et les épis n'ont pas été relevés lors des relevés des profils en travers de l'OFEV (2007). Les pertes de charges liées à ceux-ci n'ont donc pas pu être estimées.

2.3 Modélisation

2.3.1 Construction du modèle

Un modèle hydraulique a été réalisé sur la Broye depuis l'amont de Moudon jusqu'au lac de Morat, soit 39 km) à l'aide du logiciel HEC-RAS 4.1.0

Les coefficients de rugosité pour les différentes zones sont basés sur les coefficients des études antérieures et correspondent aux recommandations usuelles dans ce domaine.

Le calage a été réalisé pour les différentes périodes de retour à l'aide de la courbe de tarage.

Les crues de périodes de retour 30, 100 et 300 ans ont été modélisées. Des débits latéraux ont été introduits pour tenir compte de l'augmentation des débits sur le linéaire de la Broye (cf. tableau 2).

2.3.2 Analyse des résultats

2.3.2.1 Points faibles

Les résultats de la modélisation ont été analysés de manière à faire ressortir les zones de débordement potentielles. Ces zones ont été identifiées en faisant la différence entre les cotes supérieures des berges/digues et la cote atteinte pour les différentes périodes de retour modélisées.

Pour la crue extrême (Q300), 13 points faibles ont ainsi été identifiées (10 en rive gauche et 3 en rive droite). Ces 13 points faibles peuvent être regroupés en 5 zones principales.

Pour la crue centennale, on dénombre 6 points faibles en rive gauche et 1 seul en rive droite.

Le tableau suivant présente la localisation de ces zones, la longueur approximative de débordement et la hauteur d'eau maximale sur les berges.

HQ300	Zone	Profil amont	Profil aval	Longueur approximative débordement	Hauteur max sur berges
Rive Gauche	A	36800	36430	370	1.83
	B	29200	29200	0	0.58
	C	26400	26400	0	0.68
	C	25974	25600	374	1.16
	C	24200	24200	0	0.23
	C	23300	23300	0	0.16
	D	16300	16100	200	0.82
	D	15200	15200	0	0.37
	E	4300	4200	100	0.8
	E	2100	1840	260	0.52
Rive droite	A	36422	36351	71	0.45
	E	3404	3404	0	0.01
	E	0	0	0	0.04

HQ100	Zone	Profil amont	Profil aval	Longueur approximative débordement	Hauteur max sur berges
Rive Gauche	A	36800	36700	100	1.44
	B	29200	29200	0	0.08
	C	26400	26400	0	0.2
	C	25974	25974	0	0.64
	D	16100	16100	0	0.28
	E	4300	4300	0	0.13
Rive droite	A	36400	36400	0	0.02

Tableau 4 : Points de débordements recensés pour la crue extrême et pour la crue centennale

Les profils en long de la Broye pour les crues de période de retour 30 et 100 ans ainsi que pour la crue extrême sont présentés en annexes 2.1, 2.2 et 2.3. La localisation précise des points faibles figure également sur les cartes de l'annexe 2.5.

2.3.2.2 Zones inondables

Pour établir les zones inondables, nous avons reporté les niveaux calculés avec la modélisation pour la crue centennale sur le MNT de la Broye.

Nous obtenons ainsi une cartographie des hauteurs d'eau sur la plaine de la Broye. Cette carte permet d'identifier les secteurs à risque en cas de rupture de digue, les annexes hydrauliques ou les anciens tracés de la Broye. La carte globale des zones inondables est présentée en figure 3.

Des cartes plus précises par secteurs sont jointes en annexes 2.5 à 2.11.

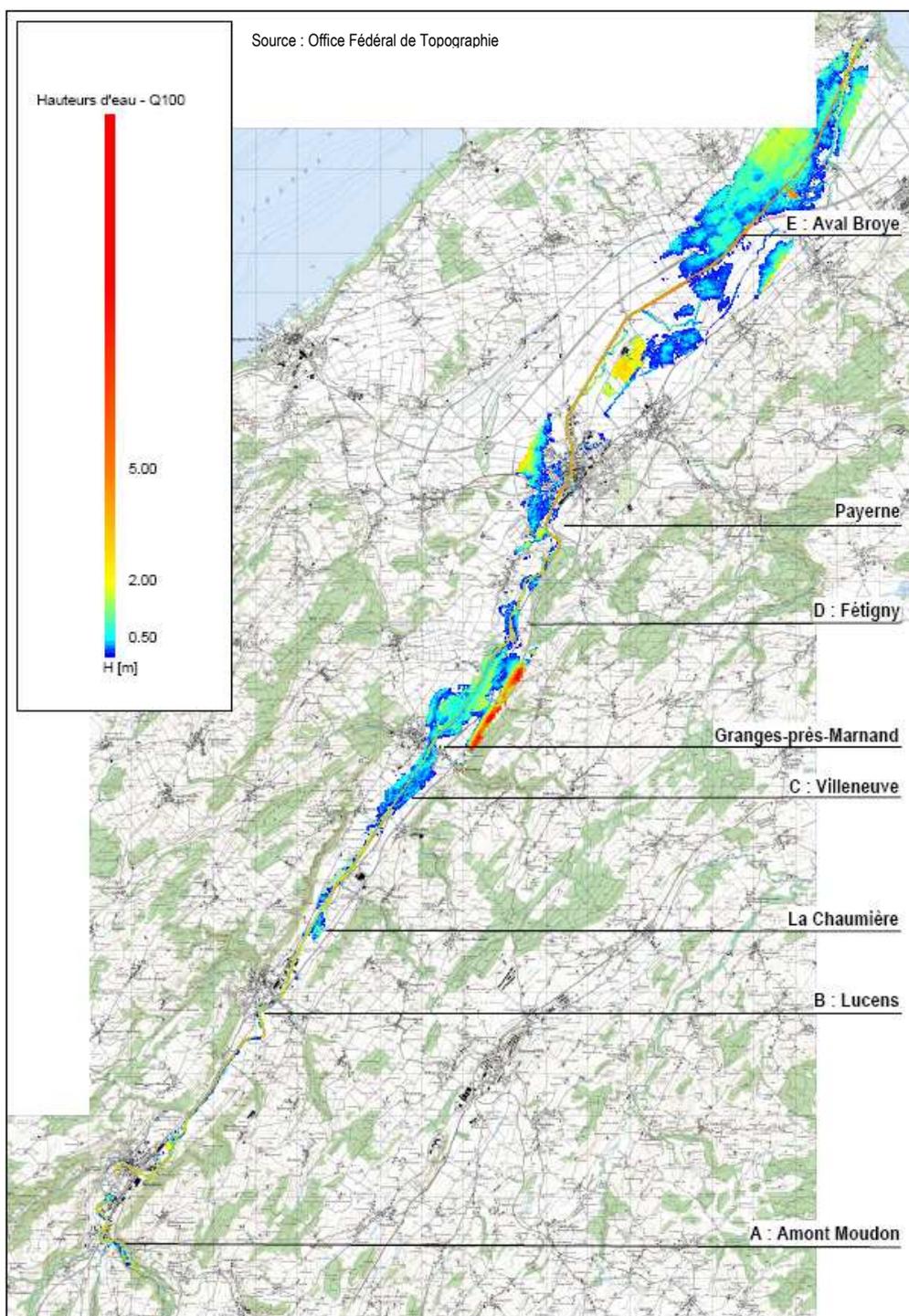


Figure 3 : Zones inondables pour la crue centennale – identification des principaux secteurs touchés

Ainsi, le secteur le plus sensible est situé en amont et en aval de Granges-près-Marnand, où la cote de la crue centennale est située au dessus de la plaine.

En amont de Moudon, il existe quelques annexes hydrauliques inondables, dont une située au niveau du camping (cf. étude AVE 2008). En aval de Moudon, la gravière située à Bronjon est située sous la cote de la crue centennale.

Entre Moudon et Lucens, la Broye est suffisamment creusée pour qu'il n'y ait pas de débordements.

Au niveau des méandres de Lucens, il existe encore 2 anciennes annexes hydrauliques situées sous la cote centennale.

Entre Lucens et Villeneuve, les points suivants sont situés sous la cote de la crue centennale :

- en rive droite : zone de la Chaumière (pas de connexion directe avec la Broye) ;
- en rive gauche, forêt alluviale de Villeneuve.

Au niveau de Granges-près-Marnand, la zone inondable est située derrière les digues. En cas de rupture de digue, une grande partie des champs serait inondée.

Autour de Fétigny, quelques annexes hydrauliques en rive droite et en rive gauche seraient mobilisées ainsi que le bassin de la briqueterie et le fond du thalweg de Brisecou.

Il n'y a pas de débordement en aval de Payerne, car la Broye est surcreusée par rapport à la plaine. En aval du canal des Sésines par contre, on se retrouve sous l'influence de la courbe de remous du lac de Morat ce qui crée une très grande zone inondable.

Le graphique suivant présente les niveaux d'eau obtenus par la modélisation 1D pour un profil type en aval de Granges-près-Marnand. Les profils type pour d'autres secteurs clés sont présentés en annexe 2.11.

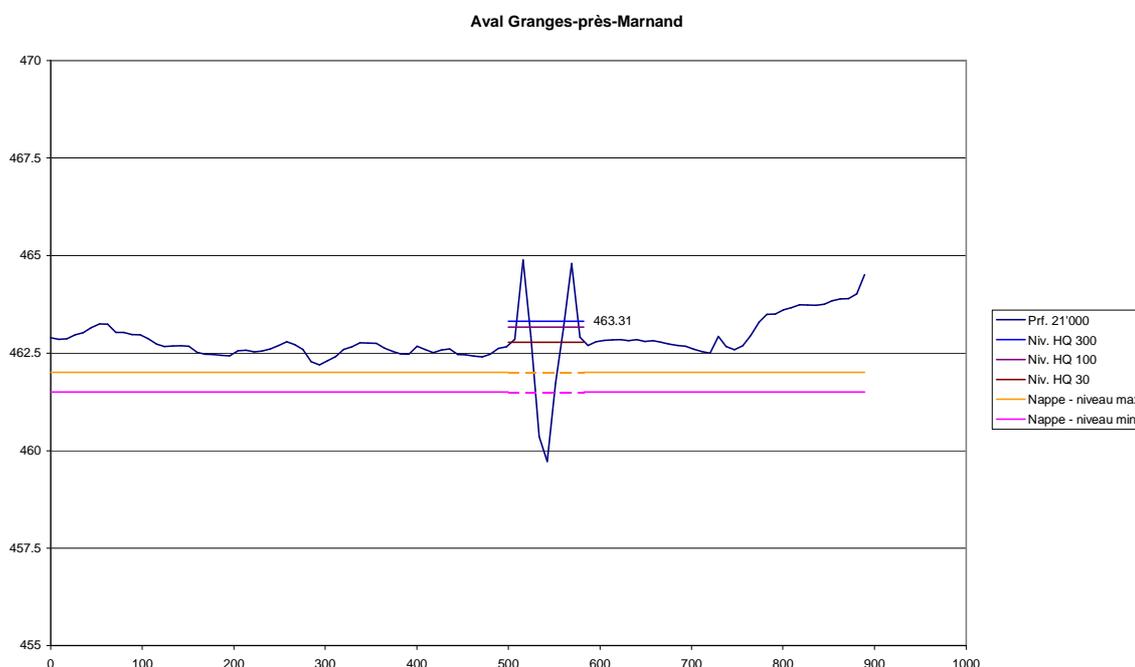


Figure 4 : Profil en travers – aval Granges-près-Marnand

L'étude des zones pouvant être inondables a permis de déterminer une dizaine de secteurs pour lequel une renaturation pourrait être envisageable en utilisant les potentialités naturelles de la Broye. Ces secteurs sont présentés dans le tableau suivant avec les points kilométriques de référence et les communes concernés.

Localisation [m]	Secteur	Communes
36'600 - 36'300	Camping de Moudon	Moudon
33'800 - 33'000	Bronjon	Moudon
32'700 - 30'500	Aval Moudon en Rive droite	Moudon, Curtilles
30'400 - 29'000	Rive gauche du méandre de Lucens	Lucens
27'200 - 26'800	Zone humide de la chaumière	Lucens
26'800 - 25'600	Zone alluviale de Villeneuve	Villeneuve
25'600 - 23'200	Aval zone alluviale de Villeneuve	Villeneuve
23'200 - 21'900	Amont Granges-près-Marnand	Granges-près-Marnand
21'600 - 19'000	Aval Granges-près-Marnand	Granges-près-Marnand, Trey
18'400 - 16'000	Fétigny	Fétigny
15'400 - 15'200	Briqueterie	Fétigny
11'700 - 9'500	Amont pont neuf	Payerne
9'500 - 7'000	Aval Pont neuf - canal des Sésines	Corcelles-près-Payerne

Tableau 5 : Secteurs hydrauliquement intéressants pour la renaturation

2.4 Remise en eau de l'ancienne Broye et stockage des eaux

Nous avons étudié la possibilité de remise en eau de l'ancienne Broye en transformant la Broye actuelle en canal d'évacuation des crues et en bassin de stockage pour les besoins en eau. En amont et en aval du Pont Neuf, la configuration actuelle de la Broye permettrait une bonne évacuation des crues, crue extrême comprise. Il serait donc possible de remettre en eau l'ancienne Broye jusqu'à un certain débit et de faire transiter les plus gros débits par la Broye actuelle.

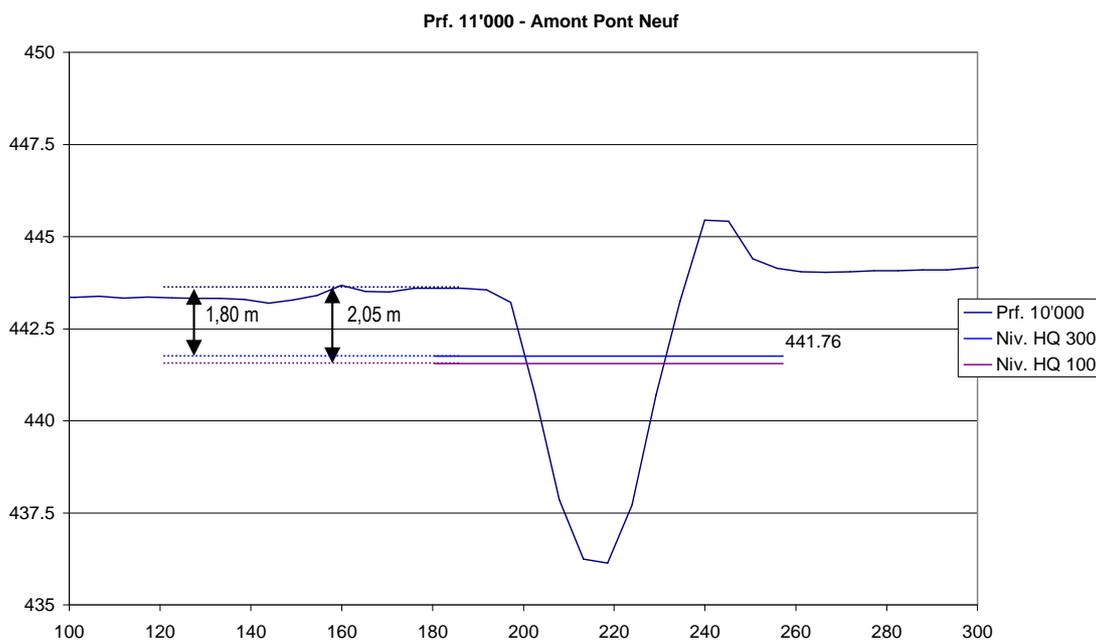


Figure 5 : Niveaux atteints au profil 11'000 à l'amont du pont Neuf pour Q100 et Qext

L'ancienne Broye existe encore partiellement à l'aval de Payerne. Nous avons estimé sa capacité actuelle d'après les profils en travers obtenus à partir du MNT, de sa pente prise également d'après le MNT et la formule de Manning-Strickler. Nous avons retenu les valeurs minimales.

A l'amont du Pont Neuf (Longbroye), l'ancienne Broye longe la Broye actuelle sur environ 2 km en revenant 2 fois vers celle-ci. Sur ce tronçon, la capacité serait de 44 m³/s, débit dépassé 6 jours par an d'après la courbe des débits classés.

En aval du Pont Neuf (ancienne Broye), l'ancien tracé s'éloigne de la rivière actuelle pour aller vers le canal des Sésines. Une solution serait alors nécessaire à étudier pour faire revenir l'ancienne Broye vers l'actuelle en utilisant ou non le canal des Sésines. Ce tronçon de l'ancienne Broye a une capacité estimée à 15 m³/s, débit dépassé 45 jours par an.

Ces données sont à considérer avec une certaine mesure car elles sont basées sur le MNT corrigé. Il sera nécessaire de réaliser une campagne topographique pour confirmer ou infirmer ces débits.

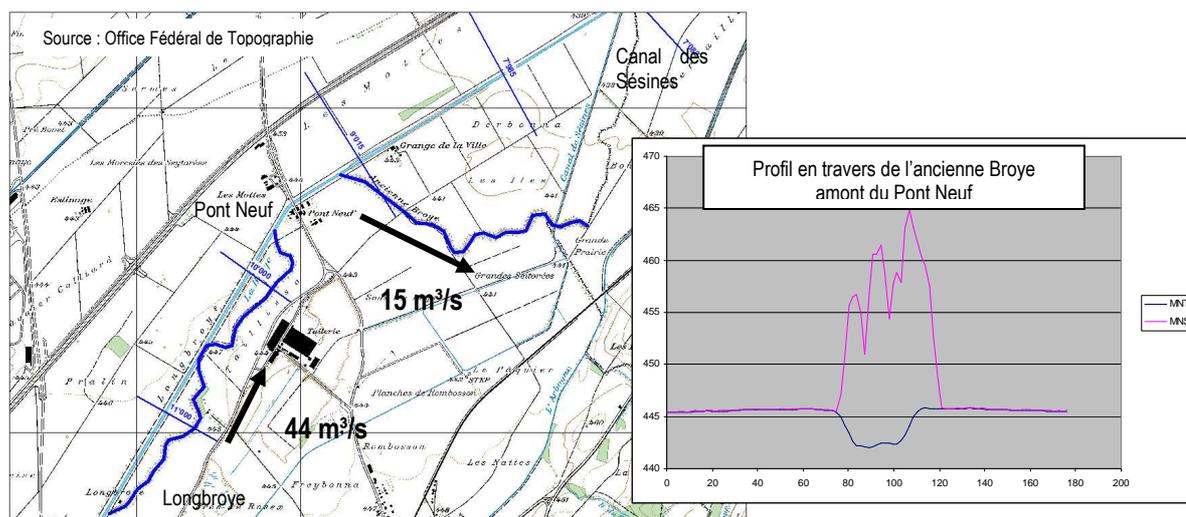


Figure 6 : Capacité de l'ancienne Broye

Le volume maximum pouvant être stocké dans la Broye actuelle, hors période de crue, a été estimé sur la base des profils en travers de l'OFEV et de la longueur de la Broye, soit :

- 290'000 m³ à l'amont du pont Neuf
- 330'000 m³ à l'aval du Pont Neuf

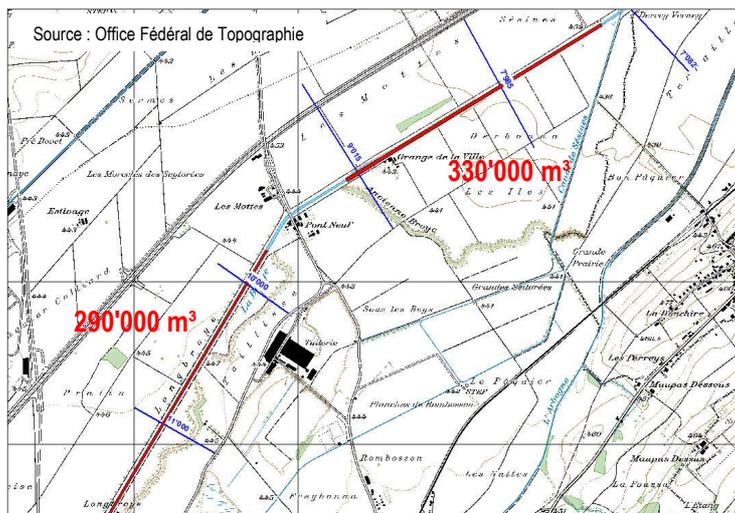


Figure 7 : Stockage potentiel dans la Broye

2.5 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation

Sujet	Points à compléter	Suppléments d'investigation proposés
Calage	Calage précis du modèle	Campagne de mesure niveaux – débits sur la Broye lors d'une ou plusieurs crues Installation de plusieurs stations de mesures sur la Broye Calage du modèle 1D, simulation des crues et vérification des points de débordements
Modélisation	Estimation des impacts des seuils	Relevés et géolocalisation des seuils Intégration des seuils dans la modélisation hydraulique, analyse de leur impact sur les lignes d'eau
Ancienne Broye	Capacité réelle de l'ancienne Broye	Relevés sur site des profils en travers de l'ancien tracé Modélisation de l'ancienne Broye, dimensionnement précis des mesures pour remettre ces bras morts en haut, estimation des impacts sur les lignes d'eau

2.6 Références bibliographiques

Aquavision-Engineering Sarl (2008), 'La Broye à Moudon. Etude de la protection contre les inondations au camping de Moudon', Service des Eaux, Sols et Assainissement (SESA) du Canton de Vaud

Aquavision-Engineering Sarl (2007), étude hydraulique du seuil de Valacrêt

2.7 Annexes

Annexe 2.1 : Profils en long de la Broye pour la crue de période de retour 30 ans

Annexe 2.2 : Profils en long de la Broye pour la crue de période de retour 100 ans

Annexe 2.3 : Profils en long de la Broye pour la crue extrême

Annexe 2.4 : Carte des zones inondables – secteur amont de Moudon (A)

Annexe 2.5 : Carte des zones inondables – secteur de Lucens (B)

Annexe 2.6 : Carte des zones inondables – secteur de Villeneuve (C)

Annexe 2.7 : Carte des zones inondables – secteur de Granges-près-Marnand

Annexe 2.8 : Carte des zones inondables – secteur de Fétigny (D)

Annexe 2.9 : Carte des zones inondables – secteur du Pont Neuf

Annexe 2.10 : Carte des zones inondables – secteur de la Broye aval

Annexe 2.11 : Profils en travers par secteurs avec Q100 et niveaux de nappe

3 Transport solide dans la Broye

3.1 Introduction

Le présent chapitre traite de l'aspect transport solide dans la Broye. Il a permis de conduire à l'identification des zones à risque d'érosion ou de dépôts à partir des données existantes et à l'aide d'une modélisation simple.

3.2 Données existantes

Il existe peu de données granulométriques sur la Broye. On ne trouve en effet que 2 profils granulométriques sur la partie aval (1997) (PNR31) et quelques relevés en lignes à Moudon et Lucens (Von Petersdorf, 2002). Les diamètres moyens issus de ces relevés sont présentés dans le tableau suivant :

	d50 [mm]	Source
Embouchure	0,2	PNR31
Payerne	40	PNR31
Lucens	100	Von Petersdorf
Moudon	50	Von Petersdorf
Tronçon naturel	45	Von Petersdorf

Tableau 6 : Granulométrie moyenne le long de la Broye

Les courbes granulométriques sont présentées en annexe 3.1. D'après Ghilardi, il existerait une couche de pavage sur la totalité de la Broye avec un diamètre moyen d50 de 50 mm.

Remarques :

- La granulométrie évolue avec le profil en long. Les données granulométriques disponibles ne permettent pas de représenter correctement cette évolution. De plus, les levés en lignes ne donnent pas une répartition en profondeur du diamètre, mais seulement une répartition en surface, ce qui n'est pas représentatif dans le cas d'un cours d'eau avec pavage comme la Broye.
- Les seuils permettent de stabiliser le lit de la Broye, or nous ne possédons aucune donnée sur ces seuils qui n'ont du coup pas pu être pris en considération.

3.3 Modélisations et calculs

3.3.1 Construction du modèle

Une modélisation 1D du transport solide par charriage a été réalisée sur toute la zone d'étude. Il s'agit d'un modèle avec fond mobile. L'érosion et la déposition dans les profils en travers est fonction de la granulométrie du fond et du transport de sédiments. Les conditions hydrauliques s'adaptent alors aux

changements morphologiques. Cette modélisation permet de suivre l'évolution du lit par charriage. Ainsi, le transport en suspension n'a pas été modélisé.

Le modèle hydraulique 1D a été repris et transformé et les données granulométriques disponibles ont été utilisées comme données d'entrée dans le modèle. Ainsi la ligne d'eau initiale reste identique.

Nous ne disposons pas de l'évolution détaillée du profil en long de la Broye, le calage sur le fond n'a donc pas pu être effectué.

Le transport des matériaux d'un diamètre moyen de 50 mm a été modélisé pour une crue centennale d'une durée de 100 h, en tenant compte de l'évolution du débit sur la longueur de la rivière (cf. tableau 2). Seul le lit se met en mouvement, i.e. il n'y a pas d'apports de matériaux depuis l'amont ou depuis les affluents de la Broye.

3.3.2 Résultats de la modélisation

D'après les résultats, les zones d'érosion les plus importantes sont situées à l'aval de Moudon, autour de Granges-près-Marnand, à l'amont de Payerne et systématiquement dans la traversée des principales communes (Moudon, Payerne, Lucens et Granges-près-Marnand).

Les zones de dépôts les plus importantes sont situées de Lucens à Villeneuve, à Fétigny ainsi qu'à l'aval de Payerne, avant la jonction avec le canal des Sésines.

Les zones « neutres », c'est-à-dire, qui ne subissent à priori pas de modification du profil en long, sont situés en amont de Moudon (entrée du modèle), et au niveau de l'embouchure dans le lac de Morat.

La figure 8 présente les résultats de la modélisation sur la totalité de la zone d'étude. Des cartes plus précises par secteurs sont présentées en annexes 3.2 à 3.4 pour l'érosion, 3.5 et 3.6 pour les dépôts, enfin 3.7 pour les zones neutres. .

La hauteur déposée/érodée a été estimée pour chaque profil et le volume globalement déposé/érodé a été estimé en multipliant cette hauteur par la distance entre 2 profils. Les volumes obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Longueur [m]	d50 = 50 mm
Erosion	15'055
Dépôts	16'370
Neutre	7'975
TOTAL	39'400

Volumes [m³]	d50 = 50 mm
Erosion	-141'701
Dépôts	141'701
TOTAL	0

Tableau 7 : Longueurs et volumes d'érosion et de dépôts sur la totalité de la zone d'étude.

Le bilan des volumes (érosion/dépôts) est nul sur tout le secteur étudié. Il est à noter que les présents résultats sont plutôt qualitatifs et on quantitatifs.

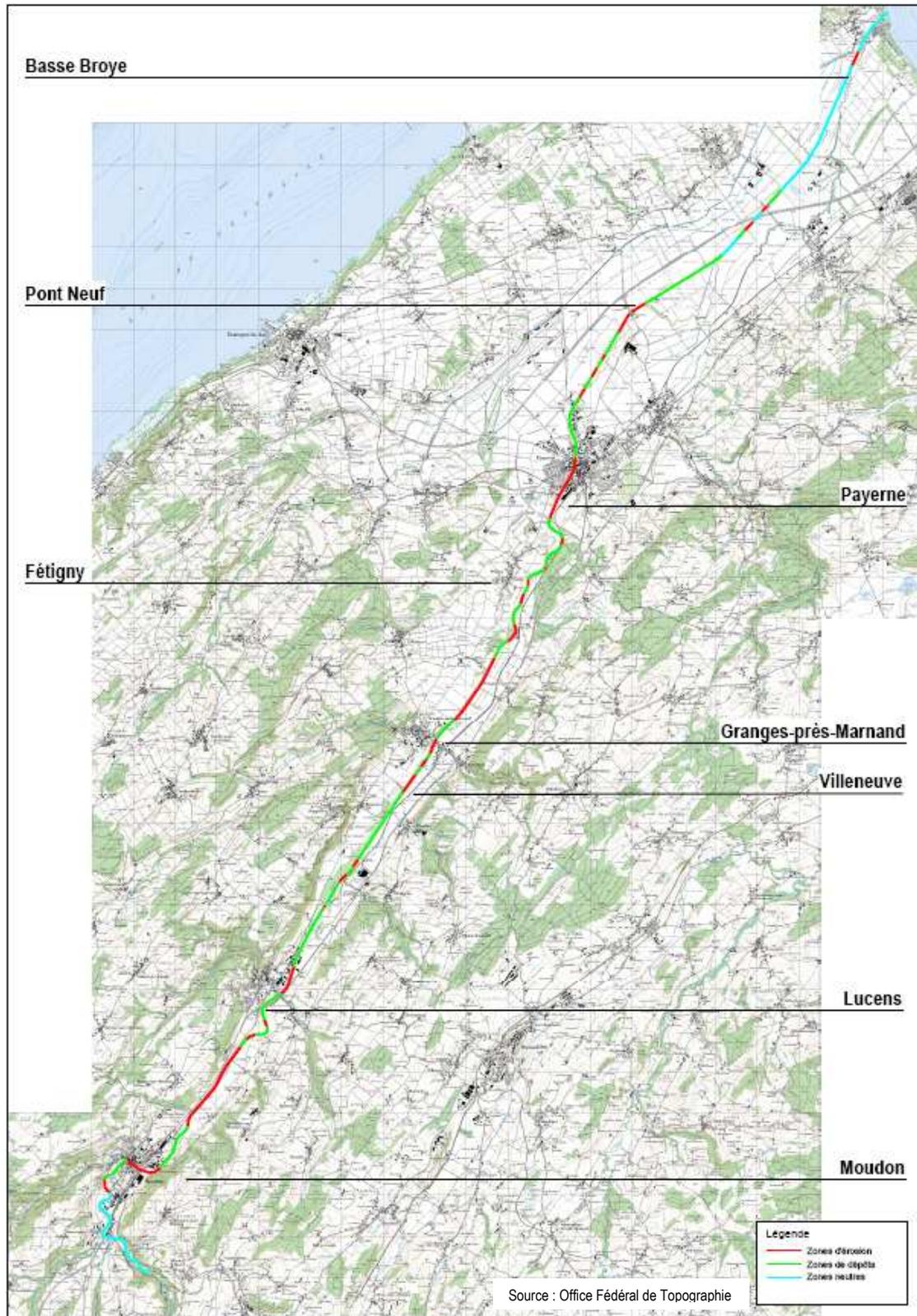


Figure 8 : Zones d'érosion et de dépôts sur la zone d'étude pour une crue centennale – $d_{50} = 50 \text{ mm}$
Le graphique suivant présente l'évolution du profil en long entre l'état initial et à la fin de la modélisation.

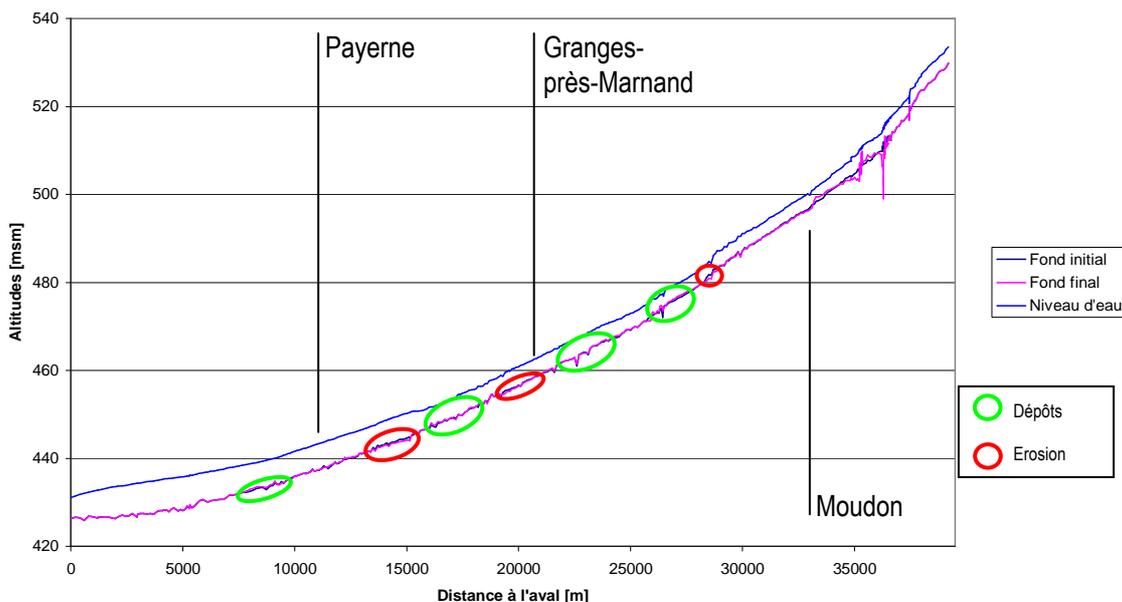


Tableau 8 : Evolution du profil en long de la Broye sur la totalité de la zone d'étude

3.4 Analyse des résultats

3.4.1 Fond de la Broye

Pour compléter l'étude du transport solide, nous avons analysé les critères de contraintes de cisaillement et de vitesses d'écoulement, issus de la modélisation hydraulique 1D.

Avec l'aide du diagramme de Hjulstrom (1935), nous pouvons déterminer à partir de quelle vitesse un grain d'un certain diamètre va se déposer, être transporté ou érodé.

Nous avons également utilisé le diagramme de Shields, qui se base sur le critère de cisaillement pour déterminer si un grain sera érodé ou déposé.

Les graphiques suivants présentent les résultats de ces calculs ainsi qu'une comparaison avec les résultats de la modélisation numérique.

Les indications d'érosion et de dépôts sur les critères de vitesses et de cisaillement sont qualitatives : érosion : « -1 » - rien : « 0 » - dépôts : « +1 ».

On retrouve les grandes zones de dépôts et d'érosion évoquées précédemment, mis à part pour Lucens où vitesses et cisaillement indiquent une zone d'érosion alors que la modélisation montrerait plutôt un secteur de dépôts.

Les vitesses et le cisaillement le long du profil en long de la Broye sont présentés en annexe 3.8 pour la Broye amont, 3.9 pour la Broye moyenne et 3.10 pour la Broye aval.

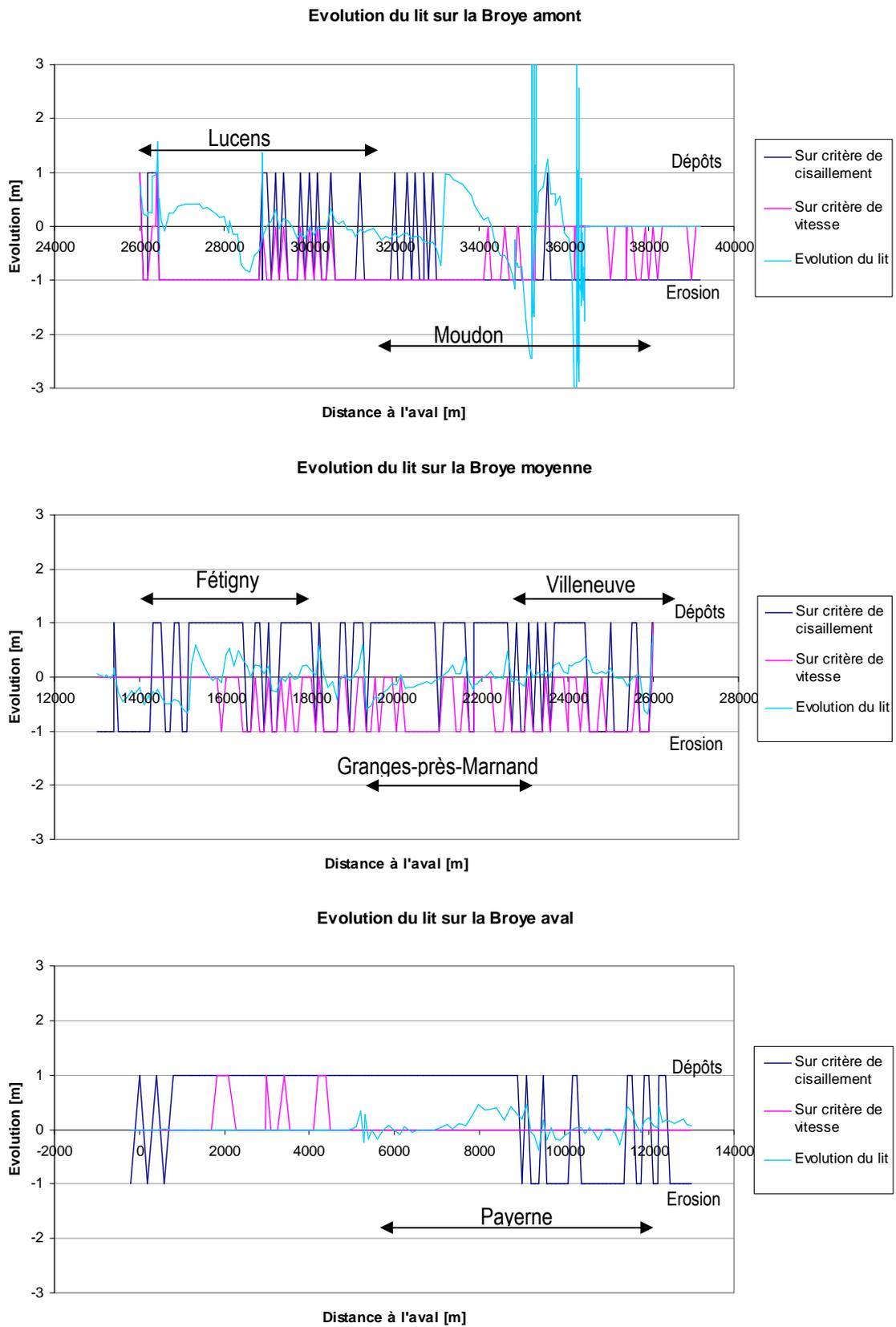


Figure 9 : Evolution du lit le long de la Broye (selon contraintes de cisaillement / vitesses)

3.4.2 Berges de la Broye

Le profil en travers typique de la Broye est trapézoïdal. Les pentes des berges sont de plus très élevées, en particulier, dans la partie aval de la zone d'étude.

Plusieurs facteurs peuvent entraîner une instabilité de ces berges de ce fait. Par exemple, une poussée de la nappe en décrue (cf. niveaux de nappes figurant sur les annexes 2.11).

3.5 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation

Sujet	Points à compléter	Suppléments d'investigation proposés
Granulométrie	Problématique du pavage, modélisation précise de l'évolution du fond	Relevés granulométriques à réaliser en plusieurs secteurs clés de la Broye dans le fond et sur les berges Modélisation de l'évolution du fond, détermination précise des zones de dépôts et d'érosion, analyse de la compatibilité avec les mesures de renaturation
Modélisation	Estimation des impacts des seuils	Relevés et géolocalisation des seuils Modélisation de l'impact des seuils sur la dynamique morphologique

3.6 Références bibliographiques

Overney O., Consuegra D., Musy A., Lazaro P., Boillat J.-L., Sinniger R. O. (1997), 'Influence des changements climatiques sur le régime hydrologique et hydraulique des cours d'eau', rapport final, PNR31, VDF

Ghilardi, T. (2008), 'Renaturation de la Broye', rapport technique.

Morris G. L. J. Fan J. (1997), 'Reservoir Sedimentation Handbook. Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for sustainable use', McGraw Hill

Von Petersdorf (2002), 'Renaturation du cours d'eau de la Broye', Projet de Diplôme, EPFL

3.7 Annexes

Annexe 3.1 : Courbes granulométriques du lit actuel de la Broye

Annexe 3.2 : Carte des zones d'érosion – secteur aval Moudon – Lucens

Annexe 3.3 : Carte des zones d'érosion – secteur de Granges-près-Marnand

Annexe 3.4 : Carte des zones d'érosion – secteur de Payerne

Annexe 3.5 : Carte des zones de dépôts – secteur de Villeneuve

Annexe 3.6 : Carte des zones de dépôts – secteur du Pont Neuf

Annexe 3.7 : Carte des zones neutres – secteur de la Broye aval

Annexe 3.8 : Vitesses et cisaillement sur la Broye amont

Annexe 3.9 : Vitesses et cisaillement sur la Broye moyenne

Annexe 3.10 : Vitesses et cisaillement sur la Broye aval

4 Morphologie de la Broye

4.1 Introduction

Le présent chapitre présente les résultats de l'étude morphologique de la Broye. Cette étude a permis de se faire une idée de la classification morphologique globale des différents tronçons de la Broye et de la largeur d'équilibre probable en cas de suppression des protections actuels en pieds de berges.

4.2 Données existantes

Les données utilisées pour l'étude morphologique de la Broye sont globalement les mêmes que les données utilisées pour le transport solide (cf. paragraphe 3.2).

4.3 Calculs morphologiques

4.3.1 Classification de la Broye (critères selon Da Silva, 2001)

Pour la classification de la Broye, nous nous sommes basés sur le diagramme de Da Silva (2001) sur les tronçons présentant un potentiel hydraulique intéressant (tableau 5, p.11). Ce diagramme permet de déterminer le type de lit d'un cours d'eau en fonction de :

- sa largeur au miroir (B) pour une crue façonnante (en général d'une période de retour de 1 ou 2 ans),
- la profondeur d'eau pour la crue façonnante,
- du diamètre moyen des matériaux présent dans le lit – ici nous avons pris 50 mm (graviers) mais comme en aval les sédiments sont assez fins, nous avons également fait la démarche avec un diamètre moyen de 1 mm (sables).

Les résultats sont peu différents suivant la crue que l'on retient pour le calcul, par contre, ils sont très différents suivant le diamètre moyen que l'on prend en considération :

- pour $d_{50} = 1$ mm, la Broye est une rivière à méandres uniquement,
- pour $d_{50} = 50$ mm, la classification va d'un lit à bancs de graviers alternés à un fond plat avec dunes.

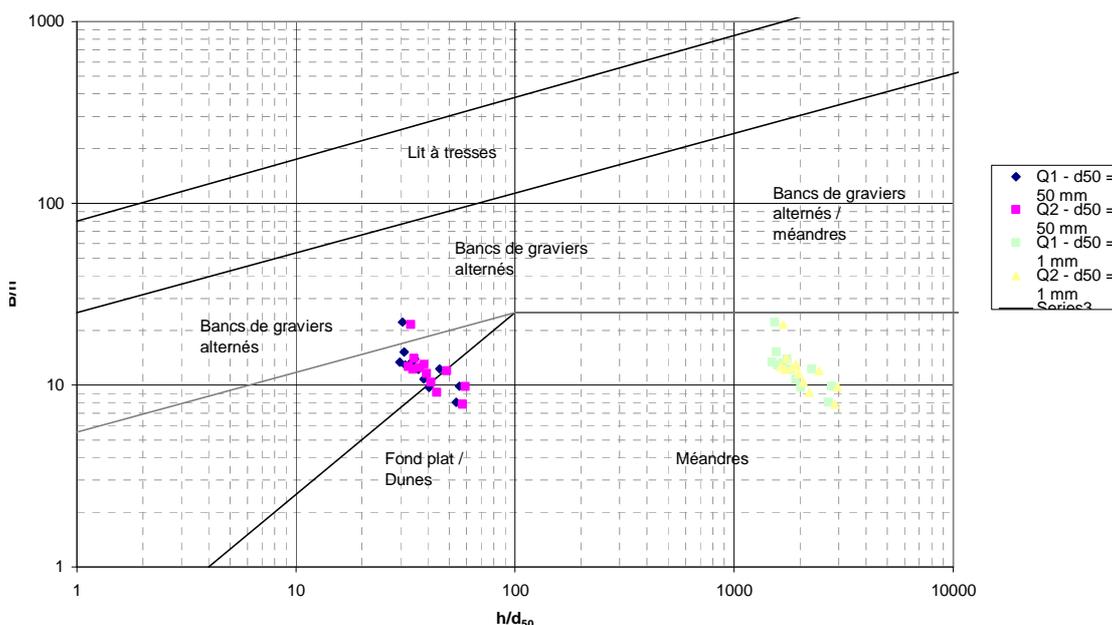


Figure 10 : Diagramme de Da Silva pour Q1 et Q2, $d_{50} = 50$ mm et 1 mm

Nous avons ensuite regardé plus précisément quelle classification pouvait être appliquée pour chaque secteur étudié en prenant un diamètre moyen de 50 mm.

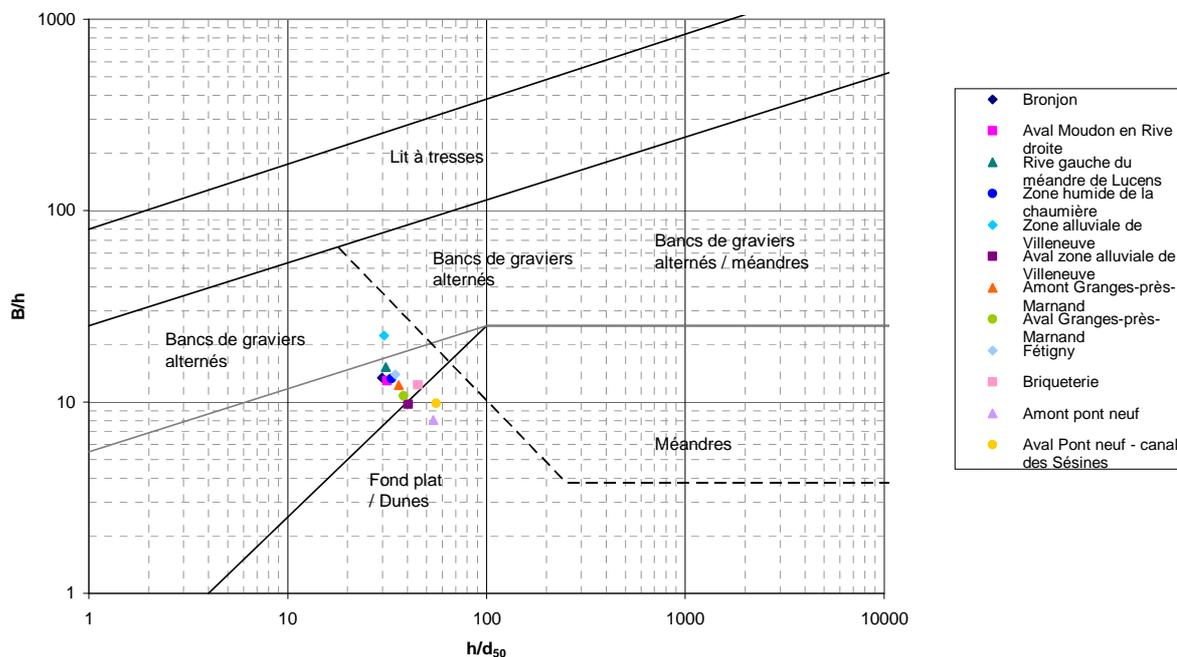


Figure 11 : Diagramme de Da Silva par secteur – $d_{50} = 50$ mm - Q1

Les secteurs de la zone alluviale à l'aval de Villeneuve, et de l'amont et l'aval du pont Neuf seraient des secteurs à fond plat / dunes et le reste du cours d'eau serait classé en bancs de graviers alternés.

4.3.2 Dimensions d'équilibre

4.3.2.1 Largeur et profondeur d'équilibre

Nous avons estimé les largeurs et profondeurs d'équilibre à partir de la pente actuelle des tronçons pour un débit de période de retour d'1 an.

Comme nous n'avons pas de certitudes sur la granulométrie en place, nous avons fait les calculs pour $d_{50} = 50$ mm et $d_{50} = 1$ mm (pour l'aval essentiellement).

Nous avons utilisé la méthode rationnelle définie par Chang (1988) pour les lits à graviers et pour les lits alluviaux.

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 9.

Localisation (distance en m depuis l'aval)	Tronçon	Pente	Sinuosité	Etat actuel		Chang Rational Canal		Rational Chang sand side slope 1:1.5	
				B (m)	D (m)	Graviers (d50 = 50 mm)		Sables (d50 = 1 mm)	
		S (-)		B (m)	D (m)	B (m)	D (m)	B (m)	D (m)
33800-33000	Bronjon	0.43%	1.13	19.90	1.49	26.1	1.4	54.8	1.0
32700-30500	Aval Moudon en Rive droite	0.33%	1.02	20.39	1.59	25.8	1.5	54.1	1.0
30400-29000	Rive gauche du méandre de Lucens	0.36%	1.22	23.73	1.56	25.9	1.5	54.3	1.0
Lucens									
27200-26800	Zone humide de la chaumière	0.29%	1.00	22.10	1.67	26.5	1.6	55.2	1.1
26800-25600	Zone alluviale de Villeneuve	0.31%	1.01	34.00	1.53	26.5	1.6	55.4	1.1
25600-23200	Aval zone alluviale de Villeneuve	0.26%	1.02	19.67	2.02	26.6	1.7	54.9	1.2
23200-21900	Amont Granges-près-Marnand	0.25%	1.01	22.10	1.81	27.7	1.7	57.0	1.2
Granges-près-Marnand									
21600-19000	Aval Granges-près-Marnand	0.26%	1.02	20.70	1.92	28.7	1.7	59.6	1.2
18400-16000	Fétigny	0.22%	1.10	24.23	1.74	28.9	1.8	59.1	1.3
15400-15200	Briqueterie	0.40%	1.05	27.76	2.26	28.9	1.6	60.9	1.1
Payerne									
11700-9500	Amont pont neuf	0.19%	1.00	21.77	2.70	29.5	1.9	59.2	1.3
9500-7000	Aval Pont neuf - canal des Sésines	0.12%	1.00	27.47	2.79	31.8	2.1	57.8	1.5

Tableau 9 : Largeur et profondeur d'équilibre pour les différents tronçons

Actuellement la largeur pour la crue annuelle est de l'ordre de 20-25 m (34 m pour la zone renaturée de Villeneuve) et de 27-28 m à l'aval du Pont Neuf. La profondeur moyenne est comprise entre 1,5 et 2 m jusqu'à Payerne, et est de plus de 2,70 m ensuite.

Pour la zone renaturée de Villeneuve, on retrouve avec le calcul des valeurs de l'ordre de grandeur de la largeur suite à la récente renaturation.

La largeur d'équilibre, d'après la pente actuelle, est de 26-27 m jusqu'à Granges, de 29 m ensuite jusqu'au Pont Neuf puis de 32 m au-delà pour un d50 = 50 mm. La profondeur pour la crue annuelle serait alors de 1,5-1,8 m en aval de Payerne et de 2 m au-delà.

Pour d50 = 1 mm, la largeur d'équilibre double par rapport aux résultats précédents, la largeur jusqu'à Granges est d'environ 55-57 m, puis environ 60 m jusqu'à l'embouchure. La profondeur d'équilibre serait de l'ordre de 1,1 m en aval de Payerne et de 1,5 m en aval.

La largeur d'équilibre dépend donc significativement du diamètre moyen du fond du lit après renaturation. Ce diamètre moyen n'est forcément égal au diamètre actuel de pavage de 50 mm.

La largeur effective a également été estimée en reportant la largeur d'équilibre sur les profils en travers type de chaque tronçon. Un exemple est présenté sur la figure suivant, les profils en travers pour les autres secteurs sont joints en annexe 4.1.

Les largeurs d'équilibres ont été reportées sur des cartes qui sont jointes en annexes 4.2 à 4.7. Nous avons également mis la couche présentant les conduites de gaz afin de valider la faisabilité d'un élargissement.

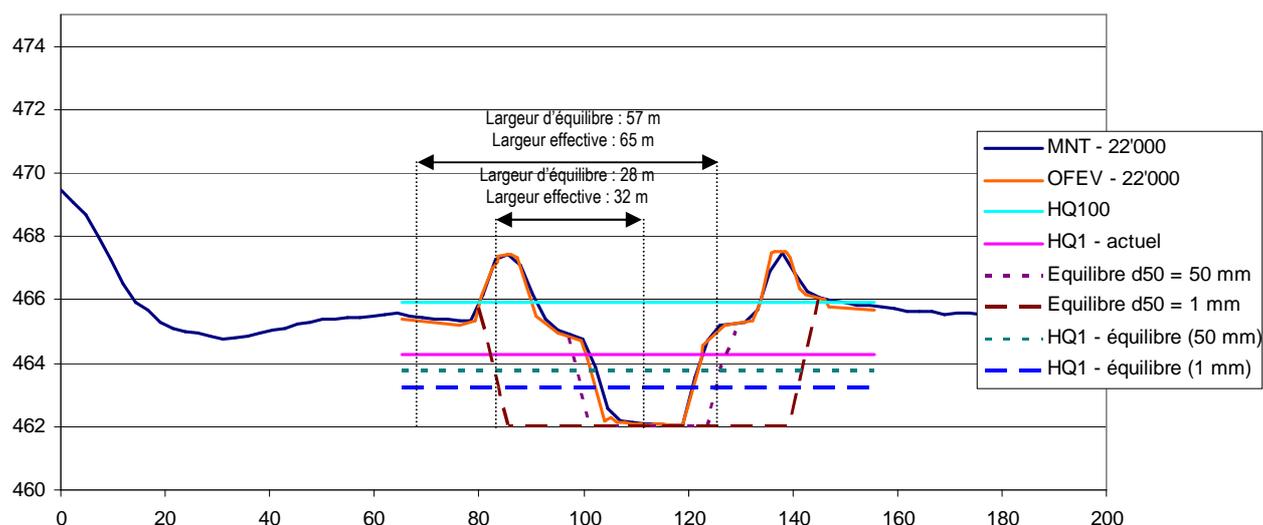


Figure 12 : Largeur et profondeur d'équilibre pour le tronçon amont de Granges-près-Marnand

4.3.2.2 Volumes à excaver

Pour déterminer les volumes à excaver pour atteindre ces largeurs d'équilibre, nous avons fait la différence entre le profil d'équilibre et le profil actuel. Les volumes ont ensuite été obtenus en multipliant la surface ainsi obtenue par la longueur du tronçon. Cette méthode permet d'avoir une idée des volumes maximum qui seraient mis en mouvement.

Nous avons estimé les coûts d'excavation en nous basant sur un prix moyen et raisonnable de l'évacuation d'un m³ de matériaux inertes, c'est-à-dire, 60 CHF.

Localisation (distance en m depuis l'aval)	Tronçon	Longueur tronçon [m]	d50 = 50 mm			d50 = 1 mm		
			Surface [m ²]	Volume [m ³]	Coût d'excavation [CHF]	Surface [m ²]	Volume [m ³]	Coût d'excavation [CHF]
33800-33000	Bronjon	800	30	23'644	1'418'640	172	137'491	8'249'472
32700-30500	Aval Moudon en Rive droite	2200	27	58'571	3'514'236	178	391'945	23'516'724
30400-29000	Rive gauche du méandre de Lucens	1400	30	42'554	2'553'264	194	271'396	16'283'736
Lucens								
27200-26800	Zone humide de la chaumière	400	23	9'092	545'520	173	69'363	4'161'792
26800-25600	Zone alluviale de Villeneuve	1200	0	0	0	88	106'116	6'366'960
25600-23200	Aval zone alluviale de Villeneuve	2400	34	80'568	4'834'080	183	440'330	26'419'824
23200-21900	Amont Granges-près-Marnand	1300	22	28'916	1'734'954	153	199'410	11'964'576
Granges-près-Marnand								
21600-19000	Aval Granges-près-Marnand	2600	38	99'780	5'986'812	186	483'428	29'005'704
18400-16000	Fétigny	2400	9	20'484	1'229'040	145	347'659	20'859'552
15400-15200	Briqueterie	200	15	2'911	174'672	193	38'587	2'315'220
Payerne								
11700-9500	Amont pont neuf	2200	105	230'259	13'815'516	381	838'042	50'282'496
9500-7000	Aval Pont neuf - canal des Sésines	2500	57	142'173	8'530'350	251	627'210	37'632'600

Tableau 10 : Volumes et coûts d'excavation pour atteindre le régime d'équilibre

4.4 Points à compléter et propositions de suppléments d'investigation

Sujet	Points à compléter	Suppléments d'investigation proposés
Granulométrie	Largeurs d'équilibres réelles et optimisation des volumes	Relevés granulométriques à réaliser en plusieurs secteurs clés de la Broye dans le fond et sur les berges Ajustement des largeurs d'équilibre, estimation précise des volumes à excaver pour atteindre l'équilibre Estimation des impacts du pavage sur l'élargissement

4.5 Références bibliographiques

Yalin M. S., A. M. Ferreira Da Silva (2001), 'Fluvial processes', IAHR Monograph, A.A. Balkema, The Netherlands

Chang H. H. (1988), 'Fluvial Processes in River Engineering', Krieger, Florida

4.6 Annexes

Annexe 4.1 : Largeur et profondeur d'équilibre par secteurs (d50=50 mm et d50=1 mm)

Annexe 4.2 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur aval de Moudon

Annexe 4.3 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur de Lucens - Chaumière

Annexe 4.4 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur de Villeneuve

Annexe 4.5 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur de Granges-près-Marnand

Annexe 4.6 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur de Fétigny

Annexe 4.7 : Carte des largeurs d'équilibre – secteur du Pont-Neuf

5 Etude morphologique et historique de la Broye et de sa plaine

5.1 Introduction

Le chapitre suivant présente les résultats du module « Etude morphologique et historique de la Broye et de sa plaine » confiée au bureau Hintermann & Weber SA à Montreux.

Les buts de l'étude sont les suivants :

- Dresser l'état de la Broye et de sa plaine avant le début des travaux de correction de la Broye au XIXème siècle, et décrire les étapes clés des travaux de correction ;
- Etablir l'extension historique maximale de la plaine alluviale potentiellement active, en tant que périmètre de référence pour la planification des travaux de renaturation ;
- Relever les éléments morphologiques fluviaux subsistant dans la plaine, et en particulier les éléments à prendre en compte dans la perspective des travaux de renaturation ;
- Présenter un cahier des charges identifiant les sites et éléments nécessitant des investigations supplémentaires, et précisant les travaux complémentaires à réaliser dans ce but.

5.2 Méthode

5.2.1 Etude historique

Des documents de référence décrivant l'historique de la plaine de la Broye avant et durant les travaux de correction de la Broye ont fait l'objet de recherches auprès des sources suivantes :

- Université de Lausanne : Instituts de géographie et de géologie ;
- EPFL : Laboratoire de constructions hydrauliques ;
- Administrations cantonales : SESA (VD) et SLCE (FR) ;
- Bibliothèques cantonales et universitaires (VD).

Les documents rassemblés en finalité sont de différentes natures (voir les détails sous la bibliographie, en fin de rapport):

- travaux de master, EPFL; travaux de master ou de semestre, UNIL ;
- études historiques, monographies ;
- archives cantonales et universitaires.

Sur la base de ces documents, l'état de la plaine de la Broye avant les travaux de correction de la Broye au XIXème siècle, ainsi que les étapes clés des travaux de correction, ont été décrits.

5.2.2 Etude géomorphologique

Dans un premier temps, l'étude morphologique du site a consisté à réunir les cartes géologiques et historiques concernant le périmètre d'étude, et à réaliser une première analyse sur cartes de la situation.

Les cartes géologiques et historiques suivantes ont servi de base pour cette première étape :

- Atlas géologique 1:25 000, source : Swisstopo : cartes avec notices explicatives de Moudon (Gabus 2000), Romont (Weidmann 1996), Payerne (Weidmann 2006), Morat (Becker 1973), Yverdon-les-Bains (Jordi 1995), Fribourg (Python, Berger & Plancherel 1998) et Neuchâtel (Meia & Becker 1976) ;
- Atlas Siegfried 1890, source : www.geo.admin.ch ;

- Carte 1 :25'000 du cours de la Broye dès Granges-sous-Trey au Lac de Morat pour l'intelligence des corrections de cette rivière, extrait des cartes militaires des cantons de VD et de FR, 1850, source : archives SLCE.

Sur la base de cartes géologiques, différentes catégories d'éléments morphologiques constitutifs de la plaine de la Broye ont été identifiées:

- anciens tracés de la Broye et de ses affluents
- pieds de versants et terrasses
- cônes (de déjection des affluents de la Broye)
- falaises
- lits de molasse
- anciens marais, terrains tourbeux
- plans d'eau et zones humides
- anciennes gravières
- dépôts artificiels et remblais

Les cartes historiques ont quant à elles servi à localiser des anciens tracés de la Broye avant correction. Elles n'ont par contre pas été exploitées pour déterminer l'emplacement d'anciens tracés des affluents de la Broye, faute de temps.

Dans un second temps, les éléments morphologiques et historiques identifiés sur cartes ont été visités sur le terrain, afin de déterminer quels éléments sont encore reconnaissables et quels éléments présentent un intérêt particulier pour leur intégration dans le projet de renaturation.

L'ensemble des données réunies dans les étapes une et deux ont été figurées sur des cartes numériques. Les éléments morphologiques caractéristiques et les éléments présentant un intérêt particulier pour la revitalisation ont été accompagnés d'une brève fiche descriptive avec photo(s). Par ailleurs, l'extension maximale de la plaine alluviale historique a été délimitée sur la base des éléments morphologiques et géologiques relevés. Cette dernière a également été représentée sous forme de carte numérique.

5.3 Résultats

5.3.1 Etude historique

5.3.1.1 Evolution de la vallée de la Broye depuis la fin de l'époque glaciaire

Parriaux (1981) et Weidmann (1996 et 2006) ont décrit en détail la morphologie et l'histoire tardiglaciaire et postglaciaire de la vallée de la Broye. Les principales étapes sont figurées dans la figure 1 ci-dessous. Il est utile de s'y rapporter dans la perspective du concept de renaturation, car la géologie et l'hydrologie de la plaine sont des facteurs d'influence importants et qui permettent de mieux comprendre la morphologie actuelle de la vallée de la Broye.

Partie supérieure, entre Moudon et Payerne

On se rappelle que le glacier du Rhône a recouvert tout le plateau et s'étendait jusqu'à Soleure lors du maximum du Würm. Durant la phase de retrait, un bras du glacier du Rhône occupait encore une partie de la vallée de la Broye, tandis qu'un autre, plus important, occupait le lac de Neuchâtel et transfluait dans la partie basse de la vallée de la Broye par la dépression d'Estavayer-le-Lac – Cugy en y formant un barrage (« glacier de la Thielle »). Un lac s'est donc développé en amont, entre la langue du glacier de la Broye et le barrage du glacier de la Thielle. Son niveau a varié entre 560m et finalement 480 – 485 m environ. Le glacier de la Broye a également barré les vallées latérales, par exemple la Cerjaule et la Lembe, provoquant la formation de lacs et deltas latéraux, ainsi que de terrasses.

Les sédiments glacio-lacustres ont progressivement rempli le lac dans la vallée supérieure. Celle-ci a ensuite évolué en plaine alluviale, dans laquelle une rivière puissante était encore alimentée par le glacier stationnant au niveau de Moudon. Le retrait du glacier de la Thielle et le percement des moraines par la Broye a entraîné un abaissement du niveau de base et l'érosion des dépôts alluvionnaires dans la vallée, formant ainsi les terrasses latérales observables en divers endroits, comme par exemple en amont de Lucens. Une nouvelle période d'alluvionnement s'est réinstallée par les déplacements successifs de la rivière durant les temps historiques. Les violentes crues entraînent alors des modifications rapides du lit. Les chenaux graveleux côtoient ainsi des zones marécageuses à sédiments fins sableux et à dépôts organiques tourbeux, comme par exemple en aval de Granges-Marnand.

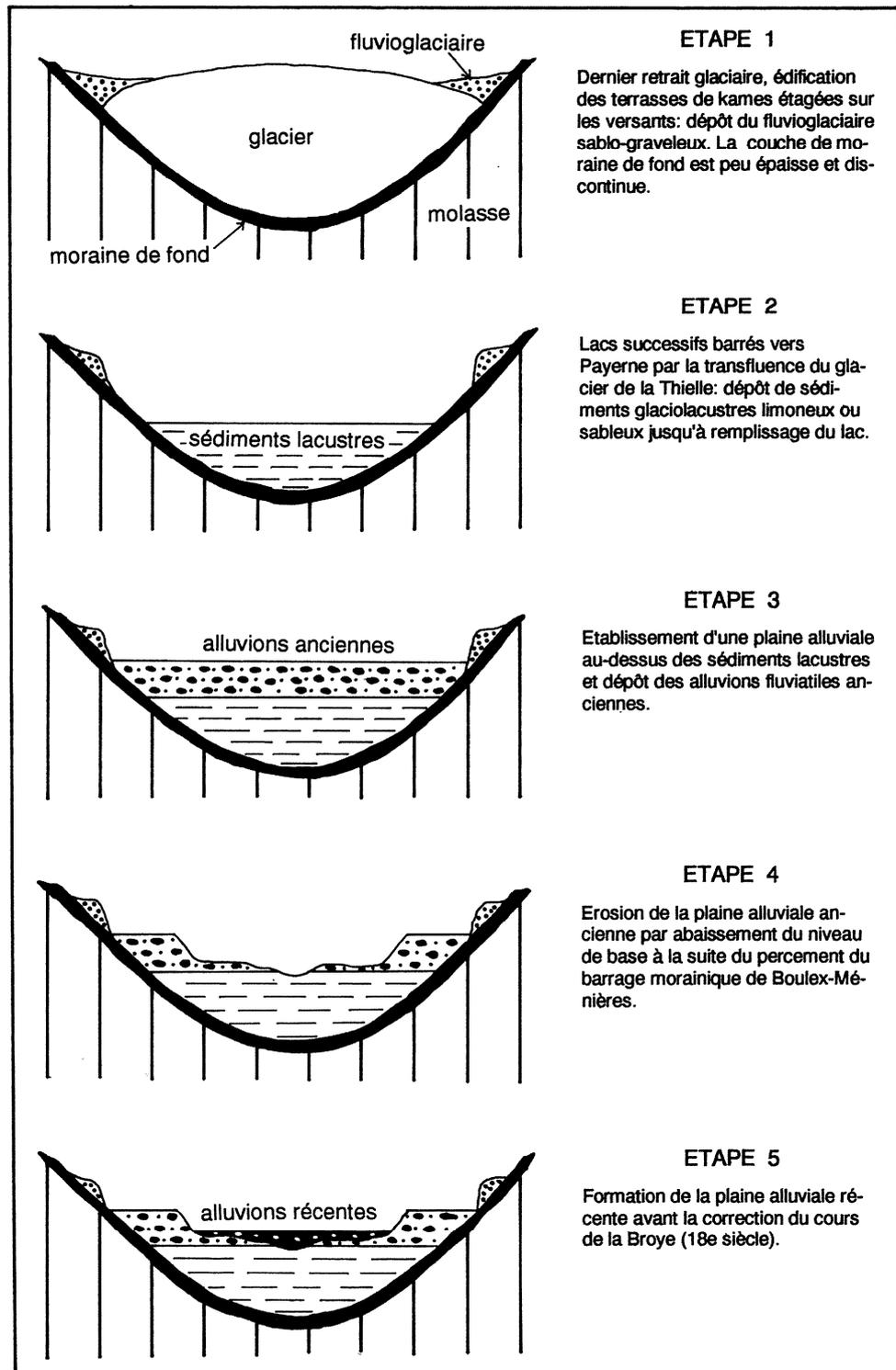


Figure 13 : Phases successives du façonnement et du remplissage alluvial tardi- et postglaciaire de la vallée de la Broye, d'après Parriaux (1981) in Weidmann (1996)

Partie inférieure, entre Payerne et le lac de Morat

La plaine de la Basse Broye est beaucoup plus large, en raison de la confluence des deux vallées glaciaires de la Broye et de la Petite Glâne, ainsi que de la transfluence du glacier de la Thielle.

Après le retrait des glaces, le lac de Morat occupait une grande partie de la plaine, jusqu'à Payerne. La plaine a été progressivement comblée par des alluvions généralement fines (limons et sables). La série alluvionnaire se termine par un « complexe palustre » (Parriaux 1981), épais de 1 à 7 m et qui comprend des tourbes, des limons organiques argileux et parfois crayeux, des sables fins, ainsi que des amas lenticulaires de sable fluviatile localement graveleux déposés par les rivières qui méandraient dans la plaine d'inondation marécageuse (Weidmann 2006). Ces sédiments du complexe palustre se sont déposés durant les 3 derniers millénaires. Les épaisseurs sont généralement plus grandes dans la partie supérieure de cette partie de la plaine. Les dépôts de tourbe sont irréguliers. On trouve des dépôts importants, avec des épaisseurs pouvant atteindre 3 m dans les secteurs de Domdidier à Avenches, de Bussy à Morens, de Salavaux, ainsi que de Granges-sous-Trey en amont de Fétigny (Parriaux 1981).

5.3.1.2 Tracé de la Broye avant correction

Avant les grands travaux de correction du 19^{ème} siècle, La Broye dans sa partie avale de Payerne, suivait un tracé très sinueux faisant de larges coudes. Le lit de la rivière, rehaussé par les atterrissements séculaires, n'occupait pas le thalweg de la plaine et son tracé était étroit et peu pentu, ce qui favorisait les crues et inondations, celles-ci rendant l'exploitation agricole de la plaine difficile. La rivière formait par ailleurs un élargissement au niveau des barrages de l'ancien Moulin de Salavaux (Gonin 1865). C'est dans ce secteur plus particulièrement touché par les inondations que les premiers grands travaux de correction de la Broye eurent lieu. Les corrections y furent particulièrement lourdes, car le but était de libérer de grandes surfaces de terres arables.

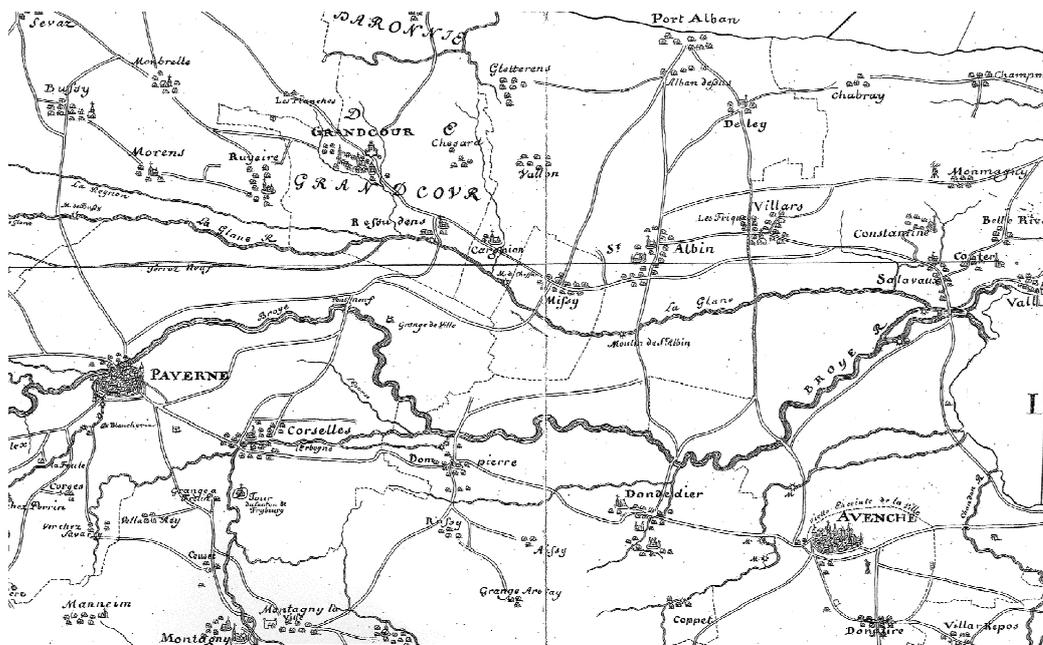


Figure 14 : Carte particulière du Balliage d'Avenches dressée par P. Willommet en 1745 (extrait, partie Basse plaine de la Broye)

En amont de Payerne, le tracé avant correction de la Broye correspondait, à peu de choses près, au tracé actuel. Le lit de la rivière y était moins tourmenté que dans la Broye située plus en aval, suivant de grandes courbes. Les zones de divagation situées hors du lit principal ont cependant été détruites durant les travaux de correction de ce secteur au profit de l'agriculture, remplacées par un canal unique bordé de digues (Ghilardi 2008). Dans ce secteur, l'étendue de la plaine étant plus restreinte qu'en aval de Payerne et les surfaces agricoles concernées plus modestes, les travaux de corrections eurent pour but des modifications moins importantes que dans le secteur aval.

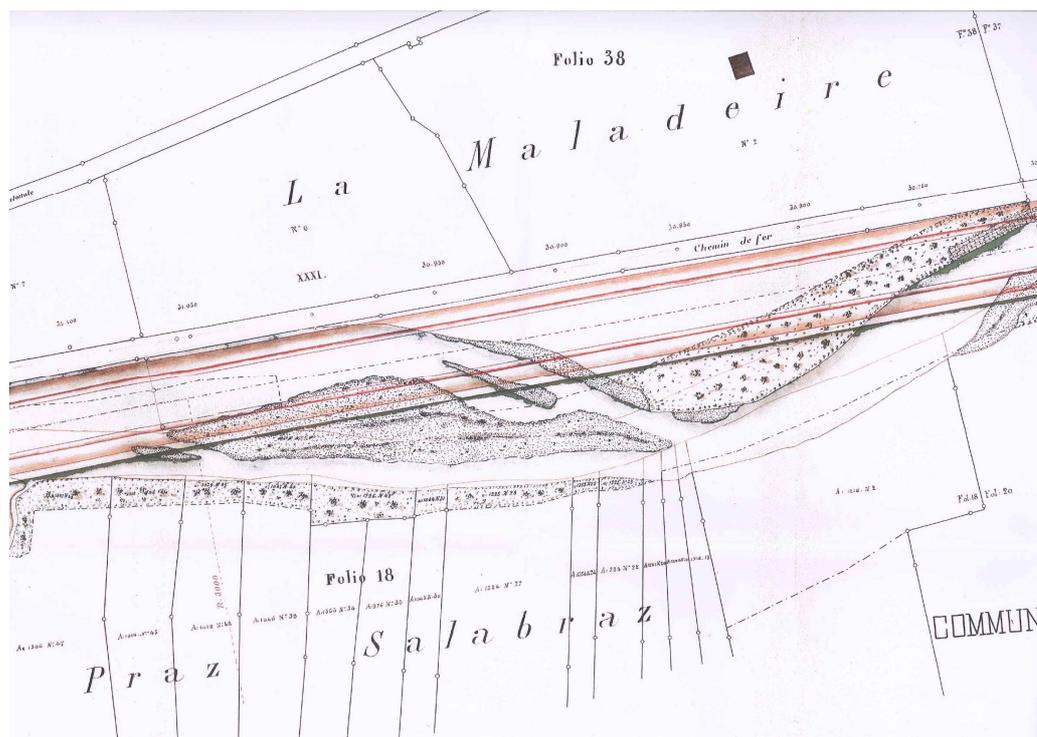


Figure 15 : Légère courbe avec zone de divagation remplacée par le nouveau canal (en rouge), communes de Lucens (Nord) et de Curtilles (Sud)

5.3.1.3 Historique des travaux de correction de la Broye

Des archives datant du 16^{ème} siècle relatent que de très nombreuses crues et inondations ravageaient régulièrement la plaine de la Broye (Weidmann 2006). Il est difficile de dater les premières interventions visant à limiter l'impact négatif de ces crues, mais des discussions concernant la correction des eaux de la Broye étaient en cours depuis des siècles (Ghilardi 2008). Selon Weidmann (2006), les premiers travaux d'endiguement datent du 17^{ème} siècle, tandis que les corrections de tracés commencent bien plus tard. La commune de Corcelles, située en aval de Payerne, entreprit de rectifier la Broye sur son territoire semble-t-il dès le 18^{ème} siècle (Vischer 2003). Une solution plus globale fut recherchée par les cantons de Fribourg et de Vaud à partir du 19^{ème} siècle seulement.

Le premier projet général de correction de la Broye dans la plaine aventicienne voit le jour en 1849, sur mandat du Conseil d'Etat vaudois. Ce projet est toutefois abandonné pour plusieurs raisons. Ce projet proposait notamment certaines modifications de tracés pour la Broye et la Petite-Glâne, modifications jugées trop minimes pour une protection efficace des terrains agricoles adjacents. Suite à de nombreux palabres, en 1851 un nouveau mandat ayant pour but de proposer un tracé rectiligne de la Broye entre le Pont-Neuf et le lac de Morat est octroyé. Le projet qui en découla, prévoyant de raccourcir le cours de la Broye de 18% sur le tronçon considéré, fut accepté. Après de légères modifications du projet, les premiers travaux généraux de correction de ce secteur débutent en 1853. Ces travaux consistent en la création d'un nouveau canal bordé de digues menant presque linéairement au lac de Morat (Gonin 1865, de Salis 1890, Vischer 2003). Alors que de Salis (1890) fixe la fin des travaux à 1857, Ghilardi (2008) repousse l'échéance des travaux : selon elle, les aménagements prévus entre Payerne et le Pont-Neuf sont finalisés en 1858 déjà, alors que sur le tronçon inférieur jusqu'au lac de Morat, les travaux durèrent jusqu'en 1863. Vischer (2003) évoque également une subdivision des travaux en deux lots allant de Payerne au Pont-Neuf et du Pont-Neuf au lac de Morat, mais sous-entend que les travaux sont achevés peu avant 1860. La création du nouveau canal se fit non sans peine, les matériaux de remblais manquant pour achever les nouvelles berges et la Broye ayant été introduite prématurément dans son nouveau lit lors d'une crue en 1856. De plus, dès 1860 déjà, la Broye montrait une forte tendance à se creuser dans son nouveau lit, créant des affouillements et érosions profonds dans le lit et les berges du canal. Plusieurs études furent menées à ce sujet, aboutissant à un projet prévoyant d'élargir et d'approfondir le lit de la Broye entre Granges et le lac de Morat (Gonin 1865, de Salis 1890, Vischer 2003). Toutefois, selon Vischer (2003), seules quelques corrections localisées dans ce secteur furent réalisées les années suivantes. La Broye continuait à déborder malgré les aménagements réalisés. Suite à une inondation générale de la vallée de la Broye en 1876, de nouvelles études furent réalisées dans le cadre de la première correction des eaux du Jura (de Salis 1890, Vischer 2003). En 1878, un nouveau projet de correction du village d'Henniez au lac de Morat vit le jour. Ce n'est pourtant qu'après une crue catastrophique en 1888, que les autorités prirent le problème vraiment au sérieux. Un projet général concernant le secteur entre « En Brivaux » - en amont de Moudon - et le lac de Morat fut élaboré en 1889. Ce projet prévoyait d'élargir le lit de la Broye, nécessitant la reconstruction des ponts sur la Broye (Vischer 2003).



Figure 16 : Moudon, après la crue de la Broye du 3 octobre 1888, in Chuard & Faucherre (1976)



Figure 17 : Moudon, crue de la Broye, probablement le 25 mars 1895, in Chuard & Faucherre (1976)

Selon Vischer (2003), seules les communes du haut de la plaine de la Broye acceptèrent ce projet d'aménagement, qui fut mis en œuvre entre « En Brivaux » et le Pont-Neuf dès 1890. Les travaux furent achevés en 1908, après quelques modifications réalisées suite à l'inondation exceptionnelle de 1895 (rehaussement et renforcement des berges). Dans le secteur aval de la plaine, jusqu'en 1908 on se contenta de renforcer les ouvrages de stabilisation des berges de la Broye. Ghilardi (2008) décrit différemment les travaux exécutés durant cette même période et contredit ainsi Vischer. Selon elle, à l'aval de Payerne, des travaux d'élargissement et de renforcement des berges du nouveau canal furent exécutés dans les années 1880-1890. Le tracé de la Broye entre Payerne et Granges-près-Marnand fut modifié vers la fin du 19^{ème} siècle, et dans un deuxième temps le tracé entre Granges-près-Marnand et Moudon fut également corrigé suite à un décret de 1889 incluant ce secteur dans le projet général de correction. Selon Rolle (2003), les travaux dans le secteur amont de Payerne furent également réalisés en deux temps : entre 1892 et 1896 et entre 1898 et 1906. Elle ne précise toutefois pas si cette différence temporelle correspond à une séparation spatiale des travaux.

Après la fin des grands travaux de correction de la Broye, les travaux d'entretien des nouveaux tracés furent encore importants. Suite à une crue centennale en 1910, des adaptations urgentes furent réalisées à St-Aubin, dans la région d'Avenches. Des travaux d'endigements partiels eurent lieu à Villeneuve (FR) entre 1916 et 1918, à Fétigny entre 1924 et 1933, ainsi que dans d'autres endroits jusqu'à ce jour (Rolle, 2003). Plus récemment, de nombreux seuils de 40 à 50 cm de haut furent aménagés tout le long du tracé corrigé (Ghilardi 2008).

5.3.1.4 Correction des eaux du Jura

Les deux corrections des eaux du Jura, réalisées en seconde partie des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, eurent une influence indirecte mais importante sur l'état de la Broye.

L'objectif de ces travaux de correction était d'abaisser le niveau des trois lacs jurassiens (Bienne, Morat et Neuchâtel) et de diminuer leurs variations, dans le but de réduire les inondations alors importantes autour de ces derniers et de gagner par la même occasion des terres arables.

La première correction réalisée entre 1868 et 1891, permit notamment d'abaisser les eaux des trois lacs de 2.5 m. Suite aux deux guerres mondiales, une deuxième correction des eaux du Jura fut exécutée entre 1962 et 1973, avec pour but de réduire d'un mètre supplémentaire le niveau des lacs et de diminuer encore leurs variations. Après cette deuxième correction, aucune grande inondation liée aux trois lacs n'eut plus lieu.

L'abaissement du niveau du lac de Morat a eu pour conséquence une augmentation de la pente de la Broye dans sa partie avale et donc une modification de son écoulement qui devint plus rapide. Autre conséquence, la plaine de la Broye put être mieux asséchée grâce à la pente supplémentaire qui lui a été ainsi donnée (Ghilardi, 2008). Le tracé de la Broye se trouva également allongé vers son embouchure dans le lac de Morat, l'emprise de ce dernier sur la plaine de la Broye ayant été réduite.

Étapes clés des travaux de correction de La Broye et des eaux du Jura

- **Au 17^{ème} siècle** : Réalisation de divers travaux d'endiguement de la Broye, afin de tenter de limiter les crues qui causaient périodiquement des inondations importantes ;
- **De 1850 à 1870** : Correction du tracé de la Broye entre Payerne et le lac de Morat ;
- **De 1868 à 1891** : Première correction des eaux du Jura ;
- **De 1880 à 1900** : Travaux d'élargissement et de stabilisation en dur des pieds de berge du nouveau canal en aval de Payerne ;
- **A la fin du 19^{ème} siècle** (1892 à 1896¹) : Correction du tracé entre Granges-près-Marnand et Payerne ;
- **Au début du 20^{ème} siècle** (1898 à 1906¹) : Correction du tronçon entre Granges-près-Marnand et le Bois du Sépey ;
- **De 1962 à 1973** : Deuxième correction des eaux du Jura ;
- **Plus récemment** ⁽¹⁾ : Plusieurs seuils de 40 à 50 cm de haut ont été mis en place tout le long du tracé corrigé.

5.3.1.5 Evolution du profil en travers

Suite aux travaux de correction, le profil en travers de la Broye a été modifié sur toute sa longueur, de Moudon au lac de Morat, et correspond actuellement à un profil trapézoïdal typique. A l'époque, à l'aval de Payerne, « l'écoulement de la Broye se faisait à la limite entre bancs alternés et méandres. En effet, des méandres bien développés n'ont pas réussi à se mettre en place, restant ainsi proche d'un régime en bancs alternés ». A l'amont de Payerne, « l'écoulement se faisait plutôt en régime de bancs alternés » (Ghilardi 2008).

5.3.1.6 Autres travaux dans la plaine de la Broye

D'autres travaux ont été réalisés dans la plaine de la Broye aux mêmes périodes, avec notamment le développement de canaux de drainage et la correction des tracés de plusieurs affluents de la Broye, afin de gagner des terrains cultivables et de limiter les risques d'inondation (Petite Glâne et Arbogne en particulier).

Plus récemment, des travaux de revitalisation de la Broye au niveau de la zone alluviale de Villeneuve (FR) ont été réalisés et un projet de revitalisation de l'Arbogne en aval de Domdidier est en cours d'étude.

¹ Dates incertaines (recherches plus approfondies nécessaires afin de déterminer les dates exactes).

5.3.2 Etude géomorphologique

Tous les éléments morphologiques sont figurés sur les cartes de l'Annexe 5.1. Les éléments morphologiques caractéristiques et les éléments d'un intérêt particulier pour la revitalisation ont été décrits par une brève fiche descriptive avec photo(s) (Annexe 5.2).

Couches numériques

Pour chaque classe d'éléments morphologiques relevée dans le périmètre d'étude, une carte numérique (couche) figurant les éléments correspondants a été créée. En tout, 9 couches ont ainsi été produites. Le contenu des tables attributaires liées à ces couches est présenté dans l'Annexe 5.3.

1) Anciens tracés

La carte numérique (couche) correspondante figure l'ensemble des anciens tracés relevés sur la base des cartes géologiques et historiques de référence, qu'ils aient été formés par la Broye ou par un de ses affluents. Attention, les anciens tracés des affluents n'ont été figurés que sur la base des cartes géologiques.

La grande majorité des anciens tracés relevés sur cartes ont été visités sur le terrain. Seuls six anciens tracés de la Broye et sept anciens tracés d'affluents (Petite-Glâne et Arbogne) n'ont pu être visités faute de temps. Un complément de travail de terrain concernant ces objets devrait être réalisé.

Dans la majorité des endroits visités, les tracés n'étaient pas reconnaissables de manière évidente à l'œil nu, ceci d'autant plus que la saison à laquelle le terrain a été réalisé n'était pas des plus favorables (présence de cultures). Un complément de terrain en période hivernale, et éventuellement d'analyse au moyen du MNT pour les zones ouvertes, serait donc souhaitable afin de permettre une meilleure visualisation de la topographie (pas de cultures, forêts claires).

Dans 30 sites, l'ancien tracé relevé sur cartes a été déterminé comme étant clairement reconnaissable et dans une quinzaine de sites comme étant faiblement reconnaissable. Pour certains de ces tracés, les éléments observés sur le terrain ne correspondaient pas vraiment à ceux figurés sur cartes (position, forme, orientation). Dans ce cas, ces dernières ont malgré tout été figurées comme faisant partie des tracés sur cartes les plus proches. Un examen plus poussé sur la base des orthophotos et au moyen du MNT pour les zones ouvertes ainsi qu'au moyen d'un GPS pour les zones de forêt, serait utile pour ces éléments. Plus globalement, cet examen détaillé devrait être réalisé pour tous les éléments d'intérêt dans le but de préciser leur positionnement et leur forme.

De manière générale, la majorité des tracés déterminés comme étant encore clairement visibles à ce jour sont des tracés situés en forêt.

En huit endroits, de l'eau est présente dans ou transite via un ancien tracé.

Dans cette première phase d'étude, seules les cartes géologiques et historiques ont servi de base pour l'identification des anciens tracés de la Broye. Par la suite, il serait judicieux d'utiliser les sources de données que sont les orthophotos et le MNT afin de compléter l'analyse. En ce qui concerne les affluents de la Broye, il s'agira également d'utiliser les cartes historiques pour identifier leurs anciens tracés, ce qui n'a pas encore été fait à ce jour faute de temps.

2) Pieds de versant et terrasse

Douze terrasses identifiées sur carte sont situées dans la plaine alluviale à proprement parler et non à son bord. Ces terrasses ont été caractérisées sur le terrain selon qu'elles se détachent de manière marquée (seuil net) ou peu marquée (bosse douce). Dans un cas, il semblerait que la terrasse ait été remblayée par des matériaux non identifiés.

La délimitation des bas de versants dans la plaine adventicienne, près du lac de Morat, a été plus difficile. En rive droite, les bas de versants ont été finalement alignés aux courbes de niveau.

Certains pieds de versant ou bords de terrasse ont été modifiés par l'homme (gravière, axe routier) et sont renseignés en tant que tels dans la table attributive (Annexe 5.3).

3) Cônes d'alluvions

L'emprise des cônes formés par les affluents de la Broye a été figurée principalement sur la base de la carte géologique. Une délimitation précise de ces éléments est en effet difficile à réaliser à l'œil nu en raison de la transition très diffuse des limites de ces éléments avec les éléments adjacents. Une marge d'interprétation importante est donc de mise.

4) Falaises

En tout, trois falaises de molasse ont été répertoriées. Deux d'entre elles sont situées directement en amont de Moudon, et à la troisième se trouve à proximité de Lucens. Cette dernière semble être la plus à même d'être intégrée au projet de revitalisation (contraintes relativement distantes, autres éléments morphologiques d'intérêt à proximité).

5) Lits de molasse

Ces éléments sont indicateurs d'un lit encore naturel mais non malléable.

Dans la zone d'étude, cinq tronçons de lit sont constitués de molasse.

6) Anciens marais

Un seul élément présente encore des caractéristiques humides, tous les autres ayant été drainés au profit de l'agriculture. Les 9 éléments identifiés sur la base de l'atlas géologique correspondent toutefois à des terrains tourbeux, donc vraisemblablement à bon potentiel pour le rétablissement d'une zone humide.

7) Plans d'eau et zones humides

En tout, six plans d'eau et trois zones humides ont été répertoriés à l'emplacement d'anciens tracés ou d'autres éléments morphologiques (gravières, remblais, ancien marais). Mis à part un cas indéterminé, la totalité des plans d'eau relevés sont d'origine vraisemblablement artificielle. Une seule zone humide trouve quant à elle son origine dans les activités humaines (ancienne gravière).

Le plan d'eau d'origine non identifiée, situé au Sud du lieu-dit « Les Aventuries », n'a pas été visité sur le terrain par manque de temps. L'intérêt de cet élément dans le cadre du projet de revitalisation de la Broye reste à préciser.

8) Anciennes gravières (et glaisières)

Au total, 30 sites occupés par une ancienne gravière ou glaisière ont été répertoriés dans la zone d'étude sur la base de l'atlas géologique. Il s'agit d'anciennes gravières, car aucune d'entre elles n'a été identifiée comme étant en activité actuellement. Certaines d'entre elles servent cependant de lieux de dépôts transitoires pour divers types de matériaux terreux ou minéraux.

La plupart de ces anciennes gravières sont actuellement situées au niveau de la plaine de la Broye, ayant soit été remblayées soit creusées en pied de versant. Six anciennes gravières sont actuellement situées sous le niveau de la plaine, deux d'entre elles étant partiellement remblayées.

9) Dépôts artificiels, remblais

En tout, 37 zones de remblais ou de dépôts ont été identifiées en se basant sur l'atlas géologique. La très grande majorité de ces zones ne sont pas visibles à l'œil nu, les remblais ne dépassant pas du sol. Plus de la moitié de ces zones correspondent à d'anciennes gravières remblayées.

La nature des remblais n'a pas été investiguée dans le cadre de cette étude mais il est probable que certains de ces remblais correspondent à des sites pollués. Une étude ultérieure de ces sites devrait être réalisée sur la base du cadastre des sites pollués.

Une carte numérique délimitant l'extension maximale de la plaine alluviale historique a également été générée en s'appuyant sur les éléments morphologiques précédemment décrits (Annexe 5.4).

5.4 Points à compléter et suppléments d'étude proposés

Les points à compléter identifiés dans cette phase du projet et les suppléments d'investigation nécessaires pour la bonne suite de ce dernier ont été réunis dans le tableau ci-dessous.

Sujet	Points à compléter	Suppléments d'investigation proposés
Etude historique		
	Certaines dates des travaux de corrections sont incertaines.	Si cela est jugé utile, effectuer des recherches approfondies dans les archives.
Etude morphologique		
Anciens tracés	<p>Certains éléments n'ont pas été visités faute de temps</p> <p>Certains éléments n'ont pas pu être bien étudiés sur le terrain en raison de la présence de cultures dans les champs et des feuilles en forêt</p> <p>Certaines observations sur le terrain ne correspondent pas vraiment aux données issues des cartes géologiques et historiques (position, forme et orientation)</p> <p>Seuls les éléments identifiés sur la base des cartes géologiques et historiques ont été retenus et visités</p> <p>L'identification des anciens tracés des affluents de la Broye s'est faite sur la base des cartes géologiques uniquement</p>	<p>Finaliser le travail de terrain (visite des derniers sites), si possible en période hivernale</p> <p>Compléter le travail de terrain en période hivernale (si possible) et s'appuyer éventuellement sur le MNT concernant les zones ouvertes</p> <p>Utiliser les orthophotos et le MNT, ainsi que le GPS (en forêt) afin de préciser la position et la forme des anciens tracés présentant un intérêt particulier pour la revitalisation</p> <p>Utiliser les orthophotos et le MNT afin d'identifier d'autres anciens tracés potentiellement intéressants dans la perspective des travaux de revitalisation</p> <p>Dans le cas où une éventuelle revitalisation d'un ou plusieurs de ces affluents est prévue, utiliser les cartes historiques, les orthophotos voire le MNT pour compléter l'inventaire des anciens tracés des affluents de la Broye, et visiter les éléments supplémentaires sur le terrain</p>
Pieds de versants et terrasses ; Cônes ; Falaises	Difficulté à délimiter les pieds de versants en particulier dans la Broye adventicienne, en rive droite	Si utile, préciser au moyen du MNT les limites des éléments bordant la plaine alluviale potentiellement active, ceci en particulier pour les éléments les plus difficiles à délimiter
Anciens marais, terrains tourbeux	Caractéristiques plus précises non détaillées (extension, drainage, types de sédiments, ...)	Approfondir l'analyse des ces éléments si cela présente un intérêt pour le projet de revitalisation
Plans d'eau et zones humides	Le plan d'eau situé au Sud du lieu-dit « Les Aventuries » n'a pas été visité sur le terrain faute de temps	Visite de ce site sur le terrain
Dépôts artificiels et remblais	<p>Certaines zones de dépôts situées dans le périmètre d'étude et non figurées sur les cartes géologiques n'ont pas été relevées</p> <p>La nature des matériaux de remblais n'est pas connue</p>	<p>Compléter le relevé des zones de dépôts artificiels sur la base des orthophotos voire d'une visite sur le terrain</p> <p>Des analyses plus poussées seront nécessaires concernant la nature des remblais touchés par le projet de revitalisation</p>
Anciennes gravières	Le type de matériaux exploités varie (gravier, argile)	Préciser la nature des matériaux exploités

Tableau 11 : Lacunes identifiées et propositions de suppléments d'investigation

Par ailleurs, différents points importants pour le projet de revitalisation n'ont pas été abordés dans le cadre de cette étude mais devraient être pris en compte et étudiés dans des phases ultérieures du projet. Il s'agit en particulier des points suivants :

- cadastres des décharges et sites pollués,
- nature des matériaux alluvionnaires (perméabilité / imperméabilité),
- étude hydrogéologique des nappes souterraines (niveaux, fluctuations),
- captages, zones de protection des eaux,
- zones archéologiques,
- blocs erratiques,
- géotopes d'importance cantonale,
- surfaces d'assolement (plan sectoriel des surfaces d'assolement - SDA).

5.5 Références bibliographiques

Chuard J.-P. & Faucher J. (1976), 'La Broye d'un autre temps', Ed. Payot, Lausanne.

De Salis A. (1890), 'Mémoire sur la correction fluviale de la Broye', Imprimerie Adrien Borgeaud, Lausanne.

Ghilardi T. (2008), 'Renaturation de la Broye, rapport technique' Travail de master, Section de Sciences et Ingénierie de l'Environnement, EPFL, Lausanne.

Gonin L. (1865), 'Mémoire sur l'assainissement de la plaine de la Broye, sur les travaux exécutés et les projets étudiés pour la correction des eaux de cette rivière', Imprimerie Georges Bridel, Lausanne.

Parriaux A. (1981), 'Contribution à l'étude des ressources en eau du bassin de la Broye', thèse de doctorat, Département de génie civil, EPFL, Lausanne.

Rolle M. (2003), 'Broye (rivière) ', Dictionnaire historique de la Suisse en ligne : <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D41246.php>.

Vischer D. L. (2003), 'Histoire de la protection contre les crues en Suisse ; Des origines jusqu'au 19^{ème} siècle', Rapports de l'OFEG, Série Eaux, No 5, Berne.

Weidmann M. (1996), 'Notice explicative', Atlas géologique 1 :25'000, feuille 1204 Romont, Office fédéral de la topographie (Swisstopo), Wabern (BE).

Weidmann M. (2006), 'Notice explicative', Atlas géologique 1 :25'000, feuille 1184 Payerne, Office fédéral de la topographie (Swisstopo), Wabern (BE).

5.6 Annexes

Annexe 5.1 : Carte des éléments géomorphologiques et historiques

Annexe 5.2 : Fiches des objets caractéristiques et objets d'intérêt

Annexe 5.3 : Détail des tables attributaires liées aux couches numériques

Annexe 5.4 : Carte de l'extension maximale de la plaine alluviale historique

Annexe 5.5 : Tableau multicritères – Aspects historiques et géomorphologiques

6 Potentiel de développement d'un réseau écologique

6.1 Introduction

6.1.1 Définition du mandat

Le Bureau Delarze à Aigle a été chargé d'étudier le module relatif à l'analyse du potentiel de développement d'un réseau écologique dans la plaine (et en lien étroit à ce volet et celui traitant du diagnostic détaillé de l'écosystème aquatique, c.f. chapitre 8) afin d'établir le diagnostic biologique de l'état existant de la Broye.

Le présent chapitre a pour but de fournir une analyse préliminaire des possibilités de renaturation de la Basse Broye sous l'angle biologique pour le secteur s'étendant de Moudon jusqu'au lac de Morat. Cette analyse a pour but de mettre en évidence les potentiels de revitalisation de la Broye en mettant en valeur les éléments naturels particuliers de la rivière. Le rôle du réseau hydrographique dans le fonctionnement du réseau écologique est également un aspect qui a été traité.

6.1.2 Méthodologie et sources consultées

La première étape de l'étude a consisté à réunir les données propres au secteur d'étude. L'analyse du réseau écologique de la plaine s'est basée sur celle développée dans le cadre du Réseau écologique vaudois (REC) actuellement en cours d'élaboration (voir chap. 6.2.1).

L'analyse a permis de mettre en évidence les composantes du réseau qui possèdent une valeur particulière, qu'il s'agira de conserver ou de renforcer. Elle traite successivement des différentes composantes du réseau, à savoir des sous-réseaux des eaux courantes, des milieux humides, des forêts et milieux secs qui ont été plus particulièrement pris en compte car étroitement liés à la problématique de renaturation (voir chap. 6.2.1).

6.2 Le réseau écologique de la plaine

6.2.1 Le modèle du réseau écologique vaudois

Pour établir l'analyse du réseau de la plaine, l'étude s'est inspirée du modèle du réseau écologique du canton de Vaud. Ce modèle a été élaboré à partir des données du réseau écologique national REN (Econat, 1999).

La méthodologie adoptée dans le développement du concept directeur du réseau écologique s'est basée sur un découpage par régions et par sous-réseaux. Deux catégories de données ont été utilisées pour cette étude. Il s'agit :

- de données de base territoriales (affectation du sol, valeur naturelle particulière, sites protégés)
- de données d'observations (données faunistiques et floristiques récoltées auprès du Centre suisse de cartographie de la faune (CSCF), de l'antenne romande de la station ornithologique suisse (SOS) et du Réseau floristique suisse (CRSF). C'est sur cette base que des espèces cibles régionales ont pu être identifiées d'après l'évaluation de leur abondance et de leur distribution dans le canton.

Conformément à la méthodologie du REN, l'analyse des données de base a été faite sur la base de différents « sous-réseaux » correspondant à des groupes de milieux associés au même ensemble fonctionnel (rivières et milieu alluvial, forêt, ...). Car à chacun de ces sous-réseaux correspond un cortège faunistique et floristique particulier et des caractéristiques fonctionnelles spécifiques. Dans le cadre de cette étude neuf sous-réseaux ont été identifiés.

Un sous-réseau est défini par une série de milieux, auxquels différentes espèces sont associées. Les espèces ont été rattachées au sous-réseau dans lequel elles ont leur centre de gravité et où elles passent la phase la plus critique de leur cycle biologique.

Afin d'identifier ensuite des sites importants (soit par leur richesse en espèce ou par la qualité et l'étendue des milieux de valeur) différentes entités ont été définies au moyen d'une méthode standardisée) selon l'importance qu'elles peuvent jouer dans le sous-réseau.

Selon ces principes, on peut reconnaître les entités suivantes :

- A.) Les **hot spots** : sites abritant ou ayant le potentiel d'abriter une biodiversité particulièrement riche ou des espèces particulièrement menacées. Ce sont des sites nodaux du réseau (conditions de vie assurées pour les espèces)
- B.) Les **sites de valeur supérieure** : sites comportant des éléments naturels favorables à l'accomplissement du cycle biologique de nombreuses espèces et/ou à des espèces menacées
- C.) Les **continuums** : milieux garantissant une continuité spatiale adéquate pour le déplacement des espèces ou leur permettant l'accomplissement de leur cycle biologique de manière partielle
- D.) Le **potentiel historique** : territoires qui faisaient historiquement partie du sous-réseau. (Développé uniquement pour les sous-réseaux des eaux courantes et milieux palustres)
- E.) **L'aire générale** du sous-réseau : aire naturelle qui compose la trame générale du sous-réseau

Puis enfin pour évaluer la perméabilité des milieux et la possibilité de dispersion des espèces, les corridors ont été mis en évidence selon les données des corridors suprarégionaux et régionaux du Réseau écologique national et selon les données du réseau hydrographique. Les contraintes (obstacles majeurs aux échanges biologiques) ont été catégorisées en 3 niveaux : les autoroutes, les zones bâties à forte densité et les zones bâties à moyenne densité. Ces informations constituent des couches spéciales pour les corridors et les barrières sans référence à un sous-réseau particulier.

6.2.2 *Analyse du potentiel de développement d'un réseau écologique dans la plaine de la Broye*

L'étude du réseau écologique a pour objectif de faire ressortir les éléments-clés du réseau existant et les liaisons à entretenir ou à créer entre les sites d'importance. Elle doit permettre de définir les objectifs de conservation et de renaturation en identifiant les déficits et les potentiels de la plaine de la Broye.

Comme énoncé dans le plan directeur régional de la Broye (PDRBroye, Maillefer & Hunziker, 2010), la restauration des liens entre les milieux naturels d'importance constitutifs du réseau, ainsi que l'amélioration de leur qualité sont primordiales. Dans ce cadre, la renaturation des cours d'eau est un enjeu majeur pour la restauration des liens entre les biotopes.

Pour ce qui est de l'étude de revitalisation de la Broye, l'analyse du potentiel de développement du réseau écologique dans la plaine s'est portée en priorité sur les éléments fonctionnels des sous-réseaux **eaux courantes** (enjeu central de la renaturation), **milieux palustres**, **forêts** et **milieux secs**.

6.2.2.1 *Sous-réseau des eaux courantes (c.f. carte du sous-réseau « eaux courantes », annexe 6.1)*

La plaine de la Broye possède un réseau très dense de cours d'eau et ruisseaux. Au niveau longitudinal, la Broye constitue la colonne vertébrale de toute la plaine. Les points sensibles se situent à la hauteur des agglomérations. Il s'agit en particulier de la traversée de Moudon et de Payerne. Transversalement, les affluents de la Broye constituent le maillage secondaire du réseau. Ils assurent le lien entre la plaine et les coteaux. Les points sensibles se situent aux embouchures et à la hauteur des villes. La traversée de Marnand et Granges-Marnand pourrait être améliorée afin de faciliter l'échange des espèces aquatiques entre le ruisseau de Marnand et de la Lembe à la Broye. La traversée de la Cerjaulle à Lucens est aussi un point sensible, tout comme l'embouchure de la Bioleyre vers Fétigny. Un soin particulier devrait être envisagé à ces points de contact avec les affluents qui sont, pour ceux mentionnés, de très bonne qualité et abritent donc une diversité d'espèces qui les rangent pour la plupart parmi les hotspots. L'entrée de Payerne est reconnue comme hot spot sur l'annexe 6.1. La localisation précise de cette zone de valeur est sans doute due à des imprécisions dans la situation des données d'observations transmises. Elle correspond en fait à l'ensemble de la région Payernoise et ne se limite pas au seul tronçon de la Broye qui traverse la ville.

Sur le secteur aval de Payerne, les liaisons biologiques transversales sont moins étoffées. En effet, un nombre inférieur d'affluents limite la liaison avec les deux versants de la plaine. On identifie tout de même une bonne connexion entre l'Arbogne et la Broye. La liaison entre la Petite Glâne et la Broye est de qualité inférieure.

Près de l'embouchure, l'Arbogne, la Petite Glâne et la Broye participent au maintien d'une connexion avec le lac. Ce qui est de grande importance puisque le littoral du lac de Morat est reconnu comme une zone de grande valeur.

Le rétablissement d'un cours d'eau naturel présentant des berges richement structurées et naturelles (cordon boisé riverain) est un enjeu majeur pour les espèces aquatiques et terrestres. D'une part, l'implantation d'un cordon boisé contribuerait à fournir plus d'ombrage ce qui diminuerait la température de l'eau de la rivière en période de sécheresse (amélioration de la qualité du milieu). D'autre part, cette bande de végétation riveraine offrirait une zone de refuge pour la faune terrestre et constituerait un axe de déplacement préférentiel (fonction de connexion).

6.2.2.2 *Sous-réseau des milieux humides (c.f. carte du sous-réseau « milieux palustres », annexe 6.2)*

Dans l'ensemble, la plaine de la Broye possède un réseau relativement peu étoffé de milieux humides. Même s'il s'agissait historiquement d'une ancienne plaine marécageuse, les traces des biotopes sont aujourd'hui minces. La mise en place de drainage lors des travaux d'améliorations foncières a probablement fait disparaître de nombreuses zones humides.

L'analyse de la carte Siegfried (1890 à 1950) révèle uniquement l'existence de quelques zones humides dans la région de Granges-Marnand, aux lieux-dits :

- des Sécherons (actuel emplacement des Bois de Bujons) ;
- des Broyons
- de Champs-Cadix

Ces zones humides ont hélas disparu aujourd'hui. Les quelques sites de valeur qui sont encore présents résultent bien souvent de l'activité humaine (extraction de graviers).

Les milieux humides de valeur identifiés le long de la Broye sont les suivants :

- les étangs de l'Île à l'Ours et d'En Bronjon à Moudon (ancienne gravière);
- le méandre fossile de la Broye à Lucens ;
- les étangs de la Chaumière à Lucens (Réserve naturelle Léon Bourgeois, ancienne gravière);
- la zone humide de la Fin d'en haut à Henniez (ancien méandre);
- l'étang de Bois des Bujons à Granges-Marnand (réserve et ancienne gravière);
- les étangs de la Coulaz à l'amont de Payerne (ancienne pisciculture);
- le lit de l'ancienne Broye à Corcelles (ancien tracé);
- la zone humide des Près de Rosex à Corcelles (ancienne glaisière);
- la zone de littoral du lac de Morat à Salavaux.

Ces biotopes sont pour la plupart déjà soumis à un statut de protection. Les secteurs de Salavaux, de l'Ancienne Broye et des Près de Rosex sont reconnus comme hot spot. Toutefois ces zones d'importance sont très distantes les unes des autres et aucun biotope relais n'est présent entre elles. Un déficit en milieux palustres s'observe donc de l'aval de Payerne à l'embouchure dans le lac. Sur le tronçon allant de Corcelles à Lucens, les différents biotopes mentionnés précédemment assurent une transition. Mais de Lucens à l'amont de Moudon, l'offre en milieux humides est à nouveau déficitaire. A l'entrée de Moudon, les deux étangs de l'Île à l'Ours et d'En Bronjon participent au continuum du sous-réseau. Ces deux biotopes pourraient faire l'objet d'une valorisation.

L'offre en milieux humides le long de l'Arbogne et de la Petite Glâne est également déficitaire. La création de nouveaux biotopes permettrait de faciliter la dispersion des espèces amphibiennes dans ce secteur.

La restauration d'une végétation riveraine développée le long de tout le linéaire de la Broye est également un enjeu majeur pour ces espèces car la présence d'un cordon boisé constituerait une bande de déplacement et offrirait des zones de refuge durant leur phase terrestre.

6.2.2.3 *Sous-réseau des forêts (c.f. carte du sous-réseau « forêt», annexe 6.3)*

On décèle globalement peu de massifs forestiers riverains de la Broye. Les noyaux riverains les plus importants se trouvent à la hauteur de Villeneuve et de Fétigny. Il s'agit de forêts alluviales qui présentent encore un caractère humide mais qui sont hélas en voie de dégradation par le manque de dynamique de la rivière. Il n'existe pas non plus de cordon boisé bordant la rivière. Les talus de la Broye subissent sur pratiquement l'intégralité des berges du territoire vaudois un entretien intensif qui empêche le développement de toute végétation arbustive et arborée au bord de la rivière. A partir du Pont Neuf (aval de Payerne) la situation est différente. Les berges sont si raides, qu'une fauche n'est pas envisageable. Des fourrés buissonnants de saules forment alors un cordon boisé étroit au pied des digues.

A l'échelle de la plaine, on remarque une disparité entre le secteur amont (Moudon à Fétigny) qui est bien fourni en massifs boisés et le secteur aval (à partir de Fétigny jusqu'à l'embouchure) où ces structures sont plus éparpillées. Ces massifs assurent une liaison transversale importante pour les espèces forestières notamment. On peut observer que les liaisons biologiques actuelles (corridors) se dessinent surtout de manière transversale, alors que de nombreux obstacles existent d'un côté et de l'autre de la plaine (route, voie ferrée, ville). Ces axes de transit de la faune forestière sont difficilement perméables. La rivière joue alors un rôle fondamental en tant qu'axe de déplacement longitudinal. En rétablissant un couloir biologique boisé, on pourrait ainsi augmenter la perméabilité du réseau de Moudon à Morat.

6.2.2.4 *Sous-réseau des milieux secs (c.f. carte du sous-réseau « milieux secs », annexe 6.4)*

Les talus de la Broye situés entre Moudon et l'aval de Lucens constituent des surfaces de valeur supérieure, si bien qu'ils figurent à l'inventaire fédéral des Prairies et pâturages secs. Mais à l'échelle de la plaine, ces prairies sont isolées (transversalement et longitudinalement). D'autres surfaces de valeur supérieure sont reconnues sur les hauts de Moudon mais ces surfaces se situent à grande distance de la rivière. Ces talus constituent des îlots isolés qu'il semble difficile de rattacher à d'autres noyaux importants de prairies sèches.

Toutefois malgré l'importante valeur biologique de ces milieux secs, il est important de souligner que la restauration de milieux riverains ne doit pas être remise en cause par leur existence. Les milieux riverains s'imposent près du cours d'eau alors qu'il existe ailleurs dans la plaine (notamment sur les coteaux) des conditions pour recréer ou revaloriser des prairies maigres riches en espèces.

Il faut noter que dans un objectif de renaturation, les éléments particuliers de prairies inscrites à l'inventaire peuvent faire l'objet de remplacement pour autant que des conditions bien précises soient remplies. Un objet peut être remplacé par un autre objet s'il est de qualité équivalente. Le motif de remplacement doit également servir un intérêt public et requiert une procédure de validation de l'Office de l'environnement est nécessaire.

6.3 Références bibliographiques

Maillefer & Hunziker. (2010). Plan Directeur régional de la Broye, Yerdon.

6.4 Annexes

Annexe 6.1 : Carte du sous-réseau « eaux courantes » : 1 :100'000

Annexe 6.2 : Carte du sous-réseau « milieux humides » : 1 : 100'000

Annexe 6.3 : Carte du sous-réseau « forêt » : 1 :100'000

Annexe 6.4 : Carte du sous-réseau « milieux secs » : 1 :100'000

7 Ecosystèmes aquatiques de la Broye

7.1 Introduction

7.1.1 Définition du mandat

Dans le cadre du projet de renaturation de la Broye, le Bureau Delarze a été chargé d'étudier le module traitant du diagnostic détaillé de l'écosystème aquatique. Ce travail a été réalisé en collaboration avec Monsieur Christian Roulier (Service Conseil Zones alluviales).

Le présent chapitre propose un diagnostic de l'état général qui porte sur les aspects écomorphologiques, hydrobiologiques ainsi que sur les milieux riverains annexes au cours d'eau. La seconde partie de chapitre, désigne les secteurs et objets particuliers méritant une étude de détail et des investigations approfondies.

7.1.2 Méthodologie et sources consultées

L'étude des écosystèmes aquatiques s'appuie sur la synthèse des données piscicoles et de suivi de la qualité de l'eau. Ces données ont été mises à disposition par les Services cantonaux vaudois et fribourgeois en charge de la protection de la nature (SFFN et SFF) et par le Service des eaux, sols et assainissement (SESA) du canton de Vaud pour ce qui concerne les données de qualité des eaux et de suivi de la macrofaune benthique.

Les études ou les travaux de renaturation qui ont eu lieu récemment dans le périmètre d'étude ont également été passés en revue. Ils ont été pris en compte dans l'évaluation des propositions de mesure.

7.2 La Broye : contexte général

Le secteur étudié, dans le cadre de ce projet de renaturation, est celui de Basse Broye situé entre Moudon et l'embouchure (Figure 1 p. 3). Il s'agit du secteur morphologiquement le plus atteint de tout le linéaire de la rivière.

Géologiquement, le bassin de la Broye est situé sur un plateau de molasse. Le fond molassique de son lit est parfois affleurant et très nettement visible par endroits.

En tenant compte des pentes et de la largeur moyenne du lit du cours d'eau, il est possible de diviser la Broye en plusieurs secteurs correspondant à des zones piscicoles distinctes (Kirchhfer A., 2004).

- A : La **zone à truite et à ombre supérieure** (de Moudon à l'aval de Lucens),
- B et D : la zone à ombre inférieure (de l'aval de Lucens à l'amont de Payerne et de l'aval d'Avenches jusqu'à l'embouchure),
- puis finalement C : la **zone à barbeau** de l'amont de Payerne à Avenches.

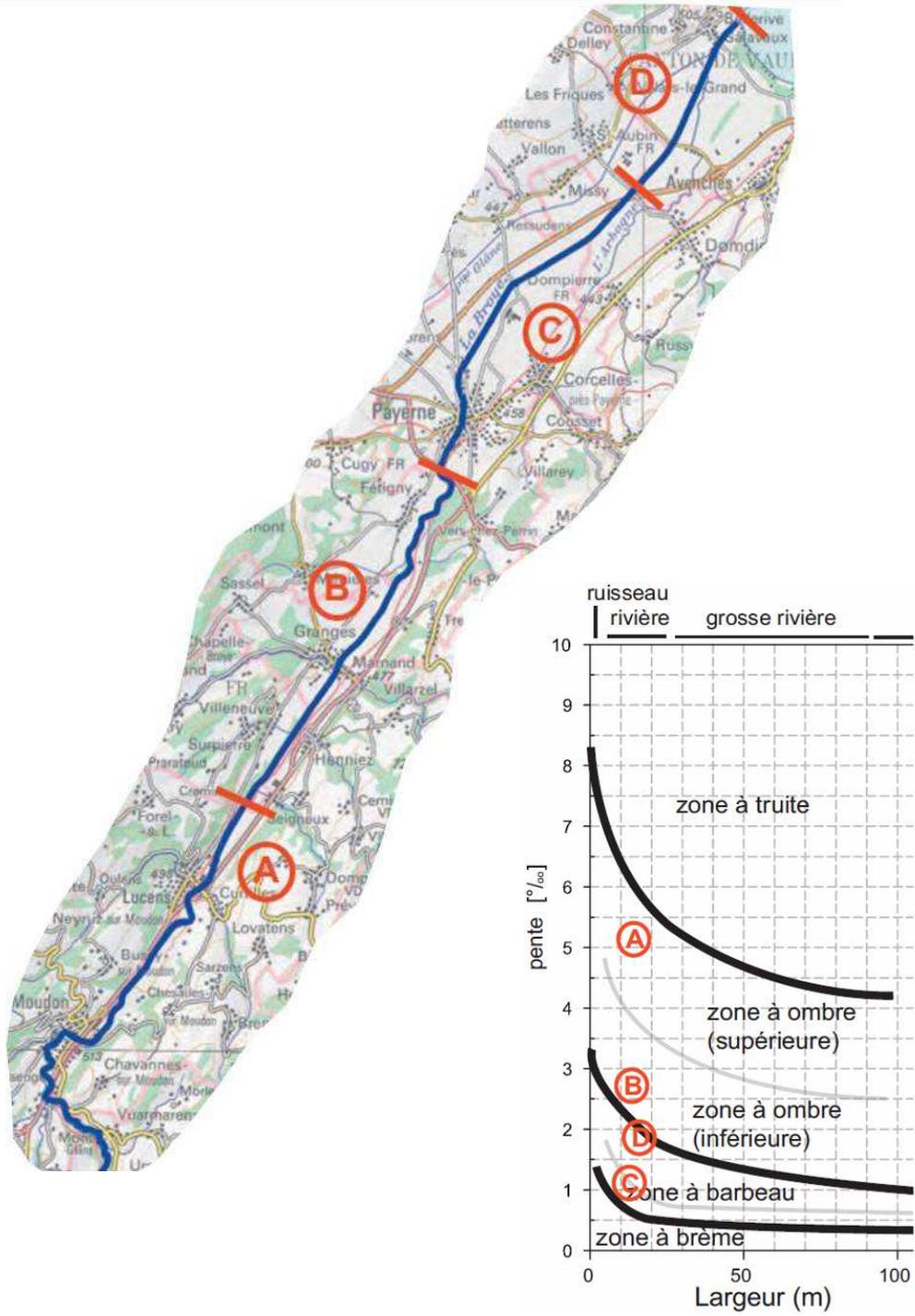


Figure 18 : zones piscicoles de la Broye. D'après Kirchofer A. (2004)

7.3 Ecosystèmes aquatiques

7.3.1 Ecomorphologie

7.3.1.1 La Broye

L'écomorphologie actuelle de la Basse Broye est très atteinte sur de longues distances en raison des nombreuses corrections qui ont eu lieu à partir de 1850 jusqu'à la fin du XIXème siècle. La carte disponible à l'annexe 7.1 présente la classe écomorphologique attribuée à la Broye et à ses affluents (SESA, 2003).

A l'amont de Moudon, la qualité écomorphologique de la Broye est jugée satisfaisante (Annexe 7.1). La rivière présente un lit naturel et des zones de variabilité d'écoulement sont visibles (formation de bancs de gravier, radiers, plats, mouilles). Les berges sont aussi pratiquement boisées partout. A l'inverse, le lit de la Broye est jugé artificiel à très atteint depuis Moudon jusqu'au Pont-Neuf (aval de Payerne). Les travaux de correction fluviale sont responsables de l'homogénéisation de l'écoulement. Sur une bonne partie de son cours, la rivière possède un profil trapézoïdal. La Broye comporte des berges rectifiées et stabilisées par des enrochements en pied de talus. Sur une grande partie du secteur de plaine, des digues d'une hauteur d'une dizaine de mètres ont été façonnées afin d'empêcher que la rivière n'inonde la plaine en cas de crue.



Figure 19 : Illustration du profil trapézoïdal de la Broye dans le secteur Moudon-Lucens.

Dans les secteurs rectifiés, seuls quelques arbres plantés en sommet de berge ornent le couronnement de la digue. Le restant du talus étant régulièrement fauché, ceci empêche la végétation riveraine de se développer. Presque l'intégralité du tracé de la rivière ne bénéficie de ce fait d'aucun ombrage et présente un faible intérêt écologique. Le faible taux d'ombrage participe à une élévation importante de la température en été. Ceci est particulièrement défavorable pour des espèces aquatiques sensibles à la hausse des températures, comme pour la truite, l'ombre ou d'autres salmonidés qui deviennent beaucoup plus vulnérables à la maladie rénale proliférative (MRP) qui n'apparaît que si la température de l'eau dépasse 15°C (Gerster S. et ., 2006).

Du Pont Neuf (aval de Payerne) jusqu'au haras national d'Avenches, le lit de la Broye est qualifié de très atteint (c.f. Annexe 7.1). Les pieds de berge ne sont plus stabilisés avec des enrochements mais à l'aide de technique de génie biologique (mise en place de fascines de saules à double rangées de pieux). Des niches d'érosion sont décelables sur le haut des berges qui présentent un profil excessivement raide. Elles sont munies d'un manteau de saules buissonnants et d'un ourlet de hautes herbes riches en néophytes. Sur ce secteur, le lit de la Broye est surcreusé et profond.



Figure 20 : Illustration du profil de la Broye, à partir du Pont-Neuf, à l'aval de Payerne

La physionomie du lit change dans le secteur de l'embouchure. Le lit qui présente une largeur moyenne d'environ 18 mètres s'élargit au-delà de 20 mètres. La pente est également plus faible, et l'écoulement de la Broye ralentit. Ce secteur est qualifié de très atteint (Annexe 7.1).



Figure 21 : Profil de la Broye, 1 km avant l'embouchure

Sur de nombreuses sections la stabilité du lit est assurée par des seuils. Entre Moudon et Morat, on dénombre plus d'une centaine de seuils. Ces derniers peuvent constituer des obstacles à la migration du poisson en période estivale (sécheresse), en particulier pour les cyprinidés qui possèdent des

capacités de saut plus restreintes que les salmonidés. En hiver, leur franchissement doit être plus aisé en raison du débit moyen qui est plus élevé.



Figure 22 : Illustration des successions de seuils présents sur le linéaire de la Broye. A droite : aval de Lucens. A gauche : aval de Payerne.

Toutefois, l'unique seuil jugé infranchissable a subi des mesures de transformation durant l'hiver 2009-2010. Il était situé à l'amont de Moudon. Il s'agissait de l'ancienne chute artificielle de Valacrêt (En Bressonnaz) construite en 1944 qui mesurait 1,8 m. Aujourd'hui, une rampe rugueuse a été mise en place afin que ce palier soit à nouveau franchissable par la faune piscicole.



Figure 23 : Nouvelle rampe rugueuse de Valacrêt (En Bressonnaz)

Même si le lit de la Broye est naturel, une faible densité de caches et d'abris pour les poissons subsiste en pieds de berges. Sur certains secteurs, des gros blocs ont toutefois été disposés dans le lit pour pallier ce déficit. Leur densité reste malgré tout insuffisante. Ce paramètre ajouté à celui du problème de l'ombrage fait que la rivière n'est pas à même de fournir des conditions de développement favorables pour la faune piscicole.



Figure 24 : Ajout de gros blocs pour l'abri des poissons. Secteur Moudon-Lucens.

Sur l'intégralité du secteur étudié, la granulométrie du lit de la Broye est régulière (galets, graviers). L'écoulement est uniforme et la capacité de charriage est normale, voire élevée en cas de crue mais le charriage (ou quantité de sédiments transitant dans le cours d'eau) est faible. En raison de l'endiguement, presque aucun tri granulométrique ne peut donc s'opérer dans le lit du cours d'eau. Seuls quelques bancs de graviers sont visibles dans les secteurs les plus larges du cours d'eau.

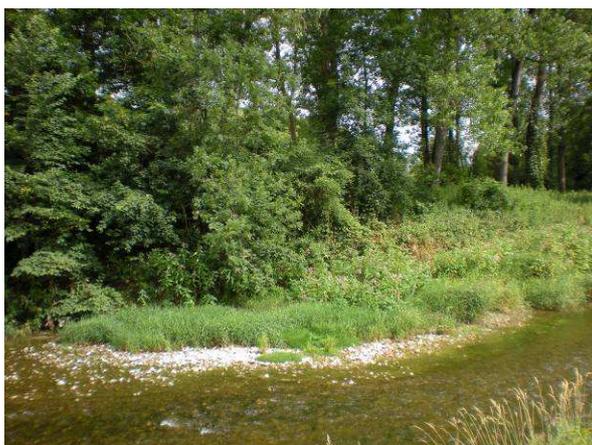


Figure 25 : Exemple de la formation d'un banc de graviers, à la hauteur de Fétigny.

7.3.1.2 Les affluents

Les affluents de la Broye présentent globalement une meilleure appréciation écomorphologique (c.f. Annexe 7.1). Dans leurs tronçons amont, ils ont tous un lit naturel. Les sections les plus problématiques sont les portions inférieures, situées en plaine et au niveau des embouchures.

Généralement le dernier kilomètre de cours d'eau se caractérise par une morphologie plus ou moins atteinte en raison des corrections fluviales exécutées. Les points les plus problématiques sont les embouchures et la traversée des villes (surtout Moudon, Lucens, Granges-Marnand et Payerne). Depuis, quelques années des travaux de génie civil ont permis d'installer plusieurs passes à poissons au niveau des embouchures des affluents. Ces passes permettent en priorité de rétablir l'accès des poissons dans les affluents.

Ceci est très important en cas d'événement majeur car la faune piscicole peut alors s'y réfugier lors de crue ou de pollution et surtout lors des grandes périodes de sécheresse, ce qui est un avantage car les affluents présentent généralement une température de l'eau plus fraîche en été en raison du couvert boisé plus riche dont ils disposent. La richesse structurelle de leur lit leur confère également une meilleure capacité autoépurative que la Broye. Il faut toutefois préciser que tous ces affluents comportent assez rapidement des seuils naturels infranchissables.

Les tronçons qui constituent un enjeu primordial en termes d'abris sont souvent les 50 à 400 premiers mètres depuis l'embouchure.

Le tableau de synthèse ci-dessous récapitule les caractéristiques de chaque affluent. Une appréciation qualitative est proposée en tenant en compte de l'aspect général du cours d'eau et de la configuration de l'embouchure, en particulier de sa franchissabilité pour la faune piscicole.

Une description détaillée et illustrée des affluents figure à l'annexe 7.2.

Un programme de renaturation des embouchures de la Broye a été lancé par le SESA. Le tableau suivant précise également les affluents qui seront concernés par ces travaux.

Ruisseau	Cours amont ¹	Cours aval ¹	Embouchure ²	Renaturation
Mérine	+++	++	∅	
Riau Grésin	+++	+	∅	
R. de la Voraire	+++	++	∅	Exécutée
R. de la Gotte	+++	++	∅	2011-2012
Cerjaulé	+++	+	∅	Exécutée
R. des Vaux	+++	++	∅	Exécutée
R. de Seigneux	+++	++	□	
Trémeule	+++	++	□	2011-2012
R. de Marnand	+++	++	□	2011-2012
Lembe	+++	+	⇒	Exécutée
R. de Trey	+++	+	⇒	2011-2012
R. de la Bioleyre	+++	++	□, ⇒	Exécutée
Arbogne	+++/+	+++	√	
Petite Glâne	+	+	⇒	

Tableau 12 : Synthèse de l'appréciation qualitative des affluents et de la franchissabilité des embouchures

¹ + = Artificiel, monotone, ++ = cours relativement peu atteint, +++ cours naturel, boisé

² ∅ = emb. infranchissable en basses eaux, ⇒ = franchissement possible mais difficile, □ = passe à poissons, √ = emb. naturelle

7.3.2 Qualité de l'eau

7.3.2.1 La Broye

En examinant la macrofaune benthique de la Broye, il est possible de porter une appréciation sur la qualité de l'eau car il s'agit d'invertébrés aquatiques plus ou moins sensibles à la pollution.

Selon les données du CSCF, on observe que plusieurs espèces d'invertébrés inscrites sur la Liste rouge sont présentes dans la Broye (Tableau 13). On mentionnera par exemple le cas de l'Ephéméroptère *Caenis rivulorum* espèce en danger d'extinction en Suisse. Elle a été définie comme espèce prioritaire pour le canton de Vaud dans le cadre du Réseau écologique vaudois (Delarze, 2010)

Ordre	Espèce	Date de la dernière observations	Priorité CH	LR 2011	Responsabilité VD
Ephemeroptera	<i>Baetis vardarensis</i>	2003		NT	
	<i>Caenis beskidensis</i>	1978	4	VU	
	<i>Caenis rivulorum</i>	2003	3	EN	x
	<i>Torleya major</i>	1982	4	VU	
	<i>Rhithrogena germanica</i>	1946	1	CR	
	<i>Potamanthus luteus</i>	1944		NT	
Plecoptera	<i>Leuctra pseudosignifera</i>	1982		NT	
	<i>Nemoura cambrica</i>	1979		NT	
	<i>Dinocras megacephala</i>	1978	4	VU	
	<i>Perla abdominalis</i>	1947	2	CR	
	<i>Perla marginata</i>	1989		NT	
	<i>Brachyptera monilicornis</i>	1946	2	RE	
Trichoptera	<i>Silo piceus</i>	2003	4	VU	
	<i>Hydroptila dampfi</i>	2003	4	VU	

Tableau 13 : Liste des invertébrés benthiques présents dans la Broye et menacés au niveau Suisse

Afin d'identifier la qualité biologique des cours d'eau vaudoise, le SESA réalise depuis 1991 des campagnes de mesures dans les cours d'eau vaudois. Ces campagnes ont lieu tous les trois ans (campagne 2010 en cours d'analyse). Deux prélèvements sont effectués dans la Broye. Le premier a lieu de février à mi-mars et le second entre mi-mai et mi-juin. Les stations des prélèvements sont volontairement placées sur le tronçon du cours d'eau où aucune perturbation locale ne pourrait influencer la qualité des eaux. Les zones aval des STEP ou l'embouchure des affluents sont par exemple évitées. Pour la Broye, les stations de mesure sont situées à Palézieux-gare, Oron-la-ville, Bressonnaz, Lucens, Henniez, Granges-Marnand et Payerne (Figure 26).

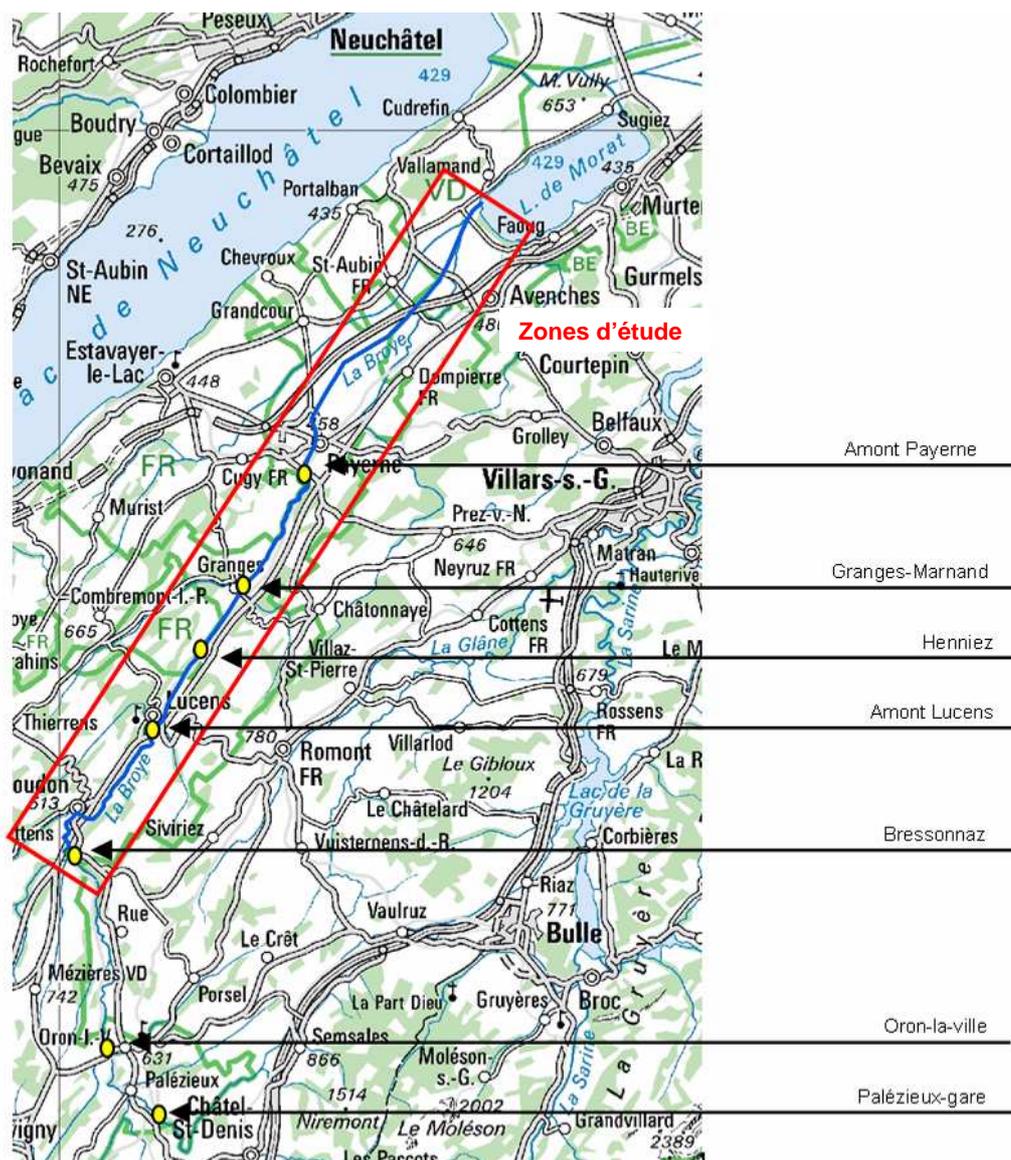


Figure 26 : Localisation des stations de mesure pour le suivi de la macrofaune benthique dans la Broye

Tous les résultats des stations mentionnées ci-dessus, ont été pris en considération même si les trois premières sont situées à l'amont de Moudon (début du périmètre d'étude). Ceci afin de pouvoir comparer l'indice de qualité d'eau de la Basse Broye avec la Moyenne Broye.

D'après les notes de l'indice Rivaud, établi en fonction du nombre d'espèces d'invertébrés aquatiques et du nombre d'espèces sensibles à la pollution, on observe que la qualité de l'eau est en partie insatisfaisante. Une péjoration de la qualité de l'eau est visible de l'amont vers l'aval. Hormis pour les années 1991 et 1994, il semble que la qualité des eaux de la Moyenne Broye soit meilleure en amont de Moudon que dans le reste de la Basse Broye. En aval de Moudon, l'eau est globalement de bonne qualité. Les résultats sont nettement moins positifs à l'aval de Granges-Marnand où la qualité se dégrade.

On observe toutefois, une amélioration globale des résultats avec les années (Voir graphique ci-dessous).

Les résultats détaillés des indices de qualité biologique figurent à l'annexe 7.3.

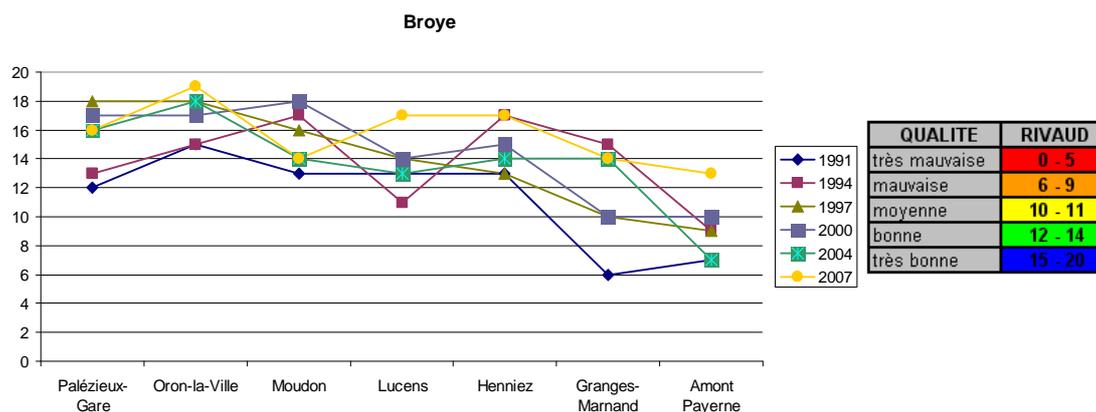


Tableau 14 : Résultats du suivi de la macrofaune benthique et détermination de la note de qualité biologique (indice Rivaud) pour la Broye

La tendance claire à la détérioration de la qualité de l'eau du cours d'eau qui s'observe dans la Broye de l'amont vers l'aval, s'explique par un effet d'accumulation des polluants (Vioget P., Strawczynski A., 2005). Malgré un débit annuel moyen relativement élevé, certains pesticides sont détectés et leur concentration dépasse parfois la limite du seuil légal de 100ng/l par substance. Ainsi sur la base des campagnes de prélèvements qui ont eu lieu dans la Broye en 2002, 2003 et 2004 et en fonction des concentrations de substances détectées, une note pesticide a été attribuée (Tableau 15).

Elle est moyenne pour les stations de Bressonnaz (Moudon) et d'En Brit (Granges-Marnand), alors qu'elle est mauvaise à Domdidier (c.f. tableau 15).

Station	Nbre prélev.	Nbre déter.	Détections		>Seuil 100 ng/l		Maximum [ng/l]	Note	Classe de qualité
			Nbre	[%]	Nbre	[%]			
Bressonnaz	8	264	16	6	4	2	663	1.6	moyenne
En Brit	11	363	22	6	8	2	620	1.6	moyenne
Domdidier	3	99	8	8	4	4	440	2.3	mauvaise

Tableau 15 : Pesticides dans les rivières vaudoises. Résultats pour la Broye, 2002-2004

En 2007 et 2008, d'autres campagnes de mesure ont également été menées. On observe plusieurs fois des dépassements des normes pour certains pesticides dans les eaux de la Broye. Ces dépassements ont généralement lieu au printemps (avril) été (juin-juillet) et en automne (octobre) (Tableau 16).

Station	Année	Date	Substance	ng/l
Domdidier	2007	avril	Metamitron	187
		juin	Atrazine	195
		juillet	Atrazine	121
		octobre	Isoproturon	134
	2008	avril	Isoproturon	110
		mai	Metamitron	195
		juin	Atrazine	107
		octobre	Terbuthylazine-desethyl	117
		octobre	Atrazine	102
		octobre	Isoproturon	177

Tableau 16 : Détection de pesticides dans la Broye en concentration supérieure à 100 ng/l en 2007-2008

Les eaux de la Broye sont globalement chargées en substance organique et minérale de source anthropogène. Le tableau 17 présente les valeurs des éléments majeurs mesurées dans les eaux de la Broye à Domdidier entre 2000 et 2009. On observe que les concentrations en phosphore total sont dépassées chaque année et que l'eau est plutôt riche en nitrite et ammonium, sans toutefois dépasser les valeurs limites (sauf pour 2002 et 2003 où les concentrations en nitrite ont dépassé 0.1 mg/l).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Carbone organique dissous	3.54	3.39	4.15	4.17	3.59	3.31	3.96	4.22	3.56	3.69
Ammonium	0.093	0.078	0.217	0.190	0.191	0.296	0.150	0.185	0.203	0.278
Nitrite	0.072	0.059	0.182	0.208	0.170	0.134	0.060	0.085	0.076	0.113
Nitrate	4.07	3.77	3.40	3.68	4.48	4.71	4.52	4.34	3.61	4.26
Orthophosphate	0.044	0.041	0.042	0.027	0.028	0.027	0.030	0.036	0.035	0.038
Phosphore total	0.146	0.218	0.216	0.190	0.215	0.206	0.176	0.258	0.141	0.256

Tableau 17 : Concentrations des éléments majeurs dans la Broye à Domdidier pour les années 2000-2009

7.3.2.2 Les affluents

Pour les affluents de la Broye, on observe des grandes différences de qualité de l'eau en fonction des affluents (c.f Annexe 8.1 Ecomorphologie de la Broye et de ses affluents).

L'eau est de très bonne qualité dans la Mionne et la Mérine. Elle est globalement bonne dans la Bressonne, la Cerjaulle et le Grenet. Le Flon de Carouge comporte une eau de bonne qualité mais cette dernière se dégrade à partir de Bressonnaz.

La qualité de la Petite Glâne et de l'Arbogne est insatisfaisante. On relève cependant une tendance à l'amélioration de la qualité biologique avec les années (voir graphiques ci-dessous). Les résultats détaillés des indices de qualité biologique figurent à l'annexe 7.4.

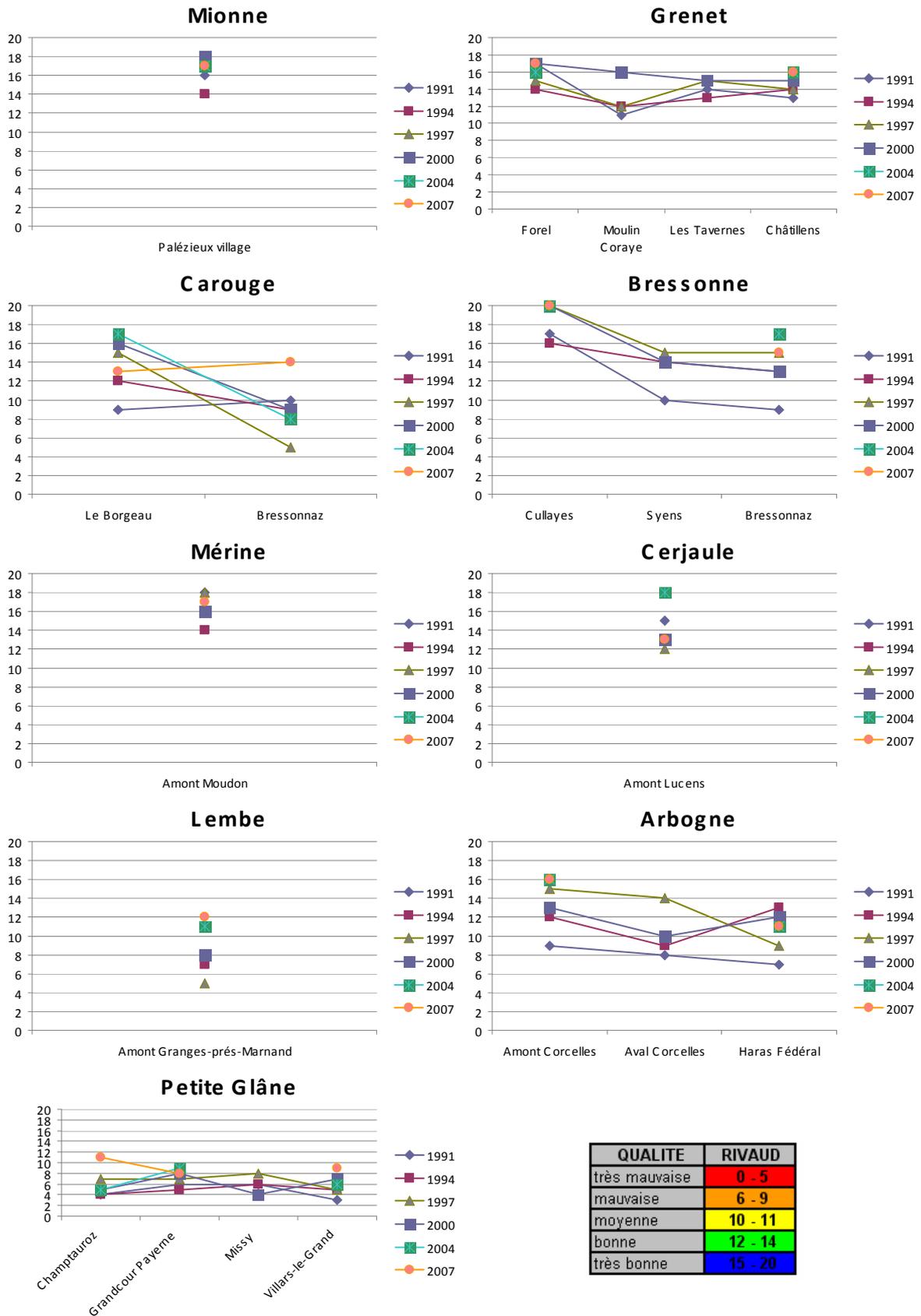


Tableau 18 : Résultats du suivi de la macrofaune benthique et détermination de la note de qualité biologique (l'indice Rivaud) pour les affluents

A nouveau, on observe une dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval. Cette observation est corrélée avec la présence de pesticides dans les affluents (Tableau 19) et les éléments majeurs (Tableau 20).

La classe de qualité est jugée bonne pour le Grenet et l'Arbogne alors qu'elle est mauvaise pour la Petite Glâne, avec un dépassement maximum des teneurs 10 fois supérieure au seuil légal.

Cours d'eau	Station	Nbre prélev.	Nbre déter.	Détections		>Seuil 100 ng/l		Maximum [ng/l]	Note	Classe de qualité
				Nbre	[%]	Nbre	[%]			
Grenet	Châtillens	4	132	8	6	5	4	211	1.5	bonne
Arbogne	Corcelles	7	231	19	8	3	1	489	1.4	bonne
Petite Glâne	Grandcour	8	264	32	12	10	4	1418	2.3	mauvaise

Tableau 19 : Pesticides dans les rivières vaudoises. Résultats pour les affluents, 2002-2004

On peut faire le même constat au niveau des éléments majeurs : les concentrations en éléments majeurs sont plus élevées dans la Petite Glâne que dans le Grenet ou l'Arbogne. De fortes valeurs de phosphore s'observent toutefois dans les trois cours d'eau avec des dépassements répétés pour le phosphore total (seuil légal de 0.05 mg/l) dans la Petite Glâne.

Station	GRENET		ARBOGNE		PETITE GLANE	
	2004	2007	2004	2007	2004	2007
Carbone organique dissou	3.72	4.13	4.51	4.62	3.85	4.16
Ammunium	0.037	0.046	0.032	0.039	0.11	0.07
Nitrite	0.019	0.021	0.026	0.022	0.073	0.043
Nitrate	3.45	2.31	6.87	6.05	9.78	7.68
Orthophosphate	0.18	0.069	0.076	0.059	0.099	0.082
Phosphore total	0.241	0.113	0.125	0.121	0.178	0.203

Tableau 20 : Eléments majeurs dans les affluents de la Broye. Valeurs pour 2004 et 2007

Par voie de conséquence, on observe que les cours d'eau avec un mauvais indice de qualité biologique sont aussi ceux présentant des traces de pesticides et des concentrations en éléments majeurs.

Par voie de conséquence, on observe que les cours d'eau avec un mauvais indice de qualité biologique sont aussi ceux présentant des concentrations de pesticides.

7.3.3 Faune piscicole

D'après les données du centre de cartographie de la faune (CSCF) et de l'atlas piscicole du canton de Fribourg, ainsi que de l'inventaire piscicole du canton de Vaud, la Broye est une rivière qui possède une grande diversité d'espèces. Pour le secteur allant de Moudon au lac de Morat, on dénombre en tout 23 espèces de poissons, pour la période de 1964 à 2006.

Nom français	Nom scientifique	Présence de l'espèce dans le lac de Morat	Statut Liste rouge ³
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	x	LC
Spirilin	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	x	VU
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>		LC
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	x	LC
Barbeau	<i>Barbus barbus</i>	x	NT
Nase	<i>Chondrostoma nasus</i>	x	CR
Loche de rivière	<i>Cobitis taenia</i>	x	VU
Chabot	<i>Cottus gobio</i>		NT
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	x	NT
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	x	LC
Blageon	<i>Leuciscus souffia</i>		VU
Chevaine	<i>Leuciscus cephalus</i>	x	LC
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	x	I
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	x	LC
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>		LC
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	x	LC
Truite de rivière	<i>Salmo trutta fario</i>	x	NT
Truite lacustre	<i>Salmo trutta lacustris</i>	x	EN
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	x	I
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	x	LC
Ombre	<i>Thymallus thymallus</i>		VU
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	x	LC

Tableau 21 : Espèces piscicoles recensées dans la Broye

Une raison qui explique la grande diversité des espèces piscicoles de la Broye est sa continuité avec le lac de Morat. Au total 27 espèces de poissons sont présentes dans le lac de Morat (selon l'Inventaire ichtyologique du canton de Vaud). Sur ces 27 espèces, 17 sont recensées également dans la Broye. Les seules espèces absentes de la Broye sont :

- l'anguille (*Anguilla anguilla*)
- la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*)
- le corégone (*Coregonus sp*)
- la carpe (*Cyprinus sp.*)
- le brochet (*Esox lucius*)
- la lotte (*Lota lota*)
- la bouvière (*Rhodeus sericeus amarus*)
- l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*)
- le silure glane (*Silurus glanis*)

Parmi les espèces présentes dans la Broye, quatre espèces sont considérées comme menacées. Il s'agit du spirilin, de la loche de rivière, de l'ombre et du blageon. Les raisons principales du déclin de ces populations sont la diminution générale des sites de reproduction naturels et la dégradation des habitats, dus en partie à la modification des cours d'eau (altération du régime) et à la pollution des eaux.

³ Statut LR : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, CR = en danger critique d'extinction, I = espèce introduite

Même si de nombreuses campagnes de repeuplement ont lieu, la truite lacustre est une espèce fortement menacée au niveau suisse. La forte diminution des effectifs s'explique par la dégradation des habitats mais également par les entraves (seuils artificiels) à la libre circulation de l'espèce, ce qui complique et dans certains cas compromet la migration de reproduction.

Autrefois répandu dans la Broye, le **blageon** est devenu beaucoup plus rare. Selon la Fédération Suisse de Pêche (FSP) la Broye ne compte plus que de petites populations isolées. Au niveau national, les populations stables restantes se localisent dans la Birse, le Doubs, l'Allaine, à l'embouchure de la Thur et localement sur la Rhin alpin. Le blageon a besoin de cours d'eau structurés avec des frayères de gravier propres. Sa diminution témoigne avec clarté des problèmes d'espaces insuffisants qui sont laissés au cours d'eau. Pour assurer la protection de cette espèce, la diversité structurelle du milieu doit être conservée car ce poisson occupe différemment l'espace du cours d'eau selon les saisons. L'hiver, il sera rencontré dans des endroits profonds (pools à faible courant (< 20 cm/s) au substrat fin alors qu'en été, il occupera des zones plus exposées au courant (40 cm/s), de profondeur moyenne sur un substrat graveleux. (Schwarz, 1998)

La figure 27, présente la distribution actuelle de ce poisson dans le canton de Vaud, qui n'est plus que signalé dans la Broye.

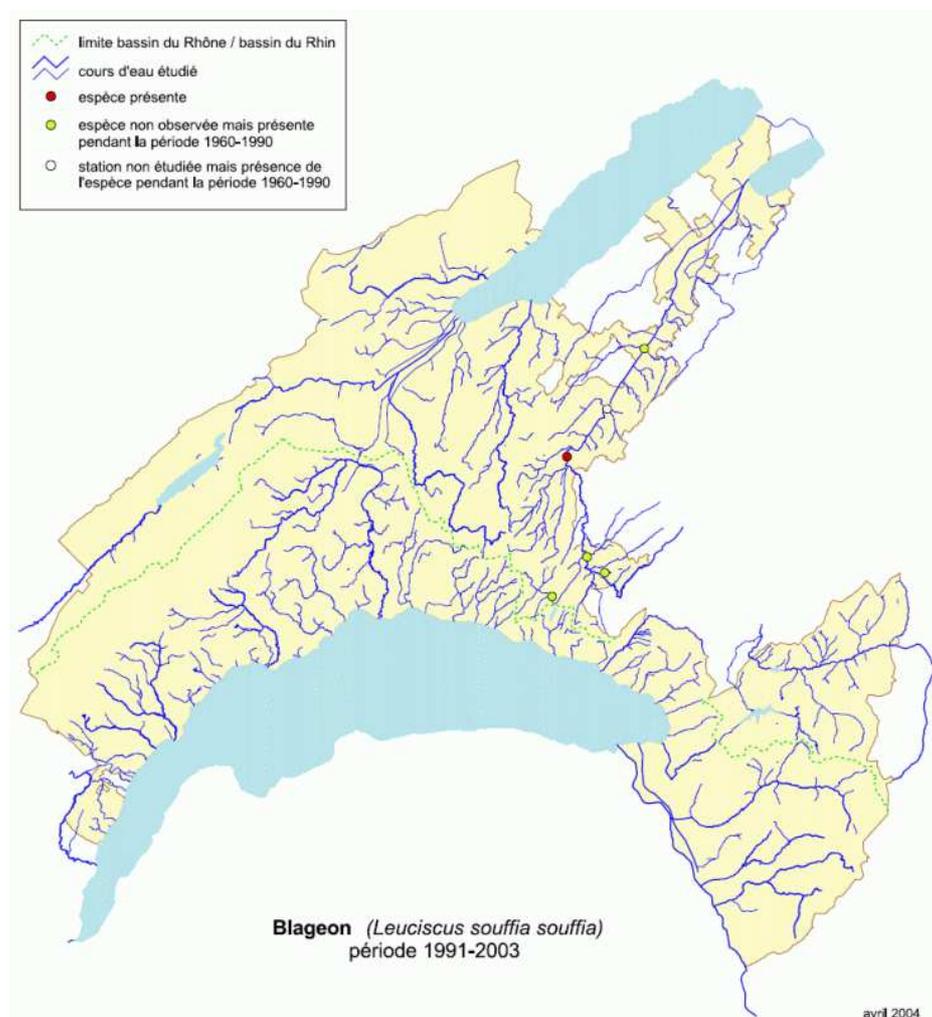


Figure 27 : Carte de distribution du blageon pour la période de 1991 à 2003 (CCFN, 2004)

<http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/faune-et-nature/faune-aquatique/inventaire-piscicole-et-des-ecrevisses-des-cours-deau-du-canton-de-vaud/cartes-de-distribution/>

D'après les pêches électriques réalisées par le Service des forêts, de la faune et de la nature, les blageons sont encore présents dans la rivière même s'ils sont plutôt peu nombreux. En 2004 et 2006, plusieurs blageons ont été pêchés entre Moudon et Lucens. En 2010, la présence de l'espèce a été confirmée puisque 13 individus ont été pêchés lors d'une pêche électrique qui s'est déroulée au début du mois de novembre à la hauteur de Granges-Marnand.

Pour ce qui est du nase, l'espèce est considérée aujourd'hui comme en danger critique d'extinction. Très abondant dans la Broye dans les années 1900, le nase n'a cessé de diminuer depuis 1964, date d'une grave pollution ayant empoisonné la quasi totalité des géniteurs. Depuis cet événement, la population n'a pu se reconstituer. Aujourd'hui l'évolution des effectifs est peu documentée. Selon Kirchhofer (2004), il convient de supposer que la population de nase est éteinte aujourd'hui dans la Broye. Au cours de la saison de frai de 1993, la présence deux frayères a été signalée au niveau de Lucens et à l'amont de Moudon. Toutefois, en 2003, aucune présence de nase ni de dépôts d'œufs n'ont pu être observés.

Dans les affluents de la Broye d'autres observations du CSCF témoignent de la présence du nase dans la Petite Glâne en 1964 et 1971.

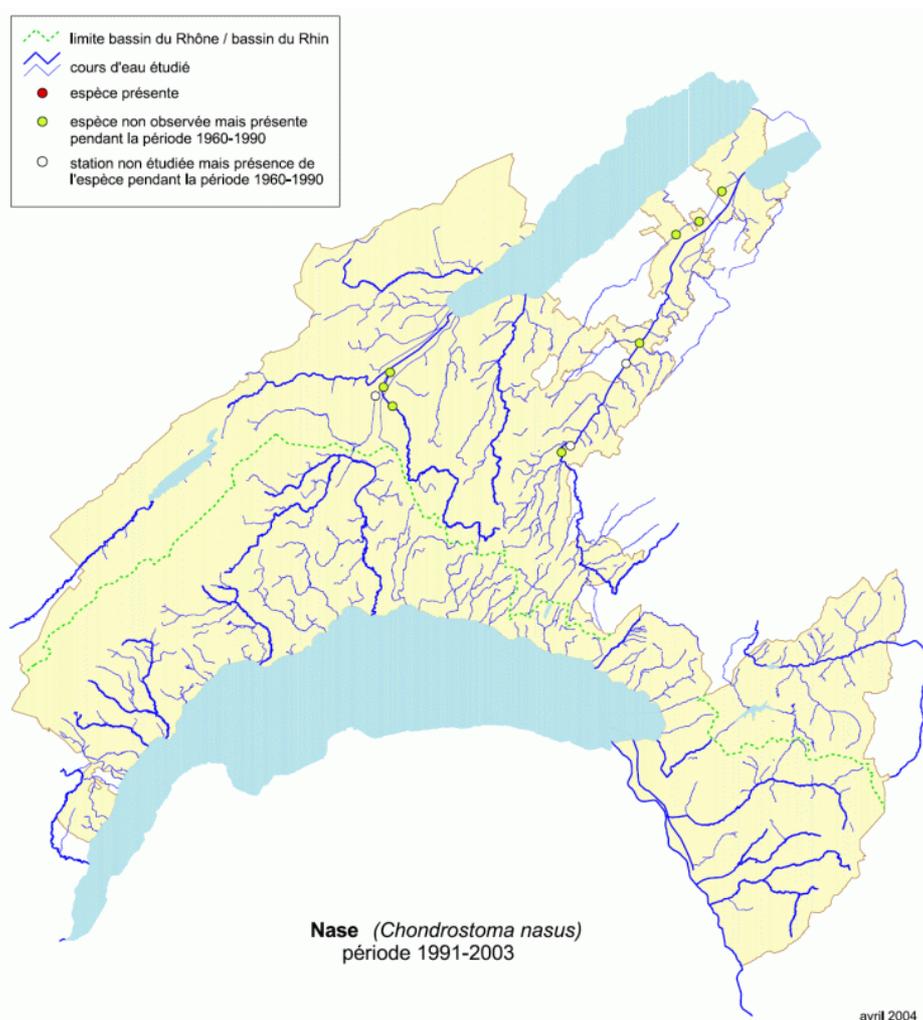


Figure 28 : Carte de distribution du nase pour la période de 1991 à 2003 (CCFN, 2004)

<http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/faune-et-nature/faune-aquatique/inventaire-piscicole-et-des-ecrevisses-des-cours-deau-du-canton-de-vaud/cartes-de-distribution/>

Actuellement selon Zbinden et al. (2005) plus aucun site de frai n'existe dans le bassin de la Broye. Seuls 31 sites de reproduction ont été recensés en Suisse. Ils sont regroupés dans 17 cours d'eau (*Aar, Canal Werdenberg, Murg, Oenz, Pffafem, Reuss, Rhin, Rietaach, Sarine, Sarner, Simmi, Singine, Suhre, Thur, Töss, Trême et Weise*).

7.3.4 Flore aquatique

La végétation aquatique de la Broye est très restreinte sur tout le linéaire. Les grandes fluctuations de débits ainsi que le manque de diversité du lit dans les tronçons corrigés limitent considérablement le développement de la végétation aquatique dans le lit même du cours d'eau.

On peut toutefois mentionner la présence du potamot noueux, plante peu fréquente typique de la zone à ombre et à barbeau, dans la Petite Glâne et au bord de la Broye à la hauteur de Villeneuve.

Espèce	Nom latin	Date de la dernière année d'observation	Milieu	Statut LR ⁴
Potamot noueux	<i>Potamogeton nodosus</i>	2010	Epipotamon, hyporhitron	VU
Cresson de cheval	<i>Veronica beccabunga</i>	2002	Epipotamon, hyporhitron	LC
Cresson d'eau	<i>Nasturtium officinale f. submersum</i>	2007	Epipotamon, hyporhitron	LC

Tableau 22 : Plantes aquatiques recensées au bord de la Broye

Le secteur de l'embouchure présente des caractéristiques différentes du reste du linéaire. En raison de l'écoulement laminaire des eaux, le développement d'une végétation flottante fixée est possible. La présence des colonies de nénuphars jaunes à un kilomètre de l'embouchure en est un parfait exemple. Bien que ces plantes soient présentes dans le lit principal du cours d'eau, elles sont associées à des zones d'eaux calmes (type *Nymphaeion*).



Figure 29 : colonie de Nénuphar jaune près de l'embouchure

⁴ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, VU = vulnérable

7.3.5 Milieux riverains terrestres

7.3.5.1 Aspect paysager global

Depuis sa source jusqu'à son embouchure dans le lac de Morat, la Broye traverse une plaine agricole composée de grandes cultures. Selon A. Parriaux (1981), la superficie du bassin de la Broye est approximativement composée de 30% de forêts, de 30% de prairies et pâturage et 40% de champs cultivés.

La Basse Broye est un secteur à forte vocation agricole. Dans cette portion de plaine, la majorité des surfaces agricoles sont dévolues à la culture (maïs, céréales, tabac, etc...).

Afin de gagner des terrains pour l'agriculture et pour protéger ces dernières des crues, le lit du cours est corrigé quasiment sur tout le linéaire menant de Moudon au lac de Morat.

Les berges de la Broye ont été rectifiées et présentent un profil trapézoïdal depuis la moitié du XIXème siècle. Sur une bonne partie des rives vaudoises, ces dernières sont totalement privées de végétation. L'interface entre la terre et l'eau est également réduite en raison de la présence de renforcements de pieds de berges constitués d'enrochements. Sur les premiers mètres depuis le pied du talus, une formation d'ourlet humide riche en néophytes est présente. Le haut du talus est colonisé par une végétation herbacée maigre qui est régulièrement fauchée. Parfois des plantations d'arbres ou d'arbustes occupent le sommet des berges.



Figure 30 : Ourlet présent en pied de talus



Figure 31 : Talus de la Broye

De structure très uniforme, les berges comportent peu d'intérêt au niveau écologique. Dans les secteurs à l'amont de Moudon et de Lucens des formations arborées linéaires sont présentes en rive droite mais elles ne sont pas contiguës au cours d'eau. A la hauteur de Villeneuve, de Fétigny et à l'embouchure de la rivière au lac de Morat, la rive gauche de la Broye présente des berges boisées avec un aspect plus naturel. Ces formations arborées se composent encore d'espèces hygrophiles, témoins d'un passé alluvial. Parfois les pieds de berge sont renforcés par endroits mais les infrastructures de stabilisation sont rares sur les berges boisées.



Figure 32 : Aperçu des rives boisées à Villeneuve et Fétingny

A partir du Pont-Neuf (aval de Payerne), le profil trapézoïdal des berges est remplacé par un profil en V extrêmement raide et surcreusé. Le niveau de la Broye est très profond par rapport au niveau des terres environnantes. Ce caractère a autorisé le gestionnaire du cours d'eau à laisser une végétation arbustive se développer sur les berges abruptes sans diminuer les propriétés sécuritaires du système. Ces berges présentent un manteau de saules buissonnants, mêlés à un ourlet de hautes herbes. Ces formations possèdent un intérêt écologique, car elles constituent un cordon de végétation plus ou moins continu qui joue le rôle d'abri et d'axe préférentiel de déplacement pour la faune.



Figure 33 : Profil-type de la rivière depuis le Pont-Neuf

Il est à noter que l'**entretien** actuel des berges concourt à l'uniformisation structurale et paysagère de l'espace riverain. De larges portions du linéaire sont régulièrement fauchées, ce qui réduit la végétation à sa seule composante herbacée (de type prairie). L'exploitation de ces talus comprend une fauche où le foin est redistribué aux agriculteurs (terrains loués). La première fauche s'effectue donc généralement le 15 juin et les regains ont lieu plus tard dans la saison en fonction de la repousse de la végétation. Les secteurs protégés inscrits à l'inventaire des prairies et pâturages secs) bénéficient d'une fauche plus tardive (mi-juillet).

Même si une bande d'un mètre d'ourlet en pied de berge n'est pas fauchée, la suppression ou la forte raréfaction des éléments ligneux buissonnants et hautes herbes de l'ourlet riverain, compromettent le fonctionnement de l'espace cours d'eau en tant que corridor biologique (absence de relais pour les organismes en déplacement), mais aussi comme composante essentielle de l'habitat de nombreux organismes amphibies et riverains (refuge, source de pollen pour les imagos, supports pour l'émergence des nymphes aquatiques, etc.), sans parler du déficit d'ombrage affectant la température de la rivière. Il s'ensuit que de nombreux organismes potentiellement présents ne peuvent accomplir leur cycle vital et sont éradiqués par l'entretien.

De fait, l'entretien intensif des berges conduit à une banalisation structurale du lit. Toute renaturation impliquant une diversification du lit et des berges devra prendre en compte les implications sur l'entretien.

L'entretien des enrochements et autres ouvrages de protection procèdent de la même logique. Les réfections les plus récentes s'accompagnent de retouches destinées à diversifier la structure du lit (mise en place de caches à poissons), mais dont l'ampleur reste très modeste.

La situation est toutefois différente à l'aval du Pont-Neuf. Les talus présentant des formations buissonnantes bénéficient d'un entretien moins intensif. Les arbustes sont généralement taillés tous les deux-trois ans afin de maintenir un gabarit hydraulique adéquat et limiter le risque d'embâcle. Un prélèvement de boutures est également effectué. Ces dernières sont ensuite réincorporées dans le terrain afin de stabiliser les talus soumis à l'érosion (génie biologique). A ce niveau même si le corridor est plutôt modeste, la présence des structures riveraines joue un rôle positif pour les espèces de l'écosystème fluvial.

7.3.5.2 Ourlet humide

Au pied des berges, en bordure de la Broye, les talus comportent une végétation herbacée de grande taille (type *Convolvulion*). Des espèces comme *Phragmites australis*, *Calystegia sepium*, *Artemisia vulgaris* sont fréquentes. De nombreuses plantes exotiques occupent également ces pieds de talus. Il s'agit majoritairement d'*Impatiens glandulifera* et de *Solidago gigantea* et *canadensis*.

Ce groupement est souvent en contact avec la saulaie à partir de la hauteur du Pont-Neuf (aval de Payerne). Il ne comporte pas une valeur botanique importante car il est constitué globalement de plantes banales (Tableau 23).

Espèce	Nom latin	Statut LR ⁵
Liseron des haies	<i>Calystegia sepium</i>	LC
Cardère sauvage	<i>Dipsacus fullonum</i>	LC
Epilobe hérissée	<i>Epilobium hirsutum</i>	LC
Epilobe à petites fleurs	<i>Epilobium parviflorum</i>	LC
Epilobe tétragone	<i>Epilobium tetragonum</i>	LC
Houblon	<i>Humulus lupulus</i>	LC
Impatience glanduleuse	<i>Impatiens glandulifera</i>	LC
Renouée du Japon	<i>Reynoutria japonica</i>	LC
Ronce bleuâtre	<i>Rubus caesius</i>	LC
Solidage	<i>Solidago gigantea</i>	LC
Consoude	<i>Symphytum officinale</i>	LC

Tableau 23 : Espèces recensées dans les ourlets du bord de la Broye

⁵ Statut Liste Rouge : LC = non menacé

7.3.5.3 Prairie maigre

Les talus des berges de la Broye ont souvent une pente importante. Du fait qu'ils sont régulièrement entretenus (fauche) et jamais amendés, leur sol est amaigri. La végétation herbacée qui les a colonisés a sur ces tronçons une composition de prairie sèche à mi-sèche.

Les secteurs comportant une richesse floristique particulière bénéficient aujourd'hui d'un statut de protection. Ils sont rattachés au *Mesobromion*, milieu digne de protection au sens de l'OPN (Ordonnance fédérale sur la protection de la nature). Il s'agit de plus d'objets retenus à l'inventaire des prairies et pâturages secs d'importance nationale (PPS).

Ils regroupent les talus en rive droite situé à l'aval de Moudon jusqu'à l'amont de Lucens, ainsi les talus en rive droite et gauche menant de l'aval de Lucens jusqu'au pont ferroviaire d'Henniez. De nombreuses plantes rares et protégées comme *Himantoglossum hircinum*, *Ophrys holosericea* ou *Orchis morio* sont présentes dans ces prairies. Ce milieu comporte également une importante valeur faunistique car il offre un habitat pour de nombreux lépidoptères (cf. tableau n°24).

Le tableau 24 donne un extrait d'espèces menacées et recensées par le CRSF et CSCF le long des talus de la Broye.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ⁶
Flore	Arabette hérissée	<i>Arabis hirsuta</i>	2005	LC
	Orchis bouc	<i>Himantoglossum hircinum</i>	2007	VU
	Ophrys abeille	<i>Ophrys apifera</i>	2005	VU
	Ophrys bourdon	<i>Ophrys holosericea</i>	2005	VU
	Orchis militaire	<i>Orchis militaris</i>	2005	NT
	Orchis brûlé	<i>Orchis ustulata</i>	2005	NT
	Anthéricum à fleurs de lis	<i>Anthericum liliago</i>	1995	LC
Lépidoptère	Silène	<i>Brintesia circe</i>	2003	EN
	Mélitée des scabieuses	<i>Melitaea parthenoides</i>	2008	EN
	L'Azuré de L'Esparcette	<i>Polyommatus thersites</i>	2006	VU

Tableau 24 : Extrait des espèces protégées observées sur les talus séchards de la Broye

7.3.5.4 Formations buissonnantes humides

Des manteaux d'arbustes buissonnants sont présents localement le long de la Broye. Il s'agit de groupements de saules buissonnants à caractère pionnier. Ils occupent principalement les berges des cours d'eau non stabilisées sur des sols alluviaux minéraux. Ce milieu peut être rattaché à la saulaie blanche (*Salicion albae*). Sa valeur biologique est supérieure à la moyenne. Les saules fournissent une source de nourriture pour le castor (espèce menacée et présente dans la Broye) et des abris pour de nombreux oiseaux. Le développement de ces arbustes est également intéressant sur le plan de la stabilité des rives, les bouquets de ces essences étant spécialement résistantes aux perturbations mécaniques.

Le tableau 25 présente quelques espèces qu'il est possible d'observer dans ces fourrés buissonnants le long de la Broye, en particulier à la hauteur de Fétigny et à partir du Pont Neuf, en aval de Payerne.

⁶ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, EN = en danger

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière année d'observation	Statut LR ⁷
Mammifères	Castor	<i>Castor fiber</i>	2007	CR
Oiseau	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	2007	EN
	Rosignol philomèle	<i>Luscinia megarhynchos</i>	2009	NT
	Hippolaïs ictérine	<i>Hippolaïs icterina</i>	2008	VU
	Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	2009	NT
Flore	Saule noirissant	<i>Salix myrsinifolia</i>	2005	LC
	Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>	2010	LC
	Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	2010	LC
	Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	2005	LC

Tableau 25 : Espèces recensées parmi les formations buissonnantes humides de la Broye

7.3.5.5 Formations buissonnantes mésophiles

Ce milieu se matérialise par un cordon de ligneux bas détaché de toute dynamique alluviale situé en lisière de bosquet, forêt ou en sommet de digue. Les espèces qui le composent sont communes et croissent en dehors des zones en contact avec l'eau. Il s'agit d'espèces mésophiles rattachées au *Pruno-Rubion*, comprenant divers arbustes à baies intéressants pour la faune (gibier, oiseaux nicheurs, micromammifères, et insectes butineurs) : *Corylus avellana*, *Cornus sanguinea*, *Crateagus laevigata*, *Prunus spinosa*, *Rosa canina*).

Quelques animaux qu'il est possible d'observer dans ces formations végétales le long de la Broye figurent dans le tableau 26 ci-après.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ⁷
Oiseaux	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	2009	LC
	Fauvette des jardins	<i>Sylvia borin</i>	2009	LC
	Fauvette grisette	<i>Sylvia communis</i>	2009	VU
	Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	2008	LC
Mammifères	Muscardin	<i>Muscardinus avellanarius</i>	2006	VU
	Belette	<i>Mustela nivalis</i>	2004	VU
Orthoptères	-	<i>Opisthograptis luteolata</i>	2005	-
	-	<i>Philereme vetulata</i>	2005	-
Lépidoptères	Robert le-diable	<i>Polygonia c-album</i>	2006	-
Coléoptères	Trichie fasciée	<i>Trichius fasciatus</i>	2008	-

Tableau 26 : Espèces observées dans les formations buissonnantes mésophiles de la Broye

⁷ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, EN = en danger, CR = en danger critique d'extinction

7.3.5.6 Forêts alluviales

Même si la vallée de la Broye est une ancienne plaine marécageuse, peu de biotopes annexes humides sont encore présents aujourd'hui suite à son assainissement. On ne distingue aujourd'hui plus que trois noyaux de forêt alluviale. Il s'agit de la zone alluviale de Villeneuve (inscrite à l'inventaire fédéral), et de Fétigny (zone alluviale d'importance régionale) et de l'embouchure de la Broye (inscrite à l'inventaire fédéral).

Ces zones alluviales comprennent des formations ligneuses humides de bois durs et tendres, parfois des plantations de peupliers non indigènes. Elles ne sont aujourd'hui plus régulièrement inondées en raison de l'endiguement du cours d'eau. Le caractère alluvial de ces formations est donc dégradé. Les milieux rencontrés correspondent à des mosaïques de différentes unités : forêt de saule blanc (*Salicion albae*), forêt d'aulne noir (*Alnion glutinosae*), aulnaie alluviale (*Alnion incanae*) et forêts de frêne (*Fraxinon*). Tous ces types forestiers présentent une valeur supérieure à la moyenne. Ils sont dignes de protection selon l'OPN. Ils abritent localement des espèces proches de l'extinction comme *Allium scorodoprasum* qui a été signalé en 2004, en amont de Fétigny.

Les zones alluviales présentent également une importance pour la faune car elles constituent des habitats devenus rares en plaine qui abritent encore des espèces menacées. Par exemple le Pic cendré dont les deux derniers couples nicheurs étaient encore entendus dans la zone alluviale de Villeneuve en 1990 ou le petit mars changeant encore signalé récemment.

La zone alluviale de Villeneuve (objet n°52 de l'inventaire des zones alluviales d'importance nationale) est un massif de forêt alluviale de 49 hectares ; il a été fortement transformé par d'anciens prélèvements de gravier et par des plantations, mais on y trouve encore, sur certaines surfaces, des peuplements de saule blanc inondés une partie de l'année, des aulnaies noires à tendance marécageuse ou alluviale et des frênaies dont la composition et la structure sont proches de peuplements naturels. Beaucoup de plantations évoluent actuellement vers des peuplements en station. La commune de Villeneuve y a désigné une réserve forestière. La revitalisation de la Broye de 2003 dans ce secteur a déjà montré la rapide régénération des saulaies et des aulnaies sur les stations riveraines proches de la Broye.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ⁸
Papillon	Petit mars changeant	<i>Apatura ilia</i>	2007	EN
Oiseaux	Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	2009	LC
	Pic cendré	<i>Picus canus</i>	1996	VU

Tableau 27 : Espèces menacées des milieux alluviaux recensées à Villeneuve

Aujourd'hui, le secteur de l'Ancienne Broye près de Corcelles ne peut plus être associé aux milieux alluviaux depuis la correction de la Broye (assèchement). Ce site reste toutefois remarquable. Sur les anciennes berges, des peupliers noirs et blancs ainsi que des chênes aux diamètres importants (>100cm) sont encore visibles. Un unique endroit dans l'ancien lit est encore régulièrement humide. Il se situe à l'ouest de la Tuilerie, près du lieu-dit Taillisse. Des plantes comme *Veronica beccabunga*, *Myosoton aquaticum*, *Lycopus europaeus* ou *Iris pseudacorus* sont visibles.

⁸ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, VU = vulnérable, EN = en danger

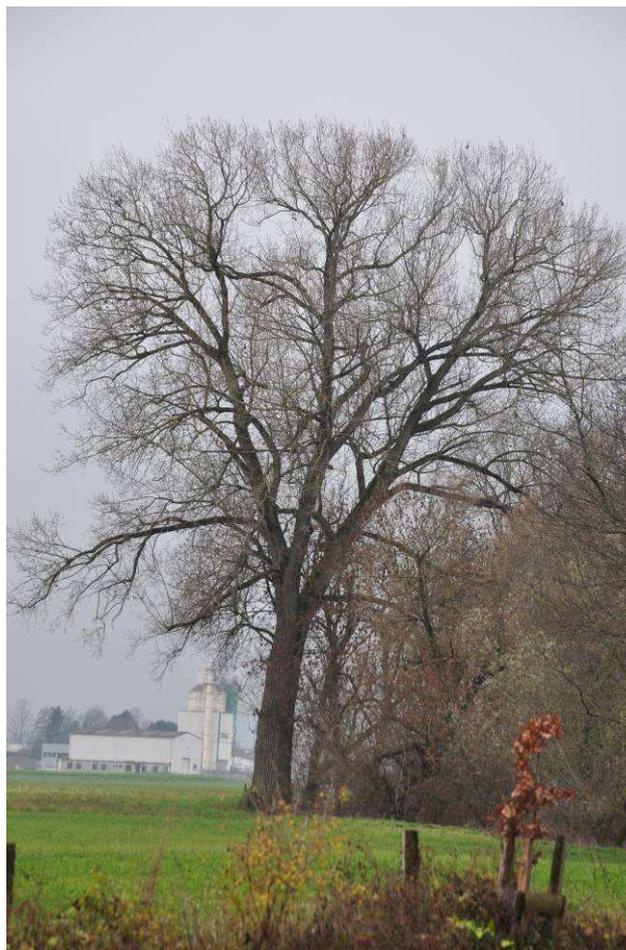


Figure 34 : Cordon boisé de lit de l'ancienne Broye

7.3.5.7 Hêtraie et autres forêts de feuillus

En marge des secteurs humides décrits précédemment des formations végétales s'apparentant à la hêtraie sont visibles dans les secteurs qui ne sont pas soumis à une inondation. Le hêtre est souvent dominant. Il est accompagné d'autres essences comme le chêne, le frêne, le charme, l'érable, le merisier, ou parfois des résineux comme l'épicéa ou le sapin blanc. Ce milieu se développe sur des terrains moyennement drainants. Sa valeur est moyenne car il abrite des espèces plutôt communes.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière année d'observation	Statut Liste Rouge ⁹
Oiseaux	Rouge-queue à front blanc	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	2008	NT
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	2009	LC
	Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	2009	LC
	Poillot siffleur	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	2008	NT
Mammifères	Loir	<i>Glis glis</i>	1996	-
Coléoptères	Petit capricorne	<i>Cerambyx scopolii</i>	2008	-
Flore	Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	2005	LC
	Charme	<i>Carpinus betulus</i>	2004	LC
	Pervenche	<i>Vinca minor</i>	2004	LC
	Chêne rouvre	<i>Quercus petraea</i>	2003	LC
	Gaillet odorant	<i>Galium odoratum</i>	2009	LC

Tableau 28 : Espèces recensées à proximité de la Broye

7.3.5.8 Plantations

Au bord de la rivière, sur les sommets de digue des tronçons corrigés des plantations arborés ont été implantées de manière linéaire. Ces structures sont composées de diverses essences indigènes (par exemple bouleau, érable, peuplier) ou exotiques (érable argenté, peuplier d'Italie, ...)

7.3.5.9 Roselières

Deux principales zones de roselière particulièrement intéressantes pour l'avifaune sont présentes entre Moudon et l'embouchure. Il s'agit des Prés de Rosex et de la roselière de la zone alluviale de l'embouchure près du lac de Morat.

La réserve naturelle des Prés de Rosex était à l'origine une ancienne glaisière, créée dans le cadre des activités d'extraction de l'entreprise Morandi. Aujourd'hui ce biotope souffre d'atterrissement. Les surfaces de *Molinia caerulea* sont progressivement envahies par *Phragmites australis*.

La zone alluviale de l'embouchure de la Broye est située sur le littoral du lac de Morat. L'apport progressif d'alluvions et de sédiments par la Broye a contribué à la formation d'une anse sableuse qui a été progressivement colonisée par *Phragmites australis*.

⁹ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé

La roselière est un milieu digne de protection selon l'OPN, mais sa valeur biologique est variable. Lorsque les roselières souffrent d'atterrissement, leur biodiversité diminue et présente un cortège d'espèces nitrophiles banales. Elles restent toutefois très intéressantes du point de vue biologique car elles constituent des biotopes pour de nombreux oiseaux. Le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) et le râle d'eau (*Rallus aquaticus*) ont par exemple encore été observés au Près de Rosex en 2006. Le tableau 29 présente d'autres espèces signalées dans ces deux secteurs durant ces dernières années.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ¹⁰	Milieux
Oiseaux	Rousserolle turdoïde	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	2009	VU	Roselière
	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	2009	LC	Roselière
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	1999	EN	Roselière
Flore	Laiche faux souchet	<i>Carex pseudocyperus</i>	1999	VU	Molinion
	Inule à feuilles de saule	<i>Inula salicina</i>	1999	NT	Molinion
	Rubaniér dressé	<i>Sparganium erectum</i>	1999	NT	Roselière
	Lin purgatif	<i>Linum catharticum</i>	2004	LC	Molinion
	Bolboschoenus maritime	<i>Bolboschoenus maritimus</i>	2005	EN	Roselière
	Orchis tacheté	<i>Dactylorhiza maculata</i>	2004	LC	Molinion
	Gentiane des marais	<i>Gentiana pneumonanthe</i>	2006	VU	Molinion

Tableau 29 : Espèces observées au Près de Rosex et à l'embouchure de la Broye

7.3.5.10 Alluvions

Etant donné que les phénomènes de dynamique alluviale ont été bloqués dans la Broye par la canalisation de la rivière, les bancs d'alluvions sont très rares. Ces milieux dépendent des phénomènes de crues. C'est ainsi qu'ils se régénèrent. Ils sont formés d'une végétation herbacée pionnière et éparse. Les bancs de graviers peu nombreux de la Broye ne sont pas assez souvent touchés par un épisode régénérateur. Ils présentent alors des formes dégradées de *Epilobion fleischeri*, envahies par des espèces rudérales de *Agropyro-Rumicion* ou du *Dauco-Melilotion*.

Le cortège floristique de ces unités est bien souvent assez pauvre mais des curiosités parfois apparaissent. Les quelques données du tableau 30 témoignent de la présence historique d'espèces peu banales qui pouvaient être aperçues dans ces milieux le long de la Broye.

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Optimum écologique	Statut LR ¹⁰
Amphibien	Crapaud accoucheur	<i>Alytes obstetricans</i>	2003	Alluvions	EN
	Crapaud calamite	<i>Bufo calamita</i>	1996	Alluvions	EN
Orthoptère	Oedipode aigue-marine	<i>Sphingonotus caeruleus</i>	2001	Alluvions	VU
Flore	Germandrée d'eau	<i>Teucrium scordium</i>	1967	Agropyron-rumicion	EN

Tableau 30 : Espèces recensées historiquement le long de la Broye

¹⁰ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, EN = en danger

Ces milieux sont aussi des habitats potentiels pour de nombreuses espèces menacées visibles encore actuellement le long de la Broye (tableau 31).

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Optimum écologique	Statut LR ¹¹
Papillon	Hespérie de l'alcée	<i>Carcharodus alceae</i>	2007	Dauco-Melilotion	CR
Oiseaux	Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>	2009	Alluvions	VU
	Hirondelle de rivage	<i>Riparia riparia</i>	2009	Alluvions	NT

Tableau 31 : Espèces recensées le long de la Broye

Toutefois certaines espèces liées aux milieux alluviaux pionniers sont encore présentes dans des milieux de substitution peu éloignés de la rivière (ballast de voie ferrée, empièvements, sablière). On peut citer par exemple *Equisetum ramosissimum*, *Epilobium dodonaei* ou *Bufo calamita*. La restauration de zones d'alluvions présente un enjeu biologique fort pour ces espèces pionnières.

7.3.6 Milieux riverains humides

Les biotopes humides présents aujourd'hui le long de la Broye sont en général des formes d'évolution avancées. Ils ont été façonnés pour la plupart entre les années 70 et 90. S'ils ont été à l'origine favorables pour des espèces pionnières ou appréciant des biotopes plutôt bien ensoleillés, ils s'apparentent aujourd'hui à des étangs forestiers car la végétation riveraine a envahi les zones périphériques des plans d'eau.

Le tableau 32 présente quelques espèces végétales typiques du *Nymphaeion* et *Potamion* observées dans les principaux biotopes humides.

Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ¹¹
Renoncule en crosse	<i>Ranunculus circinatus</i>	1998	EN
Renouée amphibie	<i>Polygonum amphibium</i>	2007	NT
Hottonie des marais	<i>Hottonia palustris</i>	1995	EN
Potamot capillaire	<i>Potamogeton pusillus</i>	2000	VU
Potamot graminée	<i>Potamogeton gramineus</i>	1990	EN
Myriophylle en épi	<i>Myriophyllum spicatum</i>	2007	NT
Potamot pectiné	<i>Potamogeton pectinatus</i>	2007	LC
Nénuphar jaune	<i>Nuphar lutea</i>	1979	LC
Naïade marine	<i>Najas marina</i>	2006	VU

Tableau 32 : Quelques espèces des plans d'eau de la Broye

¹¹ Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, EN = en danger, CR = en danger critique d'extinction

De nombreuses espèces animales trouvent également refuge dans ou à proximité de ces biotopes.

On notera la présence ancienne du sonneur à ventre jaune, de la rainette verte et du triton ponctué (tableau 33).

Groupe	Espèce	Nom scientifique	Date de la dernière observation	Statut LR ¹²
Amphibien	Sonneur à ventre jaune	<i>Bombina variegata</i>	1990	EN
	Crapaud commun	<i>Bufo bufo</i>	2007	VU
	Rainette verte	<i>Hyla arborea</i>	2002	EN
	Triton ponctué	<i>Lissotriton vulgaris</i>	1990	EN
	Grenouille rieuse	<i>Pelophylax esculentus</i>	2000	NT
Odonate	Agrion joli	<i>Coenagrion pulchellum</i>	2007	NT
Reptile	Couleuvre à collier	<i>Natrix natrix</i>	2006	VU

Tableau 33 : Espèces animales recensées dans les différents plans d'eau

7.4 Objectifs de renaturation

7.4.1 Objectifs généraux

Bien que le potentiel de revitalisation de la Broye soit grand, des déficits peuvent être observés. Ils se situent essentiellement à trois niveaux.

1. La morphologie actuelle du lit a fortement été appauvrie par les travaux d'assainissement qui ont touché la plaine et présente de ce fait des déficits structurels et écologiques.
2. La qualité de l'eau de la rivière et les fluctuations brutales de débits (rivière canalisée qui joue le rôle de dévaloir de crue) nuisent aux organismes aquatiques.
3. L'entretien des berges et des ouvrages de protection contribue au maintien d'un système simplifié sur le plan paysager et appauvri sur le plan biologique.

Il s'agit de combler les déficits actuellement observés en rétablissant :

1. une diversité structurelle du cours d'eau, en renforçant un cortège de milieux naturels aquatiques, amphibies et terrestres, et en adaptant l'entretien des berges ;
2. une connectivité fonctionnelle du réseau par la suppression des obstacles à la libre circulation des organismes ;
3. le déroulement de processus actifs de dynamique alluviale, responsable de la formation de biotopes pionniers, et de la création de milieux alluviaux ;
4. la qualité biologique du cordon riverain existant et des zones alluviales. Les fragments de forêt alluviale possèdent une grande valeur mais sont isolés. Les différents points d'eau répartis le long de la rivière ne sont également pas pour l'heure reliés par des cordons boisés qui permettent la dispersion des espèces amphibies et terrestres. Ces structures joueraient un rôle primordial de refuge et d'échange pour les espèces.

¹² Statut Liste Rouge : LC = non menacé, NT = potentiellement menacé, VU = vulnérable, EN = en danger

7.4.2 Milieux cibles

Les milieux visés par la renaturation de la Basse Broye concernent en priorité les milieux des eaux courantes et les milieux riverains humides associés à une dynamique alluviale.

Les milieux cibles retenus pour atteindre cet objectif comprennent :

- La zone de la brème et du barbeau (*épipotamon*)
- La zone à ombre (*hyporhitron*).
- Les rivages des eaux courantes et les formations herbacées pionnières des alluvions (type *Epilobion fleischeri*).
- Les fourrés de saules drapés (type *Salicion eleagni*)
- Les formations à bois tendres : saulaie et aulnaie alluviale (type *Salicion albae*, *Alnion incanae*)
- Les forêts de bois durs (type *Fraxinon*)

La reconstitution d'une mosaïque de ces milieux offre un potentiel biologique très élevé. Toutefois le développement de cette succession végétale dépend de la dynamique de la rivière et de l'espace qui lui sera concédé.

Afin de compléter l'offre en milieux aquatiques et riverains, les habitats à privilégier sont ceux qui remplissent une fonction particulière comme relais sur le cordon biologique. Il s'agit des milieux associés aux eaux calmes. Ils comprennent les eaux avec végétation flottante immergée (type *Nymphaeion*) et de petites annuelles éphémères (type *Nanocyperion*).

Comme ces milieux sont aujourd'hui sous-représentés dans la plaine, il s'agit de renforcer les structures déjà existantes qui doivent être en priorité conservées. La reconstitution de milieux naturels est difficile et très onéreuse. Il est par conséquent important de privilégier la conservation des biotopes existants en améliorant leur état (changement d'entretien, protection, ...).

7.4.3 Espèces cibles

Le tableau qui figure à l'annexe 7.5 présente les espèces retenues pour orienter les mesures de revitalisation. Ces espèces ont été classées selon leur habitat préférentiel. On peut considérer ce tableau comme une sorte de cahier des charges des habitats à reconstituer dans le cadre de la revitalisation en fonction des potentialités hydrauliques, morphologiques et paysagères du site. Toutes les espèces retenues sont des espèces rares ou menacées et il s'agit d'espèces pour lesquelles la région de la Broye porte une responsabilité particulière quant à leur protection.

Suite à la première sélection d'espèces cibles, il a été décidé de se concentrer sur un nombre limité d'espèces choisies pour leur représentativité et leur sensibilité particulière. Des espèces prioritaires ont ainsi été identifiées pour chaque type d'habitat. Elles sont caractéristiques des milieux à protéger et à reconstituer. En fonction de leurs besoins vitaux, des objectifs biologiques ont pu être formulés et traduits en mesures concrètes de revitalisation.

L'accent est volontairement mis sur les espèces des eaux courantes et des milieux humides et alluviaux. Il s'agit :

- du **nase** (espèce prioritaire de l'hyporhitron)
- de l'**agrion éclatant** (espèce prioritaire de l'épipotamon)
- du **crapaud calamite** (espèce prioritaire des alluvions minérales)
- de l'**agrion joli** (espèce prioritaire des plans d'eau permanents)
- de la **rainette verte** (espèce prioritaire des plans d'eau temporaires)
- du **tétrix des vasières** (espèce prioritaire des vasières périodiquement inondées)
- du **rossignol philomèle** (espèce prioritaire des manteaux et fourrés buissonnants)

- du **petit mars changeant** (espèce prioritaire des forêts de bois tendre)
- de l'**orme lisse** et du **loriot d'Europe** (espèces prioritaires des forêts alluviales de bois dur)
- du **castor**, comme espèce « parapluie » de l'écosystème riverain dans son ensemble

Des fiches pour chaque espèce prioritaire sont fournies à l'annexe 7.6. Elles présentent brièvement l'écologie et la biologie de l'espèce, ainsi que son habitat optimal. D'après ces exigences écologiques, des objectifs de renaturation peuvent être déduits et traduits en mesures à réaliser.

7.5 Identification de sites particuliers d'importance

Suite à l'analyse du réseau écologique de la plaine, une carte de synthèse a été élaborée (c.f. Annexe 7.7). Sur cette carte, la synthèse de tous les sous-réseaux est représentée.

A partir de cette analyse une sélection d'objets particuliers a pu être opérée. Il s'agit de sites importants qui ont été retenus car ils jouent un rôle essentiel pour un ou plusieurs sous réseau ou qu'ils exercent une fonction particulière en relation avec leur position au sein du réseau écologique. Ces sites font partie intégrante d'un système fonctionnel formé de plusieurs composantes.

Les plus intéressants d'entre eux ont fait l'objet d'une description détaillée qui figure à l'annexe 7.8. Le hotspot de Payerne n'a toutefois pas été pris en compte pour les raisons évoquées au § 6.2.2.1 p. 47.

Dans les fiches descriptives de l'annexe 7.8, l'état actuel de chaque objet est décrit, de même que ses potentialités. Les mesures de valorisation proposées ne sont pas exhaustives mais constituent uniquement des exemples. Elles sont développées à titre indicatif et devront être étudiées plus en détail dans les prochaines phases d'étude du projet.

Dix sites répartis sur le linéaire de la rivière ont été sélectionnés. Il s'agit de dix sites paraissant les plus intéressants au niveau biologique (présence d'espèce cible ou d valeurs naturelles, emplacements historiques d'anciennes zones alluviales, etc). Ils ont été regroupés en deux catégories. Sept sites comportent des biotopes ou des milieux naturels déjà existants et intéressants qu'il s'agit de valoriser en tant que zones nodales potentielles. Et trois sites relais sont proposés à des endroits stratégiques où des mesures de valorisation ou de création de biotopes peuvent être envisagées pour renforcer le maillage du réseau écologique. Il n'existe pas de norme absolue quand à la localisation ou la distance entre les relais. Toutefois pour assurer le bon fonctionnement du réseau écologique, il est nécessaire que les objets soient raccordés les uns aux autres par une liaison biologique.

Ces exemples de mesures de valorisation n'ont donc du sens que si le maintien et le renforcement du continuum longitudinal de la Broye a lieu. La Broye est la pièce maîtresse de tout le réseau. Ceci implique l'amélioration de la rivière et de ses abords, au minimum, en tant que corridor d'importance régionale. Il est difficile de déterminer la largeur requise à un corridor pour fonctionner, car celle-ci dépend à la fois des espèces visées et de l'environnement traversé. Des valeurs de « gabarit de passage » ont néanmoins été proposées dans le cadre de l'étude du Réseau écologique vaudois (Delarze, 2010). Ces valeurs indicatives sont présentées dans le tableau 34. Elles comprennent le gabarit pour le couloir de passage central, ainsi que l'espace nécessaire aux bandes latérales. Ces bandes latérales jouent le rôle de zones-tampon de manière à éviter que les activités humaines ne perturbent le fonctionnement du couloir de passage.

Corridor d'importance	Largeur du couloir central		Largeur des bandes latérales		Largeur totale	
	minimum	recommandé	minimum	recommandé	minimum	recommandé
Régionale	20	50	2 x 10	2 x 50	40	150

Tableau 34 : Dimensionnement de la liaison biologique régionale selon le Réseau écologique Vaudois établi par R. Delarze (2010)

Le gabarit minimum (40 m) correspond donc au double du gabarit moyen actuel. Ceci implique que la revitalisation de la Broye nécessitera des élargissements sur les terrains attenants si l'on veut garantir le maintien des fonctions écologiques du corridor. Il est toutefois important de rappeler que la largeur du corridor peut être exceptionnellement être réduite en dessous des valeurs minimales mais uniquement sur de très courtes distances (franchissement de route ou de village par ex.).

Ces améliorations du cours d'eau au niveau du lit mineur et majeur et de ses digues, devront être précisées dans des études de détail. Il importait toutefois ici de définir des conditions cadre à remplir pour que le corridor et le réseau soient fonctionnels et d'illustrer par des exemples le type de mesures de valorisation qui pourraient être envisagées.

7.6 Points à compléter et suppléments d'étude proposés

Les points à compléter identifiés dans cette phase du projet et les suppléments d'investigation nécessaires pour la bonne suite de ce dernier ont été réunis dans le tableau ci-dessous.

Sujet	Points à compléter	Suppléments d'investigation proposés
Etude biologique		
Continuum longitudinal de la Broye	Malgré une première sélection de 10 objets particuliers et prioritaires pour une revitalisation (annexe 7.8 : <i>Fiches descriptives des sites d'importance particulière</i>), des améliorations du cours de la Broye pourraient avoir lieu entre ces sites. Ces mesures ponctuelles d'amélioration touchent directement le cours d'eau (le lit mineur et majeur, les digues et le cordon riverain).	Pour élaborer ce catalogue de mesures d'amélioration des investigations détaillées sont nécessaires : visite des secteurs sur le terrain, cartographie des milieux naturels, relevés de l'agencement et de l'interaction des différents éléments naturels sur le site ; également un relevé des contraintes techniques et biologiques. Analyse de l'entretien actuel et des possibilités d'adaptation en faveur de la biodiversité
Objets particuliers	Les mesures de valorisation des objets particuliers (annexe 7.8) sont globales. Elles ne tiennent pas compte des particularités topographiques ou morphologiques des sites	Une étude plus détaillée serait nécessaire pour affiner l'implantation des mesures sur le site (visite de terrain, inventaire floristiques et faunistiques, cartographie des milieux naturels, diagnostic de la qualité des différents éléments naturels, analyse approfondie des variantes)
Plans d'eau et zones humides	Le diagnostic actuel des biotopes humides de la plaine s'est basé uniquement sur les données d'observations floristiques et faunistiques du CRSF et CSCF. Une étude plus détaillée de ces milieux (confirmation de la présence des espèces rares) permettrait de confirmer cette première étape du travail.	Compléments des données d'observations des espèces par des inventaires flore, faune (amphibiens surtout). Et notamment réactualiser les données de présence d'après les observations historiques de la rainette verte et du crapaud calamite dans les tronçons aval de Payerne (Près de Rosex, Ancienne Broye) et sur le site des Chaumières à Lucens. En cas d'absence, analyse des causes de disparition et des mesures potentielles de réhabilitation des biotopes pour favoriser le retour des populations
Ancienne Broye	Si l'ancien tracé de la Broye dans le secteur amont du Pont Neuf devait être remis en eau, un inventaire détaillé du site devrait être entrepris afin d'identifier les éléments naturels de valeur qui devraient être protégés.	Elaborer un relevé précis des éléments naturels à préserver (par ex : arbres remarquables aux diamètres supérieur à 100cm Ø, espèces rares)
Secteur d'élargissement	Certains secteurs d'élargissement sont prévus. La localisation des secteurs est globale (identifiée à large échelle).	Un relevé précis de la configuration des berges est nécessaire de même qu'un inventaire détaillé des valeurs naturelles présentes sur les talus. Ceci permettra de choisir précisément l'implantation de la mesure en évitant les stations d'espèces rares présentes sur les talus (en particulier pour les secteurs proches ou inscrits aux inventaires PPS).
Amont de Moudon à Granges-Marnand	Ces tronçons comportaient historiquement des zones de frayères de nase et de blageon.	Compléter les données historiques acquises en menant des investigations ciblées sur l'écologie du nase et du blageon dans la Broye et identifier des mesures à même de constituer de nouvelles zones de frayères et de développement des juvéniles pour ces espèces au niveau de ces tronçons (type d'écoulement, etc.)
Zone littorale du lac de Morat	Le secteur du littoral du Lac de Morat abrite selon les données du CRSF une station d'orme lisse, ainsi que d'autres espèces peu fréquentes des milieux humides à eaux stagnantes et pionniers (<i>Nymphaeion</i> et <i>Agropyro-Rumicion</i>)	Compléter les données d'observations kilométriques par un inventaire des ormes lisses de la région et un relevé précis de leur localisation, cartographie de l'étendue actuelle de milieux cités et identification des zones potentielles d'extension suite aux mesures de modification de l'embouchure

7.7 Références bibliographiques

- Varidel J. & Bollaert E. (2008), 'Embouchure de la Broye à Salavaux – Etude des mécanismes d'ensablement des rives du lac de Morat', AquaVision Sàrl, Ecublens.
- Bovey M. (2006), 'Ecologie de la Broye : bilan et projets pour Palézieux'. Programme eau 21, Etude globale sur l'importance de l'eau dans la région des Trois-Lacs, Yverdon.
- Gerster S. et Haettel-Borer S., (2006), 'MRP – maladie rénale proliférative', Bureau suisse de conseil pour la pêche (FIBER), Kastanienbaum
- Ghilardi T. (2008), 'Renaturation de la Broye, rapport technique', Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Section de Sciences et Ingénierie de l'Environnement, Lausanne.
- Ghilardi T., Roulier C. (2009), 'Amélioration de la Broye – Bassins à buts multiples', Service conseils Zones alluviales, Yverdon.
- Ghilardi T., Roulier C. (2009), 'Amélioration de la Broye – Génie biologique', Service conseils Zones alluviales, Yverdon.
- Ghilardi T., Roulier C. (2009), 'Amélioration de la Broye – Revitalisation à Villeneuve (FR) ', Service conseils Zones alluviales, Yverdon.
- Kirchofer A. (2004), 'La Broye vivante – Etude conceptionnelle pour la réintroduction du nase (*chondrostoma nasus*) dans la Broye VD/FR', WFN-Wasser Fisch Natur, Gümmenen.
- Maibach A. & al. (2009), 'Notice d'impact sur l'environnement N+P de l'ECF de l'Arbogne à Corcelles-près-Payerne', Oron.
- Maillet Y. (2005), 'Etude de la migration piscicole et du castor sur le cours de la Broye', Avant-projet d'un aménagement piscicole, Ecole d'Ingénieurs de Lullier, Jussy.
- Mavinga P. (2007), 'Protection légale de l'eau : cas concrets de pollution de la Broye', Programme eau 21, Etude globale sur l'importance de l'eau dans la région des Trois-Lacs, Yverdon.
- Monandon M. (2007), 'Patrimoine au fil de l'eau : à la découverte des riches de l'Arbogne', Programme eau 21, Etude globale sur l'importance de l'eau dans la région des Trois-Lacs, Yverdon.
- OFEV, 2005), 'Monitoring du nase (*Chondrostoma nasus*) en Suisse 1995-2004 -Information concernant la pêche n°82', OFEV (éd), l'environnement pratique.
- U., Von Blücher U. & Ledergerber N. (2003), 'Idées directrices – Cours d'eau suisses. Pour une politique de gestion durable de nos cours d'eau', Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Berne
- Pellet J., Maibach A., 2003), 'Revitalisation écologique de la Basse-Broye, Maibach Sàrl.
- Schwarz M. (1998), 'Biologie, Gefährdung und Schutz des Strömers (*Leuciscus souffia*) in der Schweiz', Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Berne
- Vioget P. et Strawczynski A., 2005), 'Pesticides dans les cours d'eau vaudois en 2002, 2003, 2004', Service des eaux, sols et assainissement, Lausanne.
- Zellweger F., Sansonnens C., 'Pré-étude d'aménagement – Canton de Fribourg et Vaud - La Petite Glâne de Cugy (FR) à Constantine (VD) - Entreprise de correction fluviale de Petite Glâne et du Fossé Neuf', Triform SA, Fribourg.

7.8 Annexes

Annexe 7.1 : Ecomorphologie de la Broye et de ses affluents : 1 :120'000

Annexe 7.2 : Description illustrée et détaillée des affluents

Annexe 7.3 : Suivi de la macrofaune benthique : résultats détaillés pour la Broye

Annexe 7.4 : Suivi de la macrofaune benthique : résultats détaillés pour les affluents

Annexe 7.5 : Tableau de synthèse : présentation des espèces cibles par habitat

Annexe 7.6 : Fiches descriptives des espèces prioritaires

Annexe 7.7 : Carte de synthèse des sous-réseaux avec identification des sites d'importance particulière

Annexe 7.8 : Fiches descriptives des sites d'importance particulière

8 Besoins en eau pour l'agriculture

8.1 Introduction

Le Service du développement territorial du canton de Vaud (SDT), en charge du volet agricole, a mandaté le bureau MandaTerre pour la réalisation de ce module. Outre une meilleure gestion des ressources en eau, les résultats de ce travail peuvent également contribuer à nourrir les réflexions en matière d'aides publiques à l'investissement pour les infrastructures d'irrigation.

L'objectif principal du présent volet est de déterminer, par enquête auprès des utilisateurs, les besoins actuels en eau d'irrigation pour l'agriculture dans la Broye et les périmètres concernés. Sur la base des données actuelles, l'étude doit également tenter d'esquisser la situation future, en tenant compte des évolutions climatiques probables et des études menées par ART.

Les paragraphes suivants sont des extraits du rapport réalisé par MandaTerre, le rapport complet est présenté en annexe 9.1.

8.2 Périmètre d'étude

(...)

Cette étude prend en compte les eaux d'irrigation prélevées dans la Broye et ses principaux affluents. Le périmètre d'étude défini avec le Service du développement territorial se limite essentiellement à la plaine de la Broye, dans laquelle se concentrent les surfaces irriguées. Il s'étend pour la Broye de l'embouchure de la Bressone jusqu'au lac de Morat. Le cours de la Petite Glâne a été pris en compte depuis les Moulins de Glâne jusqu'à sa confluence avec la Broye. Pour l'Arbogne, nous avons considéré la section située dans la plaine de la Broye, soit approximativement depuis Montagny jusqu'à son embouchure dans la Broye.

Des prélèvements d'eau ayant aussi été relevés dans la Bressone et la Lembe, ces deux cours d'eau ont été inclus de façon partielle dans cette étude et débordent donc le périmètre initial. Par ailleurs, quelques données collectées concernent des prélèvements d'eau réalisés en dehors du bassin versant de la Broye (communes fribourgeoises de Bas-Vully, Haut-Vully et Autigny).

8.3 Méthode et données recensées

8.3.1 Enquête

Les données de ce rapport proviennent pour la plupart de l'enquête par questionnaire menée directement auprès des agriculteurs irriguant dans le périmètre d'étude (voir annexe 8.2).

Le questionnaire comprend deux parties : la première concerne les infrastructures en place ou projetées ainsi que les évolutions futures au niveau des cultures et des équipements ; la deuxième concerne la situation actuelle et recense les données détaillées culture par culture, à savoir surfaces, fréquences d'irrigation, quantités d'eau utilisées, périodes pendant lesquelles les cultures sont irriguées, etc. Les périmètres irrigués et les lieux de prélèvement habituels de l'eau ont également été inventoriés. De plus, quelques questions ont permis de recenser les préoccupations principales, les facteurs limitants pour l'irrigation et les stratégies d'adaptation ou de gestion envisagées par les agriculteurs interrogés. Les réponses au questionnaire ont été saisies dans une base de données pour permettre leur analyse et mise en valeur. Une représentation cartographique à l'échelle communale permet finalement de visualiser les communes du bassin versant avec les besoins en eau d'irrigation les plus élevés. (...)

De manière à ne pas sous-estimer les besoins réels, diverses valeurs ont été calculées : les besoins actuels recensés sur la base des réponses au questionnaire uniquement, les besoins actuels extrapolés qui incluent également les indications complémentaires fournies par les préposés agricoles quant aux surfaces effectivement irriguées dans les communes étudiées, et les besoins potentiels futurs, qui intègrent certaines hypothèses climatiques et les besoins déterminés par ART.

S'agissant des besoins actuels recensés, les quantités d'eau ont été sommées pour chaque commune en prenant la commune du centre d'exploitation comme référence, étant donné que le recensement a été effectué par culture et non pas par parcelle. La distance entre les diverses parcelles et le centre d'exploitation d'un même agriculteur est en général relativement faible et dépasse rarement la ou les communes voisines. De plus, vu le nombre de communes, les erreurs induites par cette façon de procéder devraient s'équilibrer et rester relativement modestes.

En outre, des vérifications ont dû être effectuées pour un bon tiers des 115 questionnaires retournés, notamment pour préciser les quantités annuelles d'eau utilisées pour les différentes cultures qui n'étaient pas toujours clairement indiquées.

8.3.2 *Méthodologie de répartition des besoins en eau de l'agriculture sur les secteurs de la Broye*

Une répartition des besoins en fonction des secteurs de la Broye a ensuite été réalisée.

Pour rappel, les besoins ont été déterminés par culture et agriculteur et attribués à une commune sur la base de la localisation du siège d'exploitation et non sur la base de la localisation spécifique des parcelles irriguées. Les points précis de prélèvements et les volumes y relatifs ne sont donc pas connus. De fait, c'est la proximité du territoire communal par rapport aux secteurs à l'étude qui a été prise en compte. De cette façon, les besoins en eau extrapolés et futurs (besoins extrapolés + 25%) ont été distribués sur les différents secteurs, différenciant également les différentes sources de prélèvements (Broye ou affluents de la Broye).

Les besoins en irrigation concernant plusieurs secteurs d'étude ont été répartis proportionnellement à la longueur du tronçon de la Broye situé sur le territoire communal. Les prélèvements sur les affluents (Bressonne, Riau Grésin, Lembe, Arbogne, Petite Glâne) ont été totalisés par affluent et rattachés au secteur où l'affluent rejoint la Broye.

Mentionnons finalement qu'au vu du caractère régional de l'étude agronomique, les besoins en eau indiqués par secteur ont pour objectif de mieux distribuer les prélèvements de l'agriculture, mais ne constituent en aucun cas des valeurs précises pour d'éventuels dimensionnements d'ouvrages.

8.4 Résultats

8.4.1 *Périmètres irrigués et infrastructures*

La carte qui suit (figure 35) montre le périmètre d'étude, les communes pour lesquelles au moins une réponse a été reçue, les surfaces indiquées comme irriguées par les personnes ayant répondu au questionnaire, les emplacements habituels des prises d'eau le long des cours d'eau et les éventuelles conduites enterrées. (...) Sur cette carte, les prélèvements sont ponctuels, alors que dans les faits, les pompes mobiles ont des emplacements non définis et peuvent de ce fait être mises en place le long du cours d'eau sur un secteur autorisé, conformément à la concession.

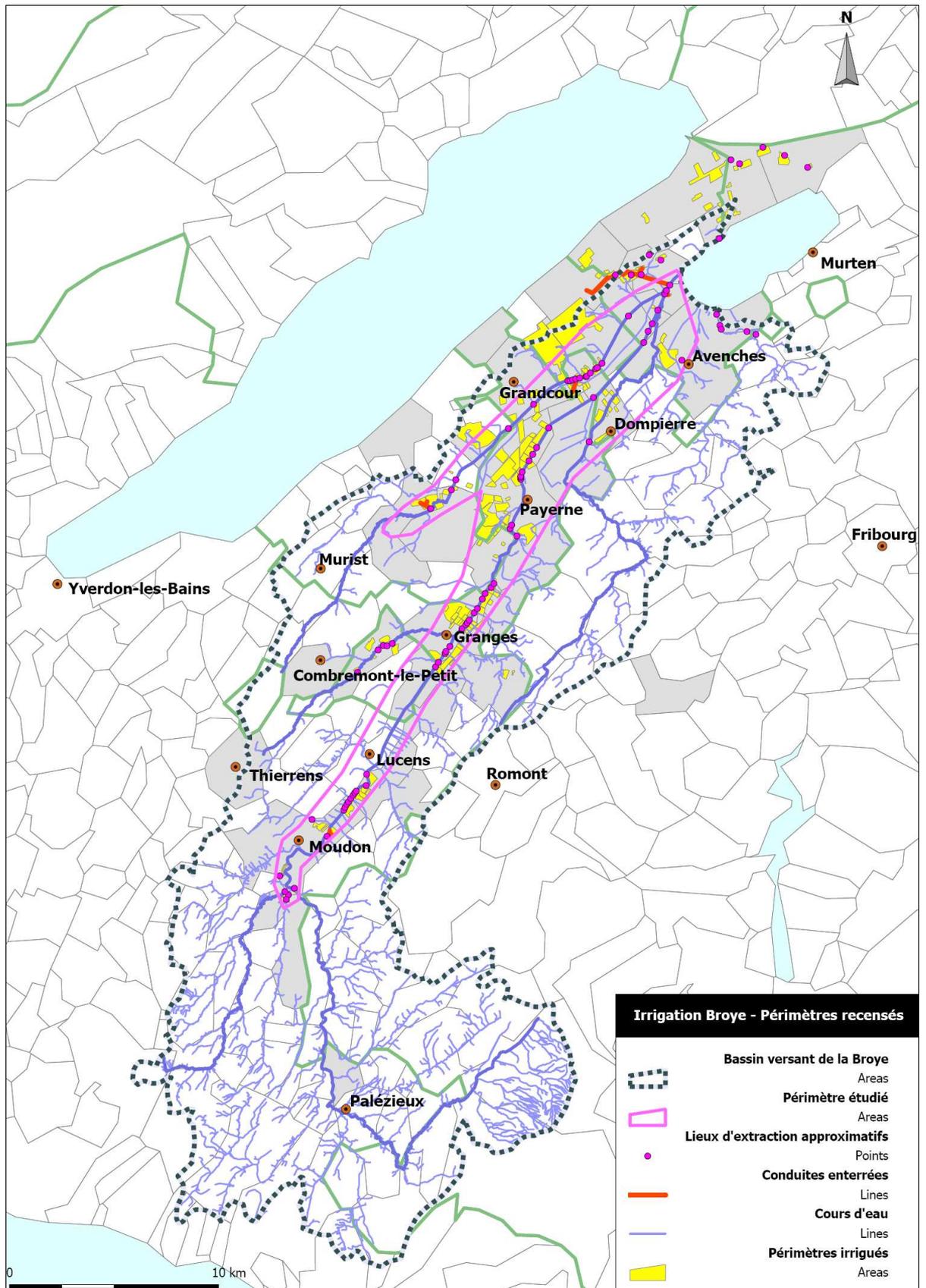


Figure 35 : Carte du périmètre étudié et du bassin versant de la Broye, ainsi que les infrastructures et surfaces relevées ; en gris les communes pour lesquelles au moins une réponse au questionnaire a été enregistrée.

8.4.2 Besoins actuels recensés

8.4.2.1 Besoins par culture

Les besoins actuels recensés comportent uniquement les données indiquées par les agriculteurs ayant répondu au questionnaire. Parfois, les surfaces et cultures irriguées étaient indiquées, mais sans précision des quantités d'eau utilisées. Le cas échéant, une valeur a été calculée sur la base de l'ensemble des données recensées (cf. valeur estimée, annexe 8.3). Les détails des besoins et surfaces recensées par cultures se trouvent dans les annexes 8.3 et 8.6.

CULTURE	Surface [ha]	[m3/an]	[m3/(ha*an)]
Pommes de terre	344	304590	885
Maïs	159	96530	607
Tabac	150	93430	623
Betteraves sucrières	104	53440	514
Légumes plein champs	47	39780	846
Maraîchage/Horticulture sous abri	12	53250	4438
Betterave fourragère	5	1450	290
Herbe	9	2300	256
Arbres fruitiers	2	2000	1000
Céréales	11	3300	300
Colza	2	300	150
Luzerne	4	200	50
Plants de pommes de terre	2	500	250
Semis fourrager	6	2000	333
Tournesol	3	1800	600
Total/moyenne	860	654870	761

Tableau 35 : Besoins annuels en eau d'irrigation des différentes cultures (besoins actuels recensés)

Sur l'ensemble du périmètre étudié, les besoins recensés couvrent une surface de 860 hectares et représentent un volume annuel d'environ 655'000 m³. (...)

La figure 36 illustre les besoins relatifs annuels en eau par culture. La pomme de terre représente plus de 46% des besoins, suivie par le maïs et le tabac (près de 15% chacun), les betteraves sucrières (plus de 8%), le maraîchage et l'horticulture sous abri (plus de 8% aussi) et la culture de légumes en plein champs (6%). Les autres cultures sont pour ainsi dire négligeables, puisqu'elles ne représentent qu'environ 2% des besoins.

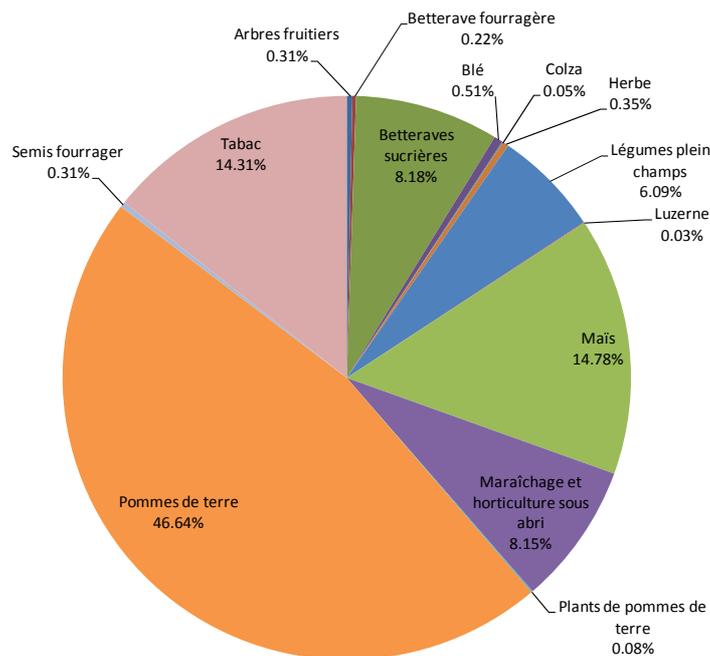


Figure 36 : Part des différentes cultures dans les besoins en eau d'irrigation totaux (besoins actuels recensés)

(...)

Nous avons demandé aux agriculteurs quelles cultures ils souhaiteraient irriguer, et sur quelle surface, s'il n'y avait aucun facteur limitant (quantité d'eau disponible, infrastructure, moyens financiers). Les valeurs indiquées sont assez proches des cultures et des surfaces actuellement irriguées. D'après les réponses, les agriculteurs souhaiteraient irriguer 134 ha de plus (+15.6%), notamment le maïs (+ 52 ha), la pomme de terre (+ 18 ha), les légumes de plein champ (+ 16 ha) et les betteraves sucrières (+13 ha), les autres cultures représentant entre 2 et 7 ha. Pour le tabac en revanche, la surface souhaitée est inférieure à la surface irriguée (-50 ha).

Si l'on se réfère aux périmètres irrigués, 30 agriculteurs souhaiteraient augmenter la surface (+ 238 ha).

Les **besoins annuels par culture et par ha** du tableau 35 est une estimation simple basée sur les surfaces et besoins totaux recensés. Des données plus précises sur les quantités moyennes et maximales utilisées pour chaque culture figurent dans l'annexe 8.3. Pour l'ensemble des surfaces recensées et toutes cultures confondues, les besoins annuels moyens sont de 761 m³/ha*an. Déduction faite des cultures sous abri, les besoins annuels moyens sont de 710 m³/ha*an. Ces valeurs correspondent aux quantités d'eau moyennes utilisées par les agriculteurs. Compte tenu du fait que la quantité d'eau disponible est le principal facteur limitant pour près de deux agriculteurs sur trois, il n'est pas exclu que les besoins moyens des cultures soient en réalité plus élevés.

Le tableau de l'annexe 8.3 montre que l'utilisation d'eau par hectare et par année pour les différentes cultures peut être très variable selon les agriculteurs, notamment si l'on compare les valeurs moyennes et maximales. Pour le maraîchage et l'horticulture sous abri, par exemple, la consommation varie entre 1'500 à 30'000 m³/ha*an environ, soit d'un facteur 20. Des écarts relativement importants sont également enregistrés pour la pomme de terre, le tabac et les légumes de plein champ.

(...)

8.4.2.2 Besoins par commune et par ressource

Les données détaillées relatives aux besoins recensés par commune avec mention de la source figurent dans les annexes 8.4 à 8.6.

La figure 37 montre que les valeurs varient beaucoup entre commune, y compris dans un même secteur. Les besoins des communes de Payerne et de Corcelles-près-Payerne, par exemple, diffèrent d'un facteur 100, alors que ces communes ont une topographie et un profil de cultures similaires. Cette différence s'explique par le nombre de questionnaires reçus en retour pour ces deux communes, à savoir 14 pour Payerne et seulement 2 pour Corcelles-près-Payerne (cf. dernière colonne de l'annexe 8.4).

Les informations récoltées ont aussi permis d'attribuer les besoins aux différentes sources disponibles, à savoir les cours d'eau, les étangs, les sources, les puits, les lacs et les divers réseaux d'eau des communes (tableau 36).

Source (besoins recensés)	Moy. [m3/an]	Max. [m3/an]	Moy. [ha/an]
Total Broye	354570		510.5
Broye (amont Lembe)	48180	58180	-
Broye (Lembe-Payerne)	243450	262900	-
Broye (Payerne-Lac)	62940	72370	-
Petite Glâne	188700		203.0
Réseau communal	34100	42400	21.3
Puits/Source	24300		5.3
Lac	12340	18280	29.0
Glâne	11650	17400	15.5
Arbogne	8000	16000	17.0
Etang artificiel/naturel	5580		12.0
Etang artificiel	5100		7.0
Lembe (ou Lembaz)	4680	6720	17.0
Inconnues (prob. réseau communal)	4000	8000	3.8
Canal de la Broye	1300		2.7
Riau Gresin (affluent de la Broye)	300	600	1.0
Bressonne	250		0.1

Tableau 36 : Besoins recensés par source d'eau, sont indiqués les surfaces irriguées en hectares et les besoins en m³/an

Les deux principales sources d'eau pour l'irrigation sont la Broye au milieu de la plaine et la Petite Glâne plus au nord. Ces cours d'eau couvrent environ 83% des besoins en eau recensés dans la zone d'étude, respectivement un peu plus de 84% des surfaces irriguées. Avec environ 13'000 m³/an, les prélèvements réalisés dans les cours d'eau situés en dehors du bassin versant de la Broye (Glâne et Canal de la Broye) représentent moins de 2% des besoins totaux recensés.

Il est intéressant de noter que les réseaux communaux sont le 3^{ème} fournisseur en eau pour l'irrigation, ceci principalement à cause de la grande consommation d'eau des cultures maraîchères. En effet, ces cultures nécessitent une eau de qualité irréprochable, les denrées produites étant directement destinées à la consommation humaine. Quelques surfaces de pommes de terre sont aussi irriguées à partir de réseaux communaux (annexe 8.6).

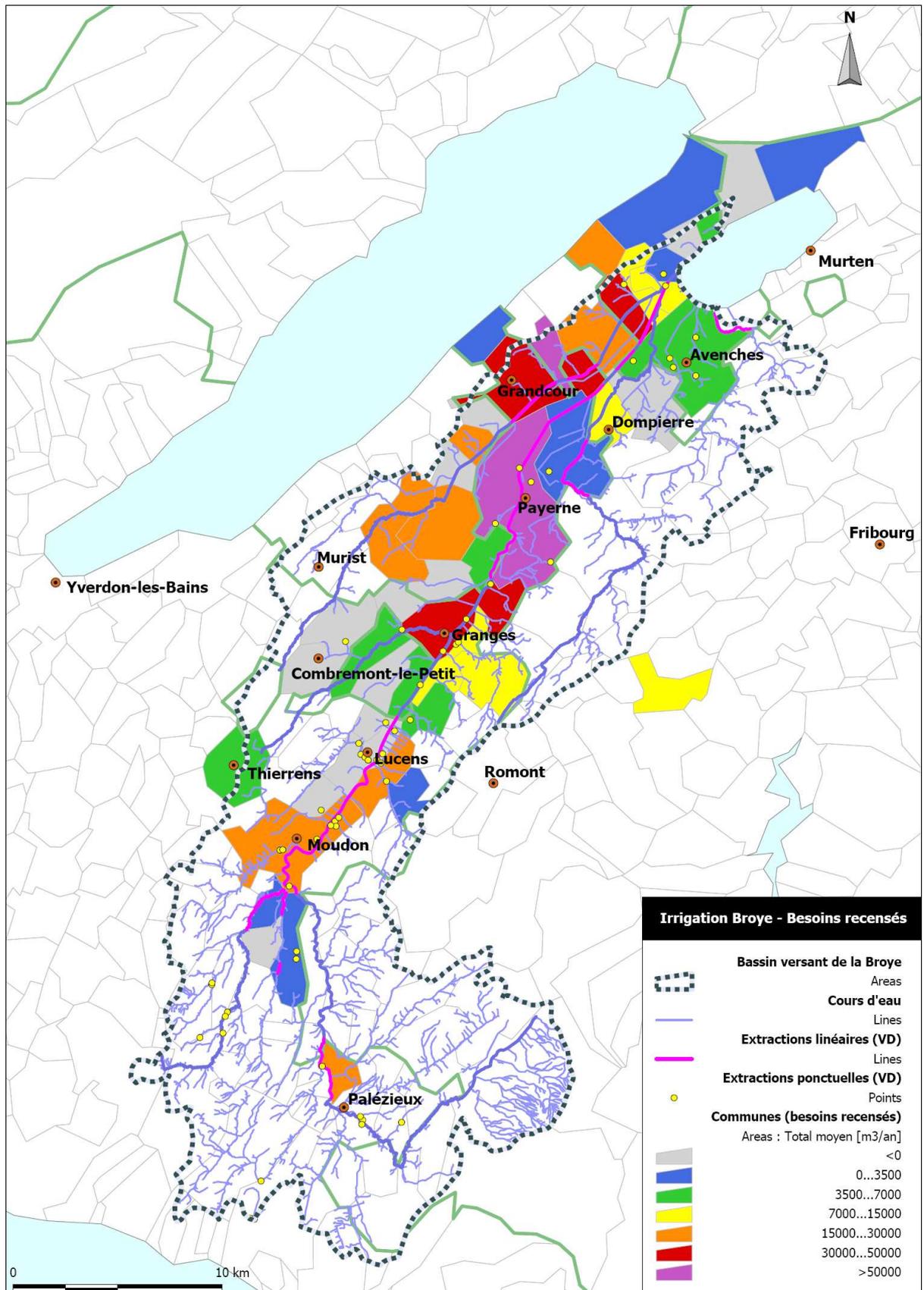


Figure 37 : Carte des besoins recensés pour chaque commune, indépendamment des sources d'eau, les lieux d'extraction définis sur cette carte proviennent de la base de données GESREAU du SESA

L'analyse des différents secteurs sur la Broye indique que l'essentiel des besoins recensés se trouvent sur la partie de la Broye comprise entre l'embouchure de la Lembe et Payerne, principalement en raison des besoins très importants recensés pour la commune de Payerne – un peu moins de 143'000 [m³/an] – qui représentent plus de la moitié des presque 250'000 [m³/an]. Précisons que ces valeurs se basent uniquement sur les données des questionnaires retournés et sont de ce fait inférieures à l'utilisation réelle. Il n'est malheureusement pas possible de lier avec précision les besoins extrapolés présentés au chapitre suivant à une source définie (et encore moins les besoins futurs), la ressource étant mentionnée par les agriculteurs et liée à la culture.

8.4.2.3 Systèmes d'irrigation

Le tableau 37 indique le nombre d'occurrences des divers systèmes utilisés pour l'irrigation des cultures recensées.

Système	Nombre
Aspersion (Canon)	133
Rampe d'arrosage	9
Micro-irrigation (goutte-à-goutte)	7
Gravitaire	1

Tableau 37 : Systèmes d'irrigation recensés

Le système d'aspersion avec un canon est de loin le système le plus répandu. Les autres systèmes sont réservés à l'irrigation des cultures maraîchères et horticoles sous abri (micro-irrigation et gravitaire) ou aux légumes de plein champ (rampe d'arrosage).

Une cinquantaine d'agriculteurs disposent d'un système de conduites souterraines pour acheminer l'eau, le plus souvent pour une partie de leurs surfaces et conjointement à un système temporaire.

8.4.3 Besoins actuels extrapolés

Afin de déterminer de manière plus exhaustive les besoins actuels, les surfaces indiquées par les agriculteurs ont été vérifiées et complétées au besoin par des préposés agricoles ou estimées sur plan. Les besoins des surfaces complémentaires ont ensuite été calculés proportionnellement aux besoins recensés dans les différentes communes.

Dans les quelques cas où seul un maraîcher avait répondu au questionnaire, les besoins pris en compte ont été revus à la baisse pour tenir compte des besoins plus restreints des autres cultures (un facteur d'au moins 10 sépare les besoins des cultures sous abri des autres types de cultures). Une récapitulation des besoins et surfaces ainsi extrapolés pour chaque commune, avec mention de la source des informations supplémentaires se trouve à l'annexe 8.8.

Avec un volume annuel de 1'134'400 m³ et une surface irriguée de 1'377 hectares, les besoins actuels extrapolés sont supérieurs d'environ 60%, en termes de surface, et de 73%, en termes de volume, aux besoins actuels recensés par questionnaire. Les disparités entre communes voisines, particulièrement entre Payerne et Corcelles-près-Payerne, ont ainsi pu être corrigées, ce qu'illustre la carte de la figure 38 (même échelle que la carte des besoins recensés). Toutes cultures confondues, les besoins annuels moyens extrapolés sont de 824 m³/ha*an, soit 63 m³/ha*an de plus que la valeur moyenne des besoins annuels recensés. Cette différence est due aux opérations d'extrapolation et explique l'augmentation relative plus importante des volumes par rapport aux surfaces.

En partant des besoins annuels par ha des différentes cultures indiqués au tableau 35, les 1'158'200 m³ permettraient de couvrir les besoins annuels de la totalité de la surface de pomme de terre (577 ha), de légumes de plein champ (75 ha), et de cultures sous abri (12 ha) indiqués dans l'annexe 8.7, ainsi que 50% de la surface de tabac (157 ha), 20% de la surface de maïs (415 ha) et 20% de la surface de betteraves sucrières (322 ha), soit 1557 ha au total.

A titre de comparaison, la surface totale des périmètres irrigués indiqués sur la figure 35 atteint 2'654 ha. Ces périmètres ne correspondent pas à la surface irriguée, mais représentent les zones où se trouvent les *cultures* irriguées annoncées par les agriculteurs. En considérant uniquement les 11 plus grands périmètres (plus de 50 ha), la surface des périmètres dépasse de 1'101 ha la surface effective des cultures actuellement irriguées dans ces mêmes périmètres.

Ainsi, les données extrapolées paraissent être un assez bon reflet de la réalité. En effet, les préposés disposent d'une bonne connaissance du terrain et leurs informations peuvent de ce fait être qualifiés de fiables. De plus, les besoins complémentaires ont été déterminés sur la base des données recensées sur la commune en question et prennent ainsi en compte les spécificités locales, comme les cultures majoritaires sur la commune. **Ce sont donc plutôt les valeurs extrapolées qui doivent être prises en compte pour l'évaluation des besoins actuels en eau d'irrigation.**

Bien que les ressources soient liées aux cultures et ne sont pas connues directement pour les besoins extrapolés, nous avons estimé les sources d'eau des besoins extrapolés en pondérant, à l'échelle communale, les sources d'eau des besoins moyens recensés (tableau 38).

Source (besoins extrapolés)	Moy. [m ³ /an]
Total Broye	640900
Broye (amont Lembe)	92175
Broye (Lembe-Payerne)	293611
Broye (Payerne-Lac)	255117
Petite Glâne	242000
Réseau communal	75950
Puits/Source	24570
Lac	15120
Glâne	15100
Arbogne	11800
Etang artificiel/naturel	11240
Etang artificiel	16550
Lembe (ou Lembaz)	5500
Inconnues (prob. réseau communal)	6990
Canal de la Broye	43360
Riau Gresin (affluent de la Broye)	320
Bressonne	25000

Tableau 38 : Besoins moyens extrapolés par source d'eau

Avec un volume total de 925'523 m³/an, la Broye et ses affluents constituent 81.6% des besoins extrapolés. Sous l'influence, entre autres, de la forte augmentation des besoins de Corcelles-près-Payerne¹³, les besoins du tronçon à l'aval de Payerne passent de 62'940 m³/an (9.6% des besoins recensés) à 255'117 m³/an (22.5% des besoins extrapolés).

¹³ Les besoins extrapolés de Corcelles-près-Payerne ont été attribués entièrement à la Broye, par analogie aux données recensées. En réalité, des prélèvements sont également réalisés dans l'Arbogne et dans le réseau. Selon une estimation grossière, les prélèvements sont réalisés pour 30% dans la Broye, 30% dans l'Arbogne et 40% au puits de la Vernaz.

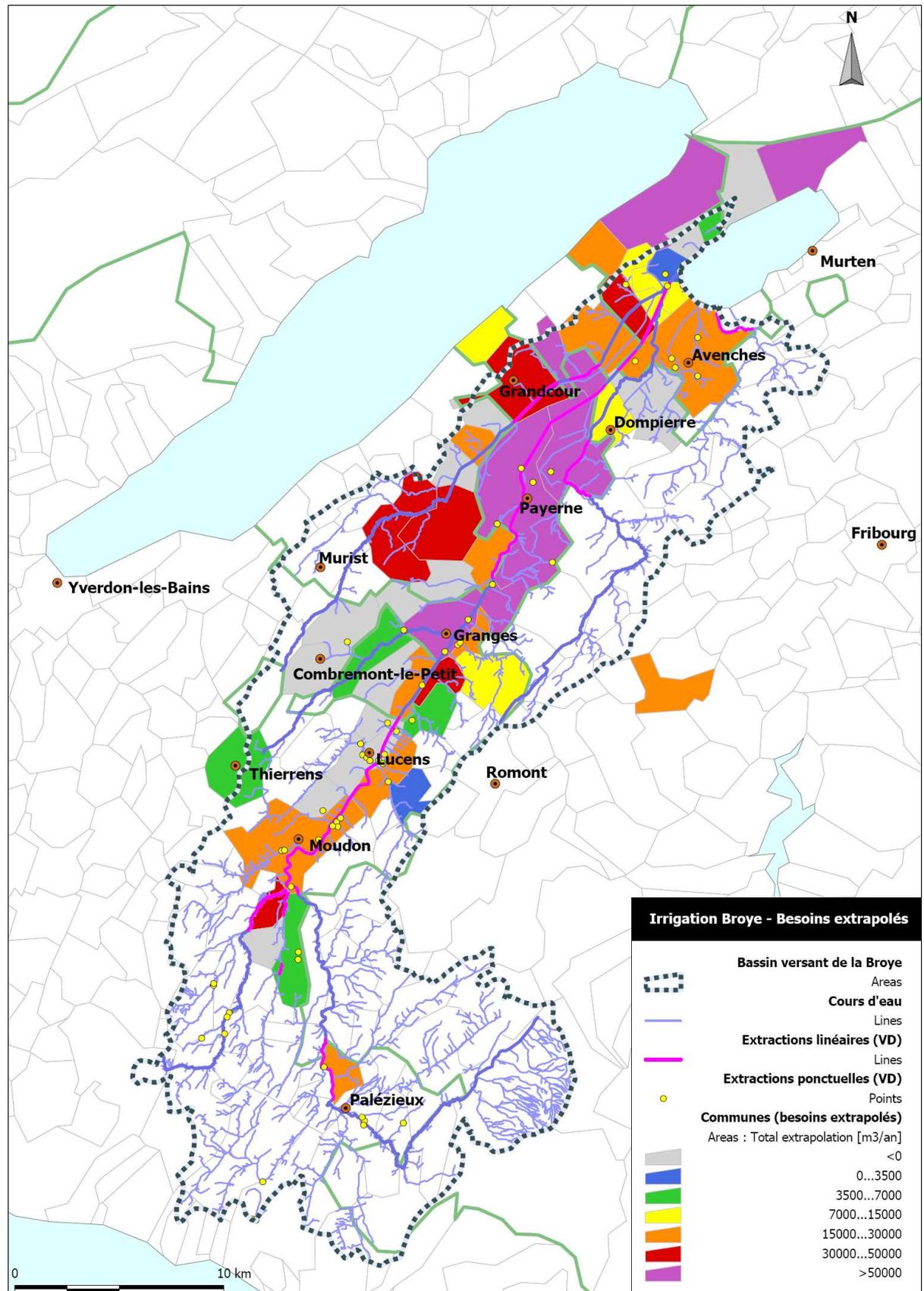


Figure 38 : Carte des besoins actuels extrapolés en [m³/an] ; les lieux d'extraction proviennent de la base de données GESREAU du SESA

8.4.4 Besoins futurs

8.4.4.1 Besoins futurs selon les réponses des agriculteurs

Nous avons demandé aux agriculteurs qu'elles sont les autres cultures qu'ils prévoient d'irriguer à un horizon de 10 à 15 ans ou, au contraire, qu'elles sont les cultures dont l'irrigation seraient diminuées ou abandonnées. Le tableau ci-dessous recense les réponses des agriculteurs.

Cultures	Augmentation des besoins		Diminution des besoins	
	Occurrences	Surface (ha)	Occurrences	Surface (ha)
Arbres fruitiers	1	0		
Betteraves sucrières	9	55	1	8
Blé	5	45		
Herbe	3	30		
Légumes plein champs	7	52		
Luzerne	1	6		
Maïs	8	52		
Maraîchage/hort. sous abri	2	1		
Pommes de terre	8	41	5	25
Semis fourrager	2	5		
Tabac	1			
Total	47	287	6	33

Tableau 39 : Evolution des cultures et des surfaces irriguées à un horizon de 10 à 15 ans selon les réponses au questionnaire

Une cinquantaine d'agriculteurs ont une idée de l'évolution probable de l'irrigation sur leur exploitation. Le bilan représente une augmentation des surfaces irriguées de 254 ha, soit une augmentation de l'ordre de 30% par rapport à la surface irriguée recensée (860 ha). En sus des cultures traditionnellement irriguées (sarclées et légumes), une dizaine d'agriculteurs envisagent d'irriguer davantage de blé ou de prairies. Il est difficile de dire si ces besoins futurs incluent ou non les surfaces supplémentaires souhaitées dans l'immédiat si la ressource ou l'infrastructure n'était pas limitant.

S'agissant des périmètres irrigués, 29 agriculteurs prévoient d'agrandir leur périmètre pour une surface supplémentaire totale de 282 ha, soit une augmentation d'environ 10% par rapport à la surface des périmètres recensés (45 agriculteurs envisagent d'irriguer sur le même périmètre).

Ces chiffres, surtout les valeurs absolues, doivent être pris avec précaution. Pour rappel, un tiers des agriculteurs n'ont pas répondu au questionnaire. En outre, plus de la moitié des agriculteurs n'ont pas pu donner de réponse quant aux évolutions futures d'ici 10 à 15 ans. Il ressort de leurs commentaires que les incertitudes liées aux évolutions de la politique agricole et des prix du marché font que la réflexion se limite généralement à la durée d'une période de rotation, soit à un horizon de 3 à 4 ans.

8.4.4.2 Besoins futurs potentiels

Les prévisions climatiques pour la Suisse font état d'une diminution des précipitations estivales – c'est-à-dire durant la période de végétation – de l'ordre de 20%, d'une augmentation des températures d'environ 5°C, d'une augmentation de la fréquence des événements extrêmes et de la durée moyenne des sécheresses. Le déficit hydrique dont souffrent déjà certaines cultures à l'heure actuelle sera de ce fait encore accru. En effet, des températures plus élevées augmentent l'évapotranspiration des plantes et donc leurs besoins en eau, et ces besoins ne seront plus aussi bien couverts par les précipitations naturelles, ce qui devrait augmenter les besoins en eau d'irrigation si l'on souhaite maintenir les rendements actuels.

Afin d'intégrer ces perspectives dans une évaluation des besoins futurs en eau d'irrigation, un scénario incluant l'ensemble des surfaces potentiellement irrigables avec des besoins majorés de 25% a été évalué pour l'ensemble des communes.

Dans ce scénario, une surface a été considérée comme potentiellement irrigable, si elle est non boisée, au plus à une cinquantaine de mètres au dessus du niveau de l'eau et à topographie plane, étant donné que les terrains en pente ne se prêtent pas à l'irrigation par aspersion telle que pratiquée dans la plaine de la Broye. Les obstacles constitués par les routes à fort trafic ou les infrastructures ferroviaires, qui actuellement sont rarement franchis avec des installations temporaires (pompes mobiles et tuyaux posés en surface), n'ont pas été pris en compte dans ce scénario. En effet, la création d'un réseau de distribution enterré pourrait très bien passer outre ces barrières et permettre l'irrigation des terrains situés de l'autre côté. Les surfaces répondant à ces critères ont été mesurées sur plan et la surface totale déterminée pour chaque commune. Si possible, cette valeur de surface a été discutée avec le préposé agricole.

Vu qu'il est difficile de prévoir quelles cultures seront cultivées dans un avenir lointain et dans quelles proportions, une consommation moyenne d'eau par hectare et par année a été calculée pour la situation actuelle et majorée de 25%. Ainsi, les besoins annuels par hectare pris en compte pour la situation future passent de 800 à 1'000 m³.

Comme pour les deux calculs précédents (données recensés et extrapolés), les besoins ont été déterminés pour chaque commune et représentés sur une carte (figure 39). Les valeurs obtenues étant largement supérieures aux valeurs précédentes, principalement à cause de l'augmentation considérable des surfaces, l'échelle a été modifiée afin de rendre cette carte plus lisible. En effet, la valeur maximale des besoins futurs passe de près de 150'000 à 700'000 m³/an pour la seule commune de Payerne.

Pour l'ensemble des communes étudiées, cela représente des besoins en eau d'irrigation de 7'640'000 m³/an, pour une surface potentiellement irrigable de 7'640 hectares. Selon le recensement 2009 des communes concernées, cette surface correspond à la totalité de la surface de sarclées de printemps et de cultures spéciales (environ 5'000 ha) et à 40% de la surface de céréales et de colza (6'250 ha). L'ensemble des résultats pour chaque commune se trouve à l'annexe 8.9, qui inclut aussi des remarques concernant la détermination des surfaces potentielles (source des informations, éventuels commentaires du préposé).

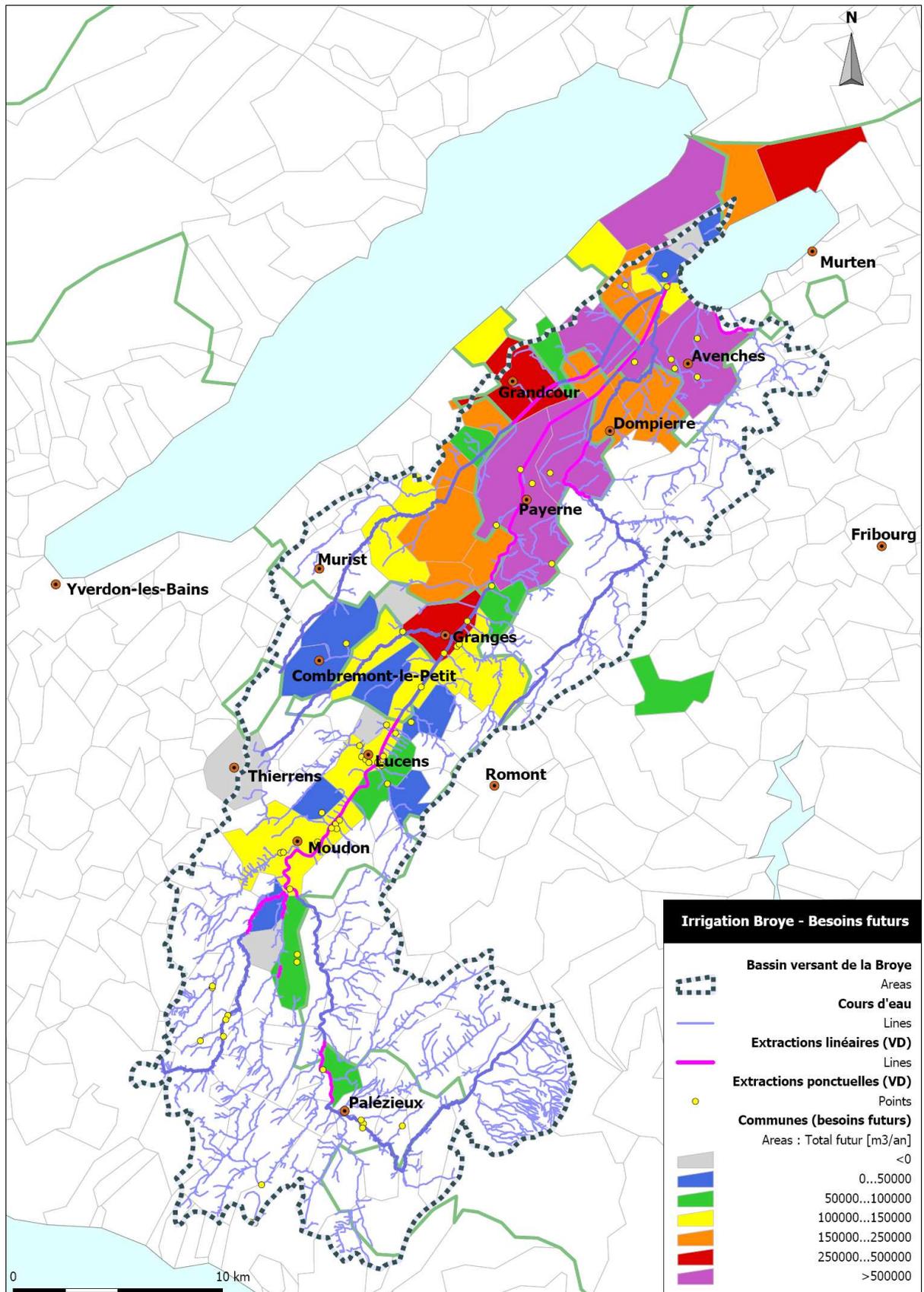


Figure 39 : Carte des besoins futurs en [m³/an] ; pour cette carte, il a été supposé que l'ensemble des surfaces potentiellement irrigables sont irriguées et que les besoins sont 25% plus hauts qu'aujourd'hui, soit environ 1000 [m³/(ha*an)] au lieu de 800 [m³/(ha*an)]

8.4.5 Récapitulatif et comparaison des besoins

Le tableau 40 ci-dessous récapitule et compare les surfaces irriguées et les besoins en eau déterminés pour les trois situations décrites dans ce rapport. La différence entre les trois situations est assez importante. En comparaison avec les surfaces irriguées extrapolées, on passe de 62% pour la surface recensée à 560% pour la surface potentiellement irrigable dans le futur. Traduits en volume, les besoins relatifs passent de 58% à 673%.

Recensés :		Extrapolés :		Futurs :	
Somme	656870 [m3/an]	Somme	1134400 [m3/an]	Somme	7640000 [m3/an]
Somme	860 [ha]	Somme	1377 [ha]	Somme	7640 [ha]
en % m3/an	58 [%]	en % m3/an	100 [%]	en % m3/an	673 [%]
en % surf.	62 [%]	en % surf.	100 [%]	en % surf.	555 [%]

Tableau 40 : Récapitulatif des besoins en eau et des surfaces irriguées recensés par questionnaire, estimés et futurs

(...)

8.4.6 Comparaison entre les besoins et les débits en amont de Payerne

8.4.6.1 Démarche retenue

(...) L'analyse se base sur les débits mesurés à la station de Payerne, la seule existant sur l'ensemble du bassin versant de la Broye. La comparaison porte donc sur les besoins calculés en amont de cette station, y compris les besoins de la commune de Payerne¹⁴.

Chacun des besoins décrits dans les chapitres précédents (recensés, extrapolés, futurs potentiels) sont distribués sur les mois de l'année et comparés à différentes valeurs de débits (valeurs moyennes ou minimales). En complément des besoins futurs potentiels, deux autres scénarios futurs en outre ont été construits (Futur 1, 2 et 3).

Les scénarios « Futurs 1 et 2 » ne se différencient pas au niveau des besoins en eau ; dans les deux cas, les besoins se basent sur la *surface potentiellement irrigable* des communes en amont de Payerne. Dans les deux cas, les besoins annuels moyens par hectare irrigué supèrent de 25% les besoins extrapolés (1'000 au lieu de 800 m³/an*ha), conformément aux calculs de la situation future potentielle analysée sur l'ensemble du périmètre d'étude dans le chapitre 8.4.4. La différence entre les deux scénarios se situe au niveau des débits de la Broye. Pour le scénario « Futur 1 », les débits de la Broye sont considérés comme identiques à ceux mesurés ; le scénario « Futur 2 » prend en compte une diminution des débits de la Broye de 20%. En effet, comme précisé précédemment, les prévisions climatiques pour la Suisse annoncent des diminutions des précipitations de l'ordre de 20% durant la période estivale, lesquelles ont été retranchées des débits mesurés, la Broye ayant un régime principalement pluvial. Le scénario « Futur 3 » prend en compte les *surfaces extrapolées*, des débits de la Broye réduits de 20% et des besoins majorés de 25% afin d'intégrer les hypothèses climatiques à l'horizon 2050.

Enfin, chaque comparaison spécifique entre besoins et débits est réalisée selon deux variantes de débit (débit mesuré et « naturel »). En effet, il n'existe aucun calcul de débit corrigé estimant le débit « naturel » sans les prélèvements. En plus du débit mesuré, nous avons donc calculé une variante qui part du principe que les volumes prélevés par l'agriculture en amont de Payerne font partie des volumes

¹⁴ Aucun affluent notable ne se jette dans la Broye sur le territoire communal. Ainsi, à la sortie des limites communales, le débit de la Broye est à peu près identique à celui de la station de mesure.

qui auraient été mesurés à Payerne s'ils n'avaient pas été soustraits au cours d'eau par pompage ; les besoins recensés ou extrapolés¹⁵ ont de ce fait été ajoutés aux débits mesurés dans la Broye.

Les deux approches présentent des inconvénients. Alors que la première induit une surestimation de l'influence des pompages agricoles sur les débits du cours d'eau (sauf en période d'interdiction), la deuxième peut, dans des situations de débits très faibles mesurés à Payerne, rajouter artificiellement de l'eau aux volumes effectivement présents dans la Broye, puisqu'elle suppose que tout ou partie des volumes calculés pour les besoins agricoles sont couverts par les débits que peut offrir le cours d'eau, ce qui n'est pas toujours le cas en période d'étiage, notamment en période de restrictions de pompage.

Scénario	Besoins en amont de Payerne	Débits à Payerne	
		Variante 1 (débit mesuré)	Variante 2 (débit «naturel»)
Recensés	Besoins actuels recensés	Débits mesurés*	Débits mesurés* + besoins recensés
Extrapolés	Besoins actuels extrapolés	Débits mesurés*	Débits mesurés* + besoins extrapolés
Futur 1	Besoins futurs potentiels	Débits mesurés*	Débits mesurés* + besoins extrapolés
Futur 2	Besoins futurs potentiels	Débits mesurés* -20%	Débits mesurés* - 20% + besoins extrapolés
Futur 3	Besoins actuels extrapolés + 25%	Débits mesurés* -20%	Débits mesurés* - 20% + besoins extrapolés

* Débits mesurés : une valeur moyenne et trois de valeurs minimales pour chaque situation

Tableau 41 : Récapitulatif des scénarios et des principaux paramètres retenus pour les comparaisons

8.4.6.2 Besoins en amont de Payerne

Le tableau 42 présente les besoins en irrigation des communes situées sur le cours de la Broye ou des affluents rejoignant la Broye en amont de Payerne. Par rapport aux données de l'ensemble du périmètre étudié (tableau 40), les différences relatives entre les trois situations sont plus faibles. En effet, les surfaces recensées représentent environ 76% des surfaces extrapolées et les surfaces potentiellement irrigables environ 511% (respectivement 76% et 379% pour les volumes).

Recensés :		Extrapolés :		Futurs :	
Somme	384300 [m3/an]	Somme	542600 [m3/an]	Somme	2771600 [m3/an]
Somme	500 [ha]	Somme	660 [ha]	Somme	2500 [ha]
Calcul moy.	750 [m3/an*ha]	Calcul moy.	800 [m3/an*ha]	Calcul moy.	1000 [m3/an*ha]
en % m3/an	70.8 [%]	en % m3/an	100 [%]	en % m3/an	510.8 [%]
en % surf.	75.8 [%]	en % surf.	100 [%]	en % surf.	378.8 [%]
en % m3/ha	93.8 [%]	en % m3/ha	100 [%]	en % m3/ha	125 [%]

Tableau 42 : Récapitulatif des surfaces irriguées et besoins en eau pour le bassin versant de la Broye en amont de Payerne

À partir des informations sur les périodes d'irrigation obtenues par questionnaire, les besoins recensés ont pu être distribués sur les divers mois de l'année ; pour déterminer les besoins mensuels extrapolés et futurs, ces valeurs ont ensuite été pondérées sur la base des valeurs relatives des besoins totaux du tableau 42. Les résultats se trouvent dans le tableau 43.

¹⁵ Pour tous les scénarios futurs, ce sont les besoins extrapolés qui ont été ajoutés aux débits mesurés. Cela n'a en effet pas de sens d'ajouter des besoins futurs hypothétiques à des débits mesurés.

Besoins :	Recensés	Extrapolés	Futur 1+2	Futur 3
Mois	[m3/mois]	[m3/mois]	[m3/mois]	[m3/mois]
Janvier	100	200	800	250
Février	100	200	800	250
Mars	500	800	3700	1000
Avril	4300	6100	31100	7625
Mai	34400	48600	248100	60750
Juin	106000	149500	764300	186875
Juillet	172300	243000	1242300	303750
Août	64000	90300	461500	112875
Septembre	2200	3200	15900	4000
Octobre	200	300	1500	375
Novembre	100	200	800	250
Décembre	100	200	800	250
Année	384300	542600	2771600	678250

Tableau 43 : Besoins mensuels en eau pour les divers scénarios, d'après les données recensées, extrapolées et futures

8.4.6.3 Débits à Payerne

Les débits de la Broye sont mesurés quotidiennement à Payerne et publiés sous forme de moyennes journalières (débits journaliers), mensuelles ou annuelles (données hydrologiques de l'OFEV). Pour les comparaisons, diverses valeurs de débit ont été utilisées :

- « **Moyenne** » : il s'agit du débit moyen mensuel depuis le début des mesures (1921-2007, trouvé dans Ghilardi 2008);
- « **Moyenne 10** » : cette valeur est obtenue en calculant la moyenne des débits journaliers les plus bas de chaque mois sur les dix dernières années;
- « **Minimum 10** » : il s'agit du débit journalier le plus bas mesuré pour un mois donné lors de ces dix dernières années;
- « **Minimum** » : il s'agit du débit journalier le plus bas mesuré pour un mois donné depuis le début des mesures (= worst case).

Ces différentes valeurs de débits en [m³/s] à la station de Payerne sont présentées dans le tableau 44. Le détail des débits moyens journaliers minimaux de ces dix dernières années figure à l'annexe 8.10.

Mois	Moyenne	Moyenne 10	Minimum 10	Minimum	Année du min.
Janvier	10	3.29	2	1.1	1942
Février	11	4.04	1.59	1.41	1972
Mars	11.6	4.63	2.96	1.36	1921
Avril	9.2	4.53	2.38	1.34	1946
Mai	6.4	3.26	1.73	1.05	1934
Juin	6	2.4	0.96	0.52	1945
Juillet	4.5	1.75	0.56	0.19	1945
Août	4.2	1.64	0.36	0.11	1945
Septembre	5.2	1.72	0.74	0.44	1945
Octobre	6.5	2.06	0.99	0.6	1945
Novembre	9	3.11	1.08	0.76	1921
Décembre	9.8	3.15	1.07	0.76	1921
Année	7.8	3	1.4	0.8	-

Tableau 44 : Débits mesurés à la station de Payerne en [m³/s]. En rouge, les valeurs proches ou inférieures au Q_{min} (0.516 m³/s)

8.4.6.4 Comparaison entre besoins et débits

Le résultat détaillé des comparaisons entre les débits moyens de la Broye et les besoins pour l'irrigation se trouve dans l'annexe 8.11, sous forme de tableau et de graphiques.

Il ressort de cette comparaison, qu'en prenant en compte les **valeurs moyennes mensuelles**, la Broye peut supporter les charges de pompage dans tous les cas de figure envisagés, y compris dans les scénarios futurs. En effet, dans le pire des cas – c'est-à-dire pour le scénario « Futurs 2 » et au mois de juillet, quand les besoins sont au plus haut et les débits au plus bas – les pompages représenteraient entre 13.1% et 13.4% des volumes fournis par la Broye selon la variante. (...)

Convertis en débits journaliers, les besoins extrapolés et futurs se situent entre 0.1 et 0.5 m³/s au mois de juillet alors que le débit moyen du mois de juillet est de 4.5 m³/s (3.8 m³/s en moyenne des 10 dernières années, avec des valeurs mensuelles allant de 1.23 à 11.7 m³/s). Pour comparaison, le débit minimal Q_{\min} légal de la Broye est de 0.516 m³/s (soit 44'582 m³/jour ou 1'337'460 m³/mois)¹⁶.

Pour la surveillance des débits minimaux et la gestion des pompages, le SESA se base plutôt sur un débit instantané « d'alerte » proche du Q_{347} à Payerne (1.26 m³/s) et sur l'évolution du débit (informations communiquées par M. Yves Châtelain). En effet, les débits à Payerne ne reflètent pas forcément la situation en amont (...). Par ailleurs, les pompages ne sont pas forcément réalisés de manière uniforme sur le mois et sur 24 heures, mais se concentrent sur les heures moins chaudes et sur la nuit. Pour la comparaison des débits et des besoins *instantanés ou journaliers*, il vaut donc mieux se baser sur le débit Q_{347} de 1.26 m³/s et doubler les besoins journaliers estimés (0.2 m³/s pour les besoins extrapolés). A titre de comparaison, le total des 16 concessions délivrées par le canton de VD atteint 297 l/s (0.3 m³/s).

Cela dit, les valeurs mensuelles interannuelles moyennes masquent la grande variabilité du débit de la Broye, dont les crues et décrues sont très rapides. Cette variabilité provient essentiellement du comportement majoritairement pluvial de la Broye qui, de plus, répond très rapidement aux précipitations sur son bassin versant.

La comparaison avec les **valeurs minimales journalières** permet de mieux situer les besoins par rapport au débit de la Broye en période de sécheresse.

Le détail des calculs se trouve dans les tableaux des annexes 8.12 et 8.13, qui reprennent les trois types de valeurs minimales journalières décrites plus haut et les comparent aux différents besoins. (...)

En considérant la *moyenne des débits journaliers minimaux de la période 1999 à 2010* - « Moyenne 10 », la situation n'est pas critique. Dans le pire des cas (« Futur 2 », mois de juillet), les besoins journaliers en eau représentent près de 34.3%, respectivement 32.5% des débits de la Broye. La moyenne des débits journaliers minimaux du mois de juillet est de 1.75 m³/s (tableau 39), soit 151'200 m³/jour, valeur supérieure au Q_{\min} et au Q_{347} , même si l'on retranche les besoins extrapolés, lesquels représentent 5.4% des débits. (...)

Les choses changent avec la *valeur minimale des débits journaliers* des dix dernières années - « Minimum 10 » ou la valeur minimale enregistrée depuis le début des mesures - « Minimum ». Les besoins futurs potentiels (Futurs 1 et 2) approchent ou dépassent les débits minimaux au mois de juillet et août. Ces résultats ne sont pas surprenants compte tenu des valeurs de débits retenues pour ces calculs, lesquelles sont inférieures au Q_{\min} en juillet et août, voire en juin et septembre (cf. tableau 39).

¹⁶ Ce débit est déterminé d'après l'article 31 de la LEaux à partir du débit Q_{347} (débit dépassé 347 jours par an ou 95% du temps), qui vaut 1,26 m³/s pour la Broye.

De ce fait, même si les besoins recensés ou extrapolés sont proportionnellement modérés par rapport aux débits, les pompages seraient légalement interdits dans de telles situations.

Globalement, ces différents résultats reflètent bien la situation de ces dernières années. Si une interdiction générale de pompage a été décrétée par le SESA pour tout le territoire du canton environ une année sur deux¹⁷, la Broye bénéficie presque constamment d'un régime de dérogation (surtout en aval de Moudon), contrairement à ses affluents, pour lesquels les restrictions ou interdictions de pompage sont plus fréquents. Sauf dans les cas de sécheresses prononcées comme en 2003 ou 1945, et en dehors de toutes autres considérations, les débits de la Broye semblent généralement être en mesure de supporter les besoins actuels en irrigation, voire même une augmentation des pompages.

8.5 Préoccupations des agriculteurs et solutions proposées

Le questionnaire recensait également les préoccupations des agriculteurs relatives à l'irrigation et les solutions et stratégies proposées en vue d'améliorer la situation actuelle.

Au chapitre des *préoccupations*, la disponibilité de la ressource et les interdictions de pompages occupent le 1^{er} rang. En effet, ces éléments ont tous deux été relevés une cinquantaine de fois dans les questionnaires, soit dans près de 50% des cas. Suivent ensuite des préoccupations d'ordre plus économique comme la question des coûts de l'irrigation en comparaison des marges de production ou la non atteinte des exigences qualitatives, principalement en ce qui concerne la production de pommes de terre (7, respectivement 6 occurrences). En lien avec les préoccupations d'ordre économique, la subsistance même de l'exploitation était mise en doute si l'arrosage venait à être davantage limité, voire interdit (6 occurrences). Ont également été mentionnés le prix du carburant pour les motopompes, les inégalités de traitement ressenties entre Vaud et Fribourg, le travail supplémentaire que représente la mise en place du matériel et le contrôle nécessaire pour l'irrigation, ainsi que des considérations relatives à l'efficacité des techniques d'irrigation (gaspillage d'eau). L'ensemble des préoccupations citées et leur occurrence respective se trouvent dans l'annexe 8.14.

En ce qui concerne les *stratégies*, la mise à disposition d'eau en quantités suffisantes occupe les trois premières places, que ce soit par pompage au lac (11 occurrences), par la création d'un réseau enterré pour la distribution d'eau d'irrigation (8) ou par la création de bassins de rétention (7). Viennent ensuite des stratégies orientées d'avantage vers une meilleure planification de l'irrigation et répartition de la ressource, par exemple par le biais d'associations ou syndicats de pompage (5), par une gestion plus progressive des interdictions de pompages (2), par une priorisation des cultures irriguées (2) et par une meilleure concertation entre Vaud et Fribourg (2). Les subventions cantonales et/ou fédérales sont aussi mentionnées (4) de même que des remarques précisant que l'irrigation vise la production de biens alimentaires et devrait de ce fait être reconnue d'utilité publique (2). Une meilleure coordination entre communes et agriculteurs lors de la pose de conduites d'eau potable, de canalisations ou de câbles enterrés a aussi été proposée, afin de réduire les coûts pour la pose des conduites de transport de l'eau d'irrigation en partageant les fouilles. L'approvisionnement artificiel de la Broye avec de l'eau pompée dans la nappe ou au lac a aussi été évoqué, tout comme des ententes entre pêcheurs et agriculteurs ou le soutien des agriculteurs au projet de renaturation en échange d'une « garantie » d'approvisionnement en eau. Les stratégies mentionnées et leur occurrence respective peuvent être consultées dans l'annexe 8.15.

¹⁷ Années où une interdiction de pompage a été prononcée : 1998, 2003, 2004, 2005, 2006, 2009 et 2010

8.6 Conclusion

Sur la base des données transmises par les agriculteurs et des informations complémentaires obtenues auprès des préposés agricoles, cette étude a permis d'estimer les besoins actuels en eau d'irrigation dans la plaine de la Broye.

L'extrapolation des données recensées par questionnaire, qui constitue l'ordre de grandeur le plus vraisemblable pour l'estimation des besoins actuels, conduit à un besoin moyen total d'environ 1'150'000 m³ par an, toutes sources confondues, pour une surface irriguée de près de 1'400 ha. Lors d'années particulièrement sèches, ces besoins sont plus élevés comme le montrent les valeurs maximales apportées aux cultures.

Avec plus de 80% des volumes calculés, la Broye et ses affluents représentent de loin la principale source d'approvisionnement pour les agriculteurs ; les autres ressources sont constituées des réseaux d'eau souterraine, des étangs artificiels et du lac de Neuchâtel.

La presque totalité des volumes pompés servent à l'irrigation des cultures sarclées (principalement la pomme de terre de consommation, le tabac, le maïs et la betterave sucrière) et les cultures maraîchères de plein champ ou sous abri. Les apports se concentrent entre mai et août, avec un pic en juin et juillet.

Les quantités moyennes d'eau utilisées sont d'environ 800 m³ par ha et par an. Les quantités utilisées sont beaucoup plus importantes pour les cultures maraîchères sous abri (environ 4'500 m³/ha*an). En dépit du fait que la plupart des agriculteurs utilise le même système d'irrigation (système d'aspersion avec un canon), les quantités utilisées pour une même culture peuvent fortement varier selon les agriculteurs.

L'évaluation des besoins futurs en eau d'irrigation, basée sur l'ensemble des surfaces potentiellement irrigables et sur des besoins majorés de 25% - réalisée en dehors de toutes considérations économiques - conduit à des besoins en eau d'irrigation de 7.6 millions de m³/an, pour une surface irrigable de 7'640 hectares. Selon le recensement 2009 des communes concernées, cette surface correspond à la totalité de la surface de sarclées de printemps et de cultures spéciales (environ 5'000 ha) et à 40% de la surface de céréales et de colza (6'250 ha). Sur la base des déficits hydriques calculés pour la période 1980-2006 dans le bassin versant de la Broye, ART estime qu'en moyenne 4 millions de m³ d'eau par an sont théoriquement nécessaires pour irriguer près de 10'000 ha de surface agricole. Les besoins peuvent même atteindre une valeur de 19.6 millions de m³ et concerner une surface de 24'320 ha lors d'une année particulièrement sèche comme 2003.

Ces chiffres paraissent énormes en regard des surfaces et des cultures actuellement irriguées, ainsi que de la disponibilité, déjà limitée, des ressources en eau de la Broye. Si les besoins actuels paraissent relativement fiables, les besoins futurs doivent être pris avec beaucoup de précautions et validés par des investigations complémentaires, le cas échéant.

En tout état de cause, la comparaison entre les débits de la Broye et les besoins selon différents scénarios montre que d'autres ressources en eau (lac) devront être exploitées ou/et des stratégies innovantes devront être mises en place afin de couvrir les besoins en eau d'irrigation dans la plaine de la Broye en période de sécheresse prononcée, situation qui risque de se produire plus fréquemment à l'avenir.

Plusieurs pistes sont proposées par les agriculteurs en vue d'améliorer la situation : diversification et sécurisation de l'approvisionnement en eau (pompage au lac, création de bassins de rétention), amélioration de l'infrastructure (réseau enterré), meilleure planification de l'irrigation et meilleure répartition de la ressource (syndicats de pompage, limitation progressive de pompages).

Toutes ces pistes mériteraient d'être approfondies. Un autre élément, non évoqué par les agriculteurs, mais que suggèrent les différences importantes constatées entre au niveau des quantités utilisées, mérite d'être mentionné: une optimisation des apports en fonction d'un suivi plus serré des besoins des cultures. De nombreuses réflexions sont menées à ce sujet en Suisse ou à l'étranger - par exemple Hunger (2010), Bruere et al. (2006).

Au vu des surfaces potentielles en jeu et dans l'optique d'une analyse prospective à terme, il y aurait sans doute également lieu d'examiner les aspects relatifs à la rentabilité économique de l'irrigation, élément qui n'a pas du tout été abordé dans cette étude.

8.7 Annexes

Annexe 8.1 : Rapport complet de l'évaluation des besoins en eau d'irrigation dans la Broye

Annexe 8.2 : Questionnaire envoyé aux agriculteurs

Annexe 8.3 : Besoins annuels des cultures irriguées par hectare d'après les données indiquées par les agriculteurs

Annexe 8.4 : Besoins annuels et surfaces irriguées recensés par questionnaire uniquement pour toutes les communes étudiées

Annexe 8.5 : Besoins annuels et surfaces irriguées à partir des différentes sources pour chaque commune étudiée

Annexe 8.6 : Besoins annuels et surfaces irriguées à partir des différentes sources pour les cultures irriguées

Annexe 8.7 : Comparaison entre les surfaces cultivées (recensement 2009) et les surfaces irriguées pour les différentes cultures sur l'ensemble des communes étudiées

Annexe 8.8 : Besoins actuels extrapolés à partir des informations supplémentaires récoltées auprès des préposés agricoles et en adaptant les besoins proportionnellement à la surface

Annexe 8.9 : Besoins futurs calculés sur la base des surfaces potentiellement irrigables et des besoins moyens pour les cultures majorés de 25%

Annexe 8.10 : Valeurs minimales de débits moyens journalier dans la Broye ces 10 dernières années (1999-2010) et valeurs minimales depuis le début des mesures à la station de Payerne (1921)

Annexe 8.11 : Comparaison entre les débits de la Broye à Payerne sur la base de la moyenne mensuelle et les besoins mensuels recensés par questionnaire, extrapolés ou futurs du bassin versant de la Broye en amont de Payerne

Annexe 8.12 : Comparaison entre les débits de la Broye à Payerne sur la base de diverses valeurs minimales et les besoins moyens journaliers recensés par questionnaire, extrapolés ou futurs en amont de Payerne

Annexe 8.13 : Comparaison entre les débits de la Broye à Payerne sur la base de diverses valeurs minimales et les besoins moyens journaliers recensés par questionnaire, extrapolés ou futurs en amont de Payerne

Annexe 8.14 : Préoccupations des agriculteurs recensés par questionnaire en ce qui concerne l'irrigation et nombre d'occurrences de chaque remarque

Annexe 8.15 : Stratégies proposées par les agriculteurs et recensés par questionnaire en ce qui concerne l'irrigation et nombre d'occurrences

9 Plan de contraintes

9.1 Définition du mandat

Les bureaux de géomètres P.-A. Nicod à Moudon et M. Perrin à Payerne (aujourd'hui fusionnés en Nicod + Perrin, ingénieurs et géomètres) ont été mandatés afin d'élaborer le plan des contraintes liées à la renaturation de la Broye. Sur les territoires des cantons de Vaud et de Fribourg, Il s'agit de recenser et de figurer sur un fond de plan les informations relatives aux infrastructures, à l'aménagement du territoire et de caractère foncier pouvant entraver la mise en place des mesures préconisées par l'étude sur la renaturation de la Broye.

9.2 Périmètre et données de base

Le périmètre traité couvre la Broye entre Bressonnaz (limite cantonale) et l'embouchure dans le Lac de Morat sur une largeur correspondant aux parcelles bordières du cours d'eau. Il s'étend sur les communes vaudoises de Vulliens, Moudon, Lucens, Curtilles, Seigneux, Henniez, Granges-près-Marnand, Marnand, Trey, Payerne, Corcelles-près-Payerne, Missy, Avenches, Villars-le-Grand, Montmagny, Constantine, Bellerive et communes fribourgeoises de Villeneuve, Fétigny, Dompierre, Domdidier et Saint-Aubin.

Dans le cadre de l'étude, les données de base nécessaires aux différents mandataires ont été récoltées auprès des services cantonaux fribourgeois et vaudois. Ces données, de formats et contenus hétérogènes, ont par la suite été agrégées pour leur intégration dans un système commun. Il s'agit des données suivantes :

- a) Données cadastrales officielles
- b) Carte nationale 1:25'000
- c) Orthophotos 2007
- d) Surfaces d'assolement (SDA)
- e) Réseau de transport du gaz (conduites de haute et moyenne pression)
- f) Cadastre des sites pollués
- g) Zones et secteurs de protection des eaux
- h) Sites archéologiques
- i) Chemins de randonnées pédestres
- j) Carte des géotypes (uniquement sur vaud)
- k) Zones d'affectation du sol

9.3 Représentation des données

Quatre cartes à l'échelle 1:10'000 réparties sur l'ensemble de la zone étudiée ont été établies selon différentes thématiques, à savoir :

- a) Inventaire par type de propriétaires
- b) Aménagement du territoire
- c) Infrastructures
- d) Sites pollués et zones de protection des eaux
- e) Géotypes

soit un total de 20 cartes regroupées aux annexes 9.1 à 9.5. Tous ces thèmes sont présentés sur un fond de plan composé du cadastre et de l'orthophoto avec figuration des périmètres multicritères fournis par le bureau pilote.

9.4 Aspect foncier

9.4.1 Propriété foncière

Après recherches aux registres fonciers vaudois et fribourgeois il a été opéré sur un plan (cf. inventaire par type de propriétaire de l'annexe 9.1) une distinction des parcelles bordières de la Broye par type de propriétaire (canton, confédération, commune, CFF ou privé).

Le tableau ci-dessous récapitule le nombre de propriétaires par secteur et par type de propriétaire.

Secteur	DP cantonal	DP communal	Canton	CFF	Commune	Confédération	Privé	Total
S1 - Amont Moudon	15	1	1	3	2	2	26	50
S2 - Camping de Moudon	2				3		2	7
SU1 - Moudon	14	18		2	8		25	67
S3 - Bronjon	2	2	1		2		5	12
S4 - Aval Moudon en Rive droite	9			5			10	24
S5 - Rive gauche du méandre de Lucens	9		1	1	3		17	31
SU2 - Lucens	9	4	2		5		12	32
S6 - Zone humide de la chaumière	2	1	1		1		3	8
S7 - Zone alluviale de Villeneuve	3			5	3		9	20
S8 - Aval zone alluviale de Villeneuve	10	5	1	4	15		6	41
S9 - Amont Granges-près-Marnand	6	8	1		1		14	30
SU3 - Granges-près-Marnand	6	4			5		8	23
S10 - Aval Granges-près-Marnand	8	18			5		37	68
S11 - Fétigny	11	10	2	1	6		15	45
S12 - Briqueterie	3	2	1	1	2		2	11
SU4 - Payerne	16	55		5	21	2	105	204
S13 - Amont pont neuf	1	22			12		22	57
S14 - Aval Pont neuf - canal des Sésines	5	13			7		16	41
S15 - Canal des Sésines - Arbogne	21	26	4		18	3	92	164
S16 - Embouchure	8	5	3		10		18	44
Total :	160	194	18	27	129	7	444	

Tableau 45 : Répartition des types de propriétaires par secteur

9.4.2 Améliorations foncières

La plupart des communes traversées par le cours d'eau de la Broye ont fait l'objet de syndicats d'améliorations foncières, volontaires ou liés à une EGT. Dans le but d'améliorer la compétitivité agricole, des travaux de réorganisation de la propriété foncière (amélioration de la géométrie et regroupement des terres exploitées) et d'équipements collectifs (dessertes, collecteurs, etc), ont été réalisés et financés en partie par les propriétaires. On constate que le réseau de chemins équipant les parcelles et longeant la Broye est très important. Dans le cas où les projets d'aménagements ou de constructions entraînent une aggravation des conditions d'exploitation d'une parcelle, celle-ci est sujette à indemnisation après expertise.

9.4.3 Législation cantonale et fédérale

L'art. 6 al. 2a de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire exige des cantons qu'ils distinguent les parties de leur territoire se prêtant à l'agriculture et qu'ils préservent les surfaces dites d'assolement (SDA). Le Canton tient à jour l'inventaire des SDA et assure une gestion durable de ces surfaces.

Les SDA comprennent l'ensemble des terres situées en zones agricole, agricole protégée et intermédiaire. La prise en compte du climat et de la pédologie des sols permet de distinguer les très bonnes terres agricoles (qualité I) des moins bonnes terres (qualité II).

Les compensations écologiques, les reboisements et les renaturations de cours d'eau ne doivent pas être réalisés au détriment des SDA. Ils doivent prendre place sur les terres les moins intéressantes pour la production agricole. Les services concernés précisent les principes de mise en œuvre dans le cadre de l'élaboration de la stratégie cantonale.

9.4.4 Particularités vaudoises et fribourgeoises pour les SDA

Le canton de Fribourg distingue quatre types de surfaces contre deux pour le canton de Vaud :

- a) A assimilé à qualité 1 sur VD
- b) AB1 assimilé à qualité 2 sur VD
- c) B1 non répertorié sur VD
- d) C non répertorié sur VD

Les types de zones B1 et C n'ont pas été représentés sur le plan AT de l'annexe 9.2 et les zones A et B1 sont regroupées respectivement comme de qualité 1 et de qualité 2 avec les données vaudoises.

9.4.5 Zones d'affectation

Les différentes typologies vaudoises et fribourgeoises ont été agrégées en 4 types principaux :

- a) Zones d'habitation et mixte (centre des villes, villages, zones d'habitations...)
- b) Zones d'activités (industrie, artisanat, militaires, commerces...)
- c) Zones d'utilité et loisirs (écoles, sports, campings...)
- d) Zones intermédiaires (zones intermédiaires, à définir par plan de quartier, ou libres)

Le tableau ci-dessous récapitule les SDA par secteurs multicritères

Secteur	Surfaces SDA [ha]	
	Qualité I	Qualité II
S1 - Amont Moudon	2.4	
S2 - Camping de Moudon	0.7	
SU1 - Moudon	2.1	0.3
S3 - Bronjon	2.7	
S4 - Aval Moudon en Rive droite	10.2	
S5 - Rive gauche du méandre de Lucens	1.2	0.1
SU2 - Lucens	4.3	
S6 - Zone humide de la chaumière	4.6	
S7 - Zone alluviale de Villeneuve	0.7	
S8 - Aval zone alluviale de Villeneuve	15.4	
S9 - Amont Granges-près-Marnand	12.3	
SU3 - Granges-près-Marnand	0.8	
S10 - Aval Granges-près-Marnand	35.3	
S11 - Fétigny	11.9	
S12 - Briqueterie	1.4	
SU4 - Payerne	11.0	
S13 - Amont pont neuf	43.6	
S14 - Aval Pont neuf - canal des Sésines	36.3	
S15 - Canal des Sésines - Arbogne	197.9	
S16 - Embouchure	10.0	2.6
Total	404.8	3.0

Tableau 46 : Surfaces d'assolement par secteur

9.5 Aspect Infrastructures

Les principales contraintes liées aux infrastructures ont été recensées pour les deux cantons sur demande des autres mandataires (selon une liste non exhaustive). Elles figurent à l'annexe 9.3 du plan de contraintes intitulé "infrastructures" et concernent les objets décrits ci-après.

9.5.1 Réseaux de transport du fluide gaz

9.5.1.1 Réseau de haute pression UNIGAZ

Une conduite de transport de gaz à haute pression d'importance nationale reliant la Suisse romande à la Suisse allemande est présente le long de la rive droite de la Broye entre Moudon et Trey. Il s'agit du gazoduc UNIGAZ (tronçon Orbe-Altavilla, pression 70 bar, diamètre 16") qui, sur près de 8.5 km, constitue sans doute la contrainte la plus importante à la renaturation. Pour tous travaux dans la bande de sécurité prévue de 10 m de part et d'autre du gazoduc ainsi qu'à l'intérieur d'une zone de sécurité de 30 m autour des installations annexes et portails de galeries, une autorisation doit être délivrée par l'Inspection fédérale des pipelines. Conformément à l'art. 15 OSITC (RS746.12) l'espace minimal nécessaire à la protection contre les crues doit être maintenu avec la conduite.

En parallèle, le gazoduc est secondé par la conduite de fibres optiques sauf à Villeneuve où son tracé diverge.

9.5.1.2 Réseaux de moyenne pression FRIGAZ et COSVEGAZ

Le long de la Broye, de Moudon à Domdidier, on dénote la présence de réseaux de transport de gaz de moyenne pression des sociétés FRIGAZ et COSVEGAZ, tant en rive gauche qu'en rive droite.

Le tableau ci-dessous détaille par secteur les longueurs de conduites et leurs propriétaires :

Secteur	Propriétaire	longueur [m]	Total [m]
S11 - Fétigny	Frigaz	1142	
SU4 - Payerne	Frigaz	1108	
S13 - Amont pont neuf	Frigaz	2225	
S14 - Aval Pont neuf - canal des Sésines	Frigaz	2427	
S15 - Canal des Sésines - Arbogne	Frigaz	2198	9100
S1 - Amont Moudon	Cosvegaz	69	
SU1 - Moudon	Cosvegaz	74	
SU2 - Lucens	Cosvegaz	1222	
S5 - Rive gauche du méandre de Lucens	Cosvegaz	120	
S6 - Zone humide de la chaumière	Cosvegaz	161	
S8 - Aval zone alluviale de Villeneuve	Cosvegaz	219	
S9 - Amont Granges-près-Marnand	Cosvegaz	454	
SU3 - Granges-près-Marnand	Cosvegaz	245	
S10 - Aval Granges-près-Marnand	Cosvegaz	2518	5082
S4 - Aval Moudon en Rive droite	Gazoduc Unigaz	1374	
SU2 - Lucens	Gazoduc Unigaz	50	
S6 - Zone humide de la chaumière	Gazoduc Unigaz	408	
S8 - Aval zone alluviale de Villeneuve	Gazoduc Unigaz	2421	
S9 - Amont Granges-près-Marnand	Gazoduc Unigaz	1298	
S10 - Aval Granges-près-Marnand	Gazoduc Unigaz	2606	
SU3 - Granges-près-Marnand	Gazoduc Unigaz	298	8455
S4 - Aval Moudon en Rive droite	Fibre optique	1396	
SU2 - Lucens	Fibre optique	48	
S6 - Zone humide de la chaumière	Fibre optique	409	
S7 - Zone alluviale de Villeneuve	Fibre optique	279	
S8 - Aval zone alluviale de Villeneuve	Fibre optique	2423	
S9 - Amont Granges-près-Marnand	Fibre optique	1302	
S10 - Aval Granges-près-Marnand	Fibre optique	2613	
SU3 - Granges-près-Marnand	Fibre optique	293	8763

Tableau 47 : Contraintes gaz et fibre optique par secteur

9.5.2 Réseaux de transports, de desserte et ouvrages d'art

Les infrastructures liées à la mobilité tels que voie CFF, routes, chemins revêtus, chemins de randonnée pédestre, ponts et passerelles, se situant à proximité de la Broye ont également été mises en évidence sur le plan.

La voie ferrée borde la Broye entre les profils 33'000 à 29'500 en rive gauche et 16'100 à 15'500 en rive droite (Fétigny). Elle se situe à moins de 50 m près de Villeneuve.

La route cantonale constitue une contrainte importante pour les secteurs de Lucens (rive gauche).

9.6 Données complémentaires à acquérir en cas d'études sectorielles

A ce stade du projet, les éléments contraignants suivants n'ont pas été traités mais ne doivent absolument pas être négligés en cas d'études de certains secteurs propices à une renaturation de la Broye. Il s'agit des objets suivants :

- a) Servitudes de canalisations et conduites
- b) Servitudes de droits de passage
- c) Objets autorisés à bien-plaire sur le domaine public cantonal des eaux
- d) Conduites communales de distribution d'eau potable et canalisations d'évacuation des eaux ne faisant pas l'objet de servitudes au registre foncier
- e) Distribution d'électricité
- f) Eclairage public
- g) Télécommunications
- h) Chemins et collecteurs liés aux améliorations foncières
- i) Lignes à haute tension

Il est à signaler qu'un important travail de dépouillement des servitudes de toutes les parcelles bordières de la Broye a déjà été réalisé. Toutefois, les reports de celles-ci, notamment les servitudes de canalisations et conduites ainsi que les droits de passage, ont été différés dans cette étude. Ils seront repris dans des secteurs où des travaux d'aménagement seront projetés.

9.7 Annexes

Annexe 9.1 : carte Inventaire par type de propriétaires

Annexe 9.2 : carte Aménagement du territoire

Annexe 9.3 : carte Infrastructures

Annexe 9.4 : carte Sites pollués et zones de protection des eaux

Annexe 9.5 : carte Géotypes

10 Entretien des berges de la Broye

10.1 Etat actuel de l'entretien

L'entretien réalisé actuellement sur une bonne partie des talus vaudois de la Broye est un entretien intensif qui empêche tout développement d'une végétation arborée et qui a pour objectif de garantir la capacité d'écoulement en cas de crue dans des conditions de gabarit d'écoulement stable.

A part cela, actuellement, des travaux plus importants de stabilisation des berges peuvent être entrepris suivant les secteurs et les besoins.

L'analyse détaillée des coûts annuels et de localisation précise de cet entretien sort du cadre de la présente étude de diagnostic du potentiel de renaturation de la Broye. Toutefois, il est évident que tout futur projet se doit d'intégrer pleinement la question de l'optimisation de l'entretien sur le long terme des berges de la Broye.

10.2 Influence d'une renaturation sur l'entretien des berges

Une renaturation implique généralement un élargissement du gabarit du cours d'eau et/ou l'implantation de cordons boisés riverains. Ainsi, toute renaturation devrait à priori permettre de diminuer les forces érosives de l'écoulement sur le fond et les berges du cours d'eau, réduisant en même temps la nécessité d'interventions régulières d'entretien et par conséquent ses coûts. De ce point de vue, les projets de renaturation planifiés sur la Broye devraient permettre de diminuer significativement les opérations d'entretien des berges.

Il est à noter toutefois que la réduction des forces érosives de l'écoulement lors des crues dépend des dimensions futures du gabarit après élargissement. Ainsi, un élargissement majeur permettant d'instaurer un gabarit proche de l'équilibre morphologique dynamique du cours d'eau diminuera fortement ces forces érosives. Un élargissement mineur qui est toujours loin de cet équilibre morphodynamique, par contre, peut toujours générer des forces érosives significatives et donc nécessiter un entretien non-négligeable.

De plus, même en cas d'élargissement majeur proche de l'équilibre morphodynamique, un minimum d'entretien sera toujours nécessaire, par exemple pour :

- Maintenir une formation végétale à un certain stade (herbacé ou buissonnant) suivant l'objectif de renaturation
- Permettre la croissance de certaines espèces (indigènes) par une coupe sélective des autres
- Approvisionner en matériaux d'autres secteurs visés par des renaturations
- Garantir la stabilité du gabarit d'écoulement dans les secteurs à haut risque (habitations proches, conduite de gaz, etc.).

Dans les secteurs les plus sensibles aux risques d'inondations (par exemple lit perché par rapport à la plaine), si un élargissement sera réalisé, la protection contre les crues devrait être assurée par une

baisse de la ligne d'eau, l'entretien dans ces secteurs pourrait ainsi par exemple se réduire à une fauche alternée entre les rives afin de limiter un développement de végétation trop arbustive.

Pour les zones réhabilitées en forêts alluviales, l'entretien pourrait se limiter à une surveillance des espèces qui s'y développent de façon naturelle pour limiter la propagation d'espèces envahissantes (telle renouée du Japon).

10.3 Contraintes à prendre en compte dans l'entretien après renaturation

Plusieurs contraintes doivent être prises en compte dans les plans d'entretien suivant une renaturation. Ces contraintes peuvent être de plusieurs ordres :

- Sécuritaires : le plan d'entretien doit intégrer la marge de sécurité contre les inondations ainsi que la vulnérabilité du secteur environnant. Par exemple, dans les zones urbaines, le cours d'eau devra pouvoir préserver sa pleine capacité d'évacuation.
- Morphologiques : le plan d'entretien s'établira en fonction du futur gabarit d'écoulement et de sa stabilité présumée lors des crues, i.e. sa proximité avec l'équilibre morpho-dynamique locale.
- Environnementales : par exemple les prairies sèches classées en rive droite de la Broye à l'aval de Moudon. Ce secteur devra conserver son caractère particulier et la fauche devra se faire comme actuellement définie, c'est-à-dire, une fauche tardive (mi-juillet).
- Structurelles : le plan d'entretien futur sera directement lié aux infrastructures à proximité immédiate (p.ex. voies CFF, conduite de gaz à haute pression, lignes électriques, routes principales). Si la sécurité globale contre les crues le permet (lignes d'eau), la présence d'une végétation sur les talus peut augmenter la sécurité de ces infrastructures.

10.4 Synthèse de l'entretien des berges après renaturation

L'entretien des berges du côté vaudois se fait actuellement de manière intensive et visant exclusivement la sécurité contre les crues en garantissant une capacité minimum de débit ainsi que des berges stabilisées lors des crues.

Dans le futur, cet entretien pourrait être fortement réduit de par des élargissements de la Broye, combinés avec par exemple l'instauration de cordons boisés riverains. La réduction des forces érosives lors des crues ainsi que la résistance à l'érosion offerte par la végétation sur les berges devraient permettre de s'affranchir par endroit d'un entretien intensif et régulier.

Toutefois, l'expérience a démontré que ce nouvel état semi-naturel (voir naturel) devra obligatoirement être suivi et un minimum d'entretien s'imposera dans tous les cas. Un suivi et entretien adéquat s'imposeront probablement lors des premières années après la renaturation, et pourraient être imaginés réduits ensuite.

11 Synthèse

11.1 Synthèse par volet

11.1.1 *Hydraulique et transport solide*

Avec un bassin versant de 440 km² et de multiples affluents, la Broye présente une grande diversité de débits de pointe entre Moudon (limite amont du tronçon étudié) et le Lac de Morat (limite aval). De manière générale, l'hydrologie se caractérise par de très faibles débits en été et des pics de crue en février-mars.

Il en résulte donc logiquement la question des besoins en eau pour l'agriculture en été et la question de la sécurité contre les crues. Cette dernière a été investiguée et trouvée plutôt bonne. Les endroits à manque de capacité hydraulique se font plutôt rares. Ce constat est de plus en plus valable vers l'aval, notamment en aval de Payerne, où une importante marge de sécurité existe actuellement.

Pourtant, la prédite sécurité est souvent obtenue moyennant des digues artificielles perchées dans le terrain. En cas de rupture de ces digues, d'importantes surfaces de la plaine seraient inondées. Sous cet angle, la sécurité contre le risque résiduel de rupture ou brèche dans une digue pourrait nettement s'améliorer moyennant un élargissement du lit de la Broye par exemple.

En aval de Payerne, la capacité hydraulique actuelle de l'ancienne Broye a également été étudiée. De manière simplifiée, une éventuelle remise en eau de l'ancienne Broye n'est pas à exclure, même si le canal actuel de la Broye serait toujours nécessaire lors de crues importantes.

En termes de capacité de transport solide, la Broye actuelle est largement pavée, avec un diamètre moyen sur le fond plutôt grossier (~ 50 mm). Une modélisation conceptuelle du potentiel d'érosion et de dépositions a permis de dégager les secteurs à tendance érosive ou dépositaire. Les secteurs à tendance érosive se situent principalement en aval de Moudon, autour de Granges-près-Marnand et systématiquement à travers les principales communes. La connaissance de ces tendances est importante pour toute éventuelle future remodelage du fond et/ou des berges de la Broye.

11.1.2 *Morphologie*

L'équilibre dynamique morphologique de la Broye a été étudié sur tout le linéaire. De manière générale, en enlevant toute protection des berges et en laissant le cours d'eau se développer librement au fil du temps, la Broye évoluerait vers un lit à bancs de graviers alternés avec des largeurs de l'ordre de 25-30 m et des profondeurs du gabarit de l'ordre de 1.5-2.0 m. Ceci suppose pourtant des matériaux de fond très grossiers, i.e. graveleux. Même si le lit fond du lit actuel est constitué de matériaux graveleux (pavé), il est peu probable que la sous-couche présente les mêmes caractéristiques. En cas d'une sous-couche de matériaux beaucoup plus fins (à vérifier/déterminer), la Broye pourrait évoluer vers des méandres proprement dit plutôt que des bancs alternés.

La pertinence de ce constat se révèle davantage dans son influence sur la largeur d'équilibre. Pour des matériaux beaucoup plus fins, la largeur d'équilibre pourrait ainsi doubler jusqu'à des valeurs de l'ordre de 55-60 m. Ainsi, de manière purement théorique, tout élargissement de la Broye bien en dessous de ces largeurs nécessiteraient toujours une protection des berges afin d'éviter une érosion excessive en

dehors du nouveau gabarit. De l'autre côté, tout élargissement jusqu'à ces valeurs élevées auraient des répercussions significatives sur les volumes à excaver et donc l'économie du projet.

En guise de conclusion, la connaissance de la granulométrie locale du sous-sol de la Broye et de ses berges est indispensable à tout futur projet de renaturation.

11.1.3 *Etude morphologique et historique de la plaine*

Cette étude a permis de dresser l'état de la Broye et de sa plaine avant les travaux de correction et d'établir l'extension historique maximale de la plaine alluviale en tant que périmètre de référence pour la planification de travaux de renaturation.

Les principaux éléments décrits sont notamment les anciens tracés de la Broye, les cônes de déjection, les falaises et lits de molasse, les anciens marais plans d'eau et zones humides, ou encore les anciennes gravières.

En amont de Payerne, par retrait glaciaire, des sédiments glacio-lacustres se sont d'abord formés (limons et sables fins). Ces dépôts ont ensuite été recouverts par les alluvions anciennes de la Broye. Cette plaine alluviale ancienne a ensuite été érodée par la Broye, formant entre autres des terrasses latérales encore observables aujourd'hui. Ainsi, de manière historique, le fond actuel de la Broye en amont de Payerne présente un mélange de matériaux graveleux et de sédiments fins.

En aval de Payerne, le lac de Morat occupait une grande partie de la plaine. La plaine a été progressivement comblée de limons et de sables. Le tracé à l'époque était très sinueux faisant de larges coudes. Le manque de pente favorisait les crues et les inondations de la plaine, donnant lieu aux corrections du cours d'eau au 19^{ième} siècle.

En amont de Payerne, le tracé était beaucoup moins tourmenté et suivait plus ou moins le tracé actuel, suivant de grandes courbes. Les zones de divagation situées en dehors du gabarit principal ont été systématiquement détruites au profit de l'agriculture.

Des travaux de correction de la Broye, il convient surtout de mentionner les problèmes d'affouillements et d'érosion, avec une Broye libérée montrant une forte tendance à creuser son propre lit. La crue dévastatrice de 1888 a ainsi donné lieu à d'importants élargissements du canal, tandis que la crue exceptionnelle de 1895 a nécessité un rehaussement et renforcement des berges.

Depuis la fin des travaux de correction, d'importants travaux d'entretien et de stabilisation ont été nécessaires, p.ex. la réalisation de seuils sur le fond du lit. Lors des années 1970, la deuxième correction des eaux du Jura a permis d'abaisser le niveau du Lac de Morat, augmentant ainsi les vitesses d'écoulement dans la Broye en amont et permettant un meilleur assèchement des plaines agricoles.

11.1.4 *Potentiel de développement d'un réseau écologique*

L'étude du réseau écologique a pour but de faire ressortir les éléments clés du réseau existant et les liaisons à entretenir ou à créer entre les sites d'importance. Dans ce sens, en identifiant les déficits et les potentialités de la plaine de la Broye, elle doit permettre de définir les principaux objectifs de renaturation, et donc également la ligne directrice à suivre.

La renaturation de la Broye doit notamment permettre de restaurer des liens entre les biotopes actuels. Le présent volet s'est principalement porté sur les éléments fonctionnels des sous-réseaux eaux courantes, milieux palustres, forêts et milieux secs.

Le sous-réseau des eaux courantes comporte la Broye comme colonne vertébrale, avec les multiples affluents comme maillage secondaire transversal. Les points faibles actuels se situent principalement dans les traversées des villes et aux embouchures des affluents. Ces derniers se révèlent souvent d'une qualité et diversité intéressante. Le rétablissement d'un cours d'eau naturel avec des berges richement structurées (cordon boisé) permettrait d'obtenir plus d'ombrage et offrirait une zone de refuge pour la faune terrestre ainsi qu'un axe de déplacement préférentiel longitudinal.

Le sous-réseau des milieux humides est peu étoffé. La plupart des anciens biotopes et zones humides naturels ont aujourd'hui disparu, laissant seules les zones artificielles telles que les étangs dans des anciennes gravières. Ces dernières ont un statut de protection mais ne sont pas liées entre elles. Ainsi, la restauration d'une végétation riveraine tout le long du linéaire de la Broye permettrait de créer ce lien ainsi que la dispersion et le déplacement des espèces amphibiens.

Le sous-réseau des forêts ne dispose que de très peu de massifs forestiers riverains, exception faite à Villeneuve et Fétigny. Ces derniers sont d'ailleurs en voie de dégradation par manque de dynamique de la Broye. De nouveau, la Broye joue un rôle fondamental pour le transit de la faune forestière, d'où l'intérêt d'un cordon boisé riverain.

Le sous-réseau des milieux secs ne consiste qu'en les talus de la Broye entre Moudon et l'aval de Lucens. Ces talus constituent des îlots isolés qu'il semble difficile de rattacher à d'autres noyaux importants de prairies sèches.

11.1.5 *Ecosystèmes aquatiques*

L'écomorphologie actuelle de la Broye est très atteinte sur le secteur Moudon – Lac de Morat, principalement dû aux anciens travaux de correction fluviale. Le manque de végétation sur les berges favorise la hausse des températures de l'eau en été et donc l'apparition de la Maladie Rénale Proliférative (MRP). A cela se rajoute que le lit de la Broye est trop homogène et manque passablement de caches et d'abris pour les poissons.

Malgré une légère amélioration ces dernières années, la qualité de l'eau de la Broye se dégrade de l'amont vers l'aval, de par un effet d'accumulation des polluants.

La Broye possède un grand nombre d'espèces de poissons, 23 en total, dont 4 espèces sont considérées comme menacées. Les principales raisons sont la diminution des sites de reproduction naturels et la dégradation des habitats.

A cela s'ajoute que la végétation aquatique est très restreinte sur tout le linéaire, du aux grandes fluctuations de débit et le manque de diversité du lit.

Le comblement de ces déficits passe par le rétablissement d'une diversité structurelle du cours d'eau, en renforçant un cortège de milieux naturels aquatiques, amphibies et terrestres, ainsi que par le déroulement de processus actifs de dynamique alluviale, responsable de la formation de biotopes pionniers et de la création de milieux alluviaux.

Les milieux visés par la renaturation concernent en priorité les milieux des eaux courantes et les milieux humides associés à une dynamique alluviale. Afin de compléter l'offre en milieux aquatiques et

riverains, les habitats à privilégier sont ceux qui remplissent une fonction particulière comme relais sur le cordon biologique. Il s'agit des milieux associés aux eaux calmes.

Dans ce sens, un tableau d'espèces cibles a été dressé, ainsi qu'une liste de d'une dizaine de sites particuliers, pour la plupart des milieux naturels déjà existants qu'il conviendra de valoriser.

11.1.6 *Besoins en eau pour l'agriculture*

Les besoins actuels et futurs en eau d'irrigation pour l'agriculture dans la Broye ont été déterminés à l'aide d'une enquête auprès des utilisateurs. Les besoins en eau ainsi récoltés ont été déterminés par culture et par agriculteur et attribués à une commune sur la base de la localisation du siège d'exploitation et non sur la base de la localisation des parcelles irriguées.

Dans un premier temps, les besoins actuels recensés ont été définis. Ceux-ci comportent seulement les besoins des agriculteurs ayant répondu au questionnaire. Sur l'ensemble du territoire étudié, ces besoins couvrent une surface de 860 ha et un volume d'eau annuel de 655'000 m³. De manière générale, les agriculteurs souhaiteraient irriguer 15% de surface en plus s'il n'y avait pas de restrictions sur la quantité d'eau disponible.

Dans un deuxième temps, les besoins actuels ont été extrapolés sur la base d'une complétion des surfaces actuelles, définie par des préposés agricoles. Ainsi, l'extrapolation des besoins résulte en un volume annuel de 1'150'000 m³ pour une surface de presque 1'400 ha. Ces derniers chiffres sont considérés plus proches de la réalité dans le terrain. Les principales sources d'eau sont la Broye en milieu de plaine et la Petite Glâne plus au nord. Une grande partie des volumes d'eau d'irrigation pompés actuellement dans la Broye se concentre entre Villeneuve et Missy.

S'agissant des besoins futurs, les valeurs actuelles ont été augmentées de 25 % afin d'intégrer les prévisions climatiques (diminution des précipitations estivales et hausse des températures). Ainsi, les besoins annuels moyens par hectare sont d'environ 1'000 m³. Ceci ne tient toutefois pas encore compte de l'augmentation des surfaces cultivées. Les agriculteurs projettent d'augmenter d'environ 30% les surfaces irriguées à un horizon de 10 à 15 ans, ce qui conduirait à une surface de 1'820 ha. En considérant la totalité des surfaces potentiellement irrigables dans toutes les communes, on arrive à une surface maximale de 7'640 ha et un besoin en eau d'irrigation de 7'640'000 m³/an, des valeurs d'un ordre de grandeur supérieur aux besoins actuels.

Il convient de mentionner que, en prenant en compte les valeurs moyennes mensuelles du débit de la Broye, elle peut facilement supporter les charges de pompage dans tous les cas de figure, même futurs potentiels. Pour le pire des cas (mois de juillet), les pompages ne représentent que 13 % des volumes fournis par la Broye.

Actuellement, la surveillance des débits et des pompages est effectuée en fonction des débits instantanés et non pas moyens. En considérant les débits minimums journaliers plutôt que les moyennes mensuelles, la situation n'est évidemment plus pareille. Ceci est surtout vrai lors de sécheresses prolongées, périodes durant lesquelles les pompages sont interdits afin de respecter les débits minimaux, ou en considérant les besoins futurs potentiels en eau, lesquels peuvent dépasser ces valeurs de débit.

En guise de conclusion, la comparaison entre les débits de la Broye et les besoins en eau selon différents scénarios montre qu'à part la Broye et ses affluents, d'autres ressources en eau pourraient se révéler nécessaires et que des stratégies innovantes devraient être mises en place afin de couvrir les

besoins en eau d'irrigation dans la plaine de la Broye en période de sécheresse prononcée, situation qui risque de se produire plus fréquemment à l'avenir, ou/et dans le cas d'une augmentation significative des surfaces irriguées. Les pistes évoquées par les agriculteurs sont par exemple le pompage au lac, la création de bassins de rétention, l'amélioration de l'infrastructure existante ou une meilleure planification de l'irrigation. Une optimisation des apports en fonction d'un suivi plus serré des besoins des cultures pourrait également se révéler intéressante.

11.1.7 Plan des contraintes

Ce volet a consisté à rassembler aussi bien sur les territoires des cantons de Vaud et Fribourg les éléments et informations liés aux infrastructures, à l'aménagement du territoire et au foncier qui pourraient influencer les projets de renaturation, au niveau des coûts, des procédures à engager, ainsi que des problèmes à résoudre. Ces éléments font partie des « contraintes » cartographiées dans une série de couches SIG et représentés de manières thématiques sur des plans de synthèse à l'échelle du 1/10'000 avec comme fond de plan l'orthophoto datant de 2007 (annexes 9.1 à 9.5).

Le périmètre traité couvre la Broye entre Bressonnaz et l'embouchure dans le Lac de Morat sur une largeur correspondant aux parcelles bordières du cours d'eau.

Les éventuelles études détaillées ultérieures permettront d'approfondir les connaissances de ces éléments, notamment en ce qui concerne les servitudes inscrites au registre foncier et de cibler aux mieux les besoins des divers acteurs afin d'en tenir compte dans des secteurs où des travaux d'aménagement seront projetés.

Parmi les contraintes physiques les plus importantes, il s'agit de mentionner la route cantonale proche de la Broye à l'amont de Moudon et vers Lucens, la voie CFF longeant la Broye entre ces mêmes agglomérations et vers Villeneuve (FR), ainsi que les ouvrages d'art tels que les ponts. De plus, la conduite de gaz à haute pression, d'importance nationale est très contraignante puisqu'elle longe la Broye en rive droite sur 8.5 km entre Moudon et Trey.

Il s'agit de préciser que les propriétés et les droits inscrits au Registre foncier impliqueront des démarches foncières à entreprendre, particulièrement dans les secteurs où les travaux de renaturation demandent des emprises ou échanges de terrains. En première approche, la couche SIG et les plans de synthèse du parcellaire avec mention du type de propriétaire donnent une idée des propriétés bordières. Il est à rappeler que la plupart des communes traversées par le cours d'eau de la Broye ont fait l'objet de syndicats d'améliorations foncières volontaires ou liés à une EGT.

Enfin, les règles d'aménagement du territoire, par exemple l'inventaire des surfaces d'assolement, les zones d'affectation du sol, le cadastre des sites pollués, sites archéologiques, chemins de randonnées pédestres et les zones et secteurs de protection des eaux peuvent entrer potentiellement en conflit avec les projets de renaturation.

11.2 Approche suivie

Le présent diagnostic du tronçon de la Broye depuis l'amont de Moudon jusqu'au Lac de Morat a pour vocation de synthétiser l'état actuel du cours d'eau en termes sécuritaires, morphologiques et environnementaux, ainsi que de dresser la liste des contraintes du sol et des besoins en eau pour l'agriculture.

Le diagnostic est parti d'études préliminaires séparées en différents volets : l'hydraulique, la morphologie, l'historique de la plaine, les réseaux écologiques et les écosystèmes aquatiques, les besoins en eau, et finalement le plan des contraintes du sol. Ces études préliminaires ont chacun pour but de dresser le bilan actuel du domaine en question et de cartographier ceci de manière claire et succincte. Afin de ne pas biaiser d'office l'analyse des différents volets d'étude, aucune interaction n'a été recherchée lors de cette phase entre les différents volets.

Dans un deuxième temps, les cartographies des différents volets ont été regroupées dans un environnement SIG sous forme de couches multiples et combinables à souhait. De cette manière, et en disposant de toutes les couches concernées, le futur utilisateur de cette information pourra regrouper et recouper les couches comme bon lui semble, en fonction du projet à faire et de l'information pertinente recherchée.

Le diagnostic de la Broye tel que présenté dans ce rapport ne veut clairement pas entrer en matière sur ce travail de fond, travail qui sera indispensable à la définition de futures idées et projets de renaturation. Toutefois, afin de rendre le rendu complet et en même temps lisible et compréhensif, un pré-découpage en 15 secteurs a été fait du tronçon étudié, correspondant à 15 fiches de travail.

Chacune de ces fiches présente succinctement l'état actuel des différents volets, ainsi que les potentialités et contraintes globales. Ces fiches n'ont nullement pour but d'orienter le choix des éventuels projets futurs, ceci devant être le fruit de mûres réflexions entre les différents acteurs concernés par secteur.

Sous cet angle, le présent rapport et ses annexes invitent le lecteur de prendre acte du diagnostic de l'état actuel de la Broye et de laisser aller son imagination jusqu'à la suggestion d'idées de renaturation qui permettent de combler les actuals déficits et qui sont en synergie avec les multiples contraintes locales, dont notamment les besoins en eau pour l'agriculture.

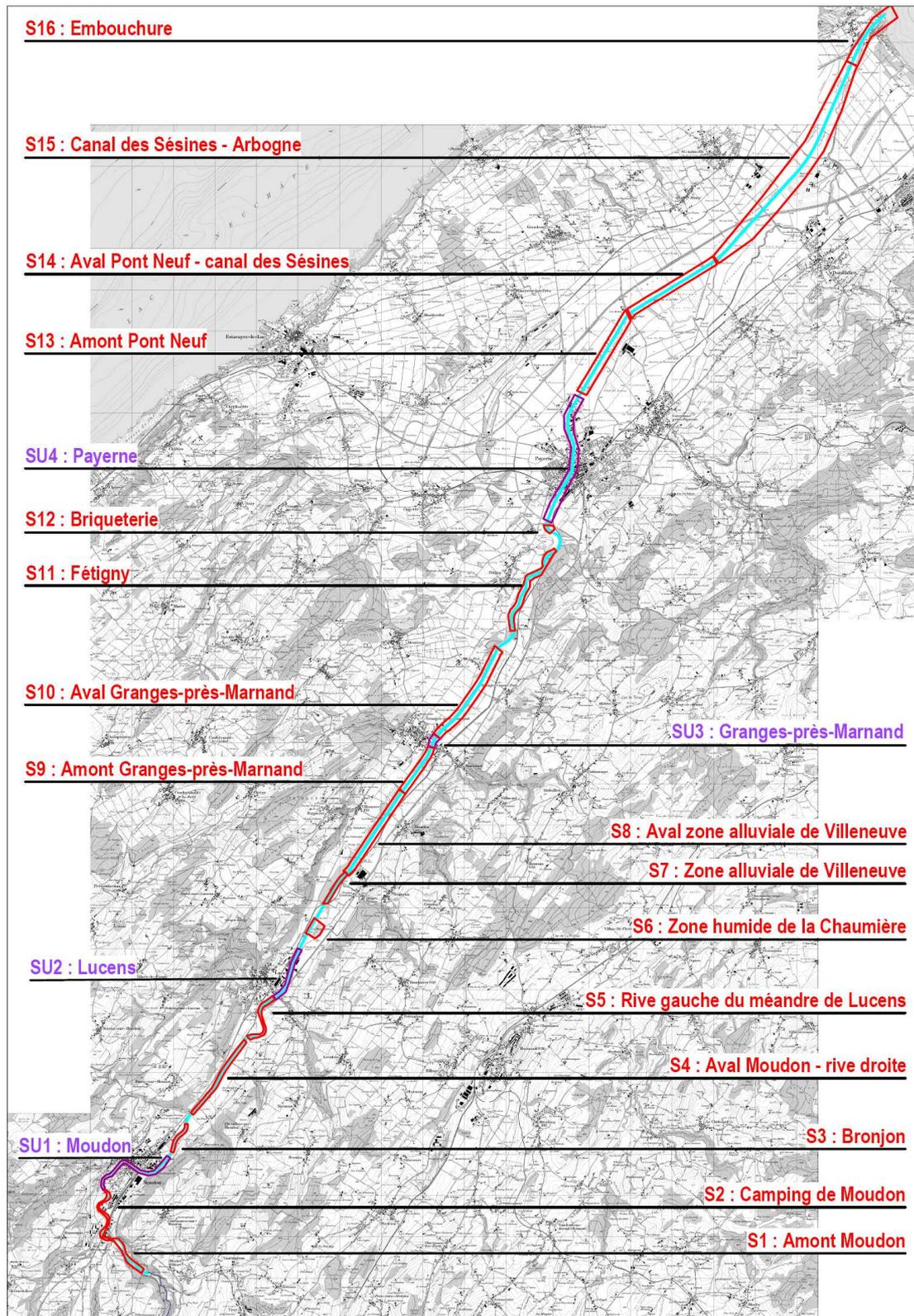


Figure 40 : Carte des secteurs