SUIVI DE L'EROSION DANS LES SECTEURS DE CHALETS DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHATEL ET PRINCIPES D'INTERVENTION



Chalets dans le secteur de Trouville, réserve naturelle des Grèves de La Motte, commune de Cudrefin (VD)

Groupe d'étude et de gestion de la Grande Cariçaie Champ-Pittet 1400 Yverdon-les-Bains Burri & Pavid Ing. Civils EPF-SIA-USIC Av. des Sports 14 1400 Yverdon-les-Bains

1 INTRODUCTION	2
2 METHODES	4
2.1 Secteurs considérés	4
2.2 Interprétation de la ligne de rive	4
2.3 Campagne complémentaire sur le terrain	5
3 PRINCIPES D'INTERVENTION	6
3.1 Particularités liées aux réserves naturelles	6
3.2 Urgence d'intervention en terme de lutte contre l'érosion	6
3.3 Types d'aménagement	8
4 RESULTATS	10
4.1 Secteur de Portalban	10
4.1.1 Généralités	10
4.1.2 Evaluation de l'érosion	10
4.1.3 Synthèse et priorités d'intervention	12
4.2 Secteur de Delley-Chabrey	13
4.2.1 Généralités	13
4.2.2 Evaluation de l'érosion	13
4.2.3 Synthèse et priorités d'intervention	15
4.3 Secteur de Trouville	16
4.3.1 Généralités	16
4.3.2 Evaluation de l'érosion	16
4.3.3 Synthèse et priorités d'intervention	18
4.4 Secteur du port de Cudrefin	19
4.5 Bilan	21
5 SOLUTIONS TECHNIQUES ET ESTIMATION DES COUTS	22
5.1 Bilan par catégorie d'urgence d'intervention	22
5.2 Bilan par commune	23
6 CONCLUSION	24
ANNEXE 1	
Fiches des DDP ou parcelles à priorité élevée (P1)	25
ANNEXE 2	26
Fiches des solutions techniques	26
ANNEXE 3 Estimation des coûts des solutions techniques, au mètre linéaire, selon diverses offres d'entreprises	27

1 INTRODUCTION

L'érosion sur la Rive sud est évaluée depuis plusieurs années par le biais du suivi du recul de la ligne de rive, celle-ci étant définie comme la limite de séparation entre les surfaces lacustres submergées et libres de végétation émergente et les surfaces émergées ou à végétation émergente. Le suivi de la ligne de rive est basé sur la comparaison de plusieurs jeux d'orthophotos (1981, 1994, 2001, 2003, 2007).

Les tableaux ci-dessous rendent compte des longueurs de rive faisant l'objet d'une régression, respectivement d'une progression continue entre 1981 et 2007 et la vitesse moyenne de celle-ci pour différents laps de temps.

	km de rive	Dynamique	Vitesse annuelle moyenne 1981 - 2007 (m/année)
Dans réserves naturelles	13,2	Régression continue	- 0.47
	13,9	Progression continue	0.61
Hors réserves naturelles	2,2	Régression continue	- 0.18
	1,4	Progression continue	0.41

Tableau 1 : Vitesse annuelle moyenne (m/année) de progression ou de régression continue de la ligne de rive dans ou hors des réserves naturelles de la Grande Cariçaie durant la période 1981-2007.

	Vitesse annuelle moyenne (m/année)	
1981 – 1994	- 0.05	
1994 – 2001	0.10	
2001 – 2007	0.30	
1981 - 2007	0.07	

Tableau 2 : Vitesse annuelle moyenne (m/année) de régression ou de progression de la ligne de rive dans et hors des réserves naturelles de la Grande Cariçaie pour différentes périodes entre 1981 et 2007.

Ces tableaux montrent qu'à l'échelle globale de la rive, le bilan entre surfaces perdues et surfaces gagnées est aujourd'hui légèrement positif. Il l'est aussi bien dans les réserves que hors réserves. Dans ce dernier cas de figure, la situation est même plus favorable. Ce constat s'explique par les aménagements portuaires, en particulier les digues perpendiculaires à la rive qui assurent des zones d'eau plus calme où les roselières peuvent se développer.

A l'échelle d'une réserve, la situation peut varier significativement comme le montre le tableau ci-dessous. Les réserves les plus touchées par l'érosion sont celles qui sont le plus fortement exposées à la bise ou au vent.

Réserve naturelle	km de rive concernées	Vitesse annuelle moyenne 1981 - 2007 (m/année)
Cheseaux-Noréaz	3.7	- 0.61
Yvonand	3.4	0.17
Cheyres	4.4	- 0.09
Corbière	5.9	0.42
Ostende	4.7	0.40
La Motte	5.5	- 0.03
Dans réserves naturelles	27.6	0.08
Hors réserves naturelles	5.2	0.04
Total	32.8	0.07

Tableau 3 : Vitesse annuelle moyenne (m/année) de régression ou de progression de la ligne de rive dans et hors des réserves naturelles de la Grande Cariçaie durant la période 1981-2007.

Enfin au sein même des réserves, des cas de figure très différents sont observables suivant la morphologie de la rive et la présence ou non de champs de végétation aquatique.

Pour cette raison, la problématique de l'érosion au droit des chalets est d'importance très variable suivant le secteur considéré.

Seuls les secteurs de chalets, dans les réserves des Grèves d'Ostende et de la Motte, affichent un recul chronique de leur ligne de rive. Le chapitre 4 rend donc compte de la situation propre à chaque DDP ou parcelle louée (ci-après appelé objet) dans ces secteurs précis. Préalablement des précisions sur la méthodologie sont données au chapitre 2, suivies au chapitre 3 des principes généraux d'intervention en matière de lutte contre l'érosion dans les réserves naturelles.

Le chapitre 5 présente une première estimation des coûts nécessaires à la mise en oeuvre de mesures de lutte contre l'érosion pour les objets jugés prioritaires.

2 METHODES

2.1 Secteurs considérés

Au sein des réserves naturelles des Grèves d'Ostende et des Grèves de la Motte et de. quatre secteurs sont soumis à une érosion chronique. Il s'agit du :

- secteur nommé « Portalban », situé à l'ouest du port de Delley sur territoire de la commune de Delley-Portalban (FR) ;
- secteur nommé « Delley-Chabrey », situé à l'est du port de Delley sur territoire des communes de Delley-Portalban (FR) et Chabrey (VD);
- secteur nommé « Trouville », situé sur les grèves au bas du hameau de Champmartin, sur territoire de la commune de Cudrefin (VD) ;
- secteur nommé « Port de Cudrefin », situé à l'ouest du port de Cudrefin sur territoire de la commune de Cudrefin (VD).



Figure 1 : Secteurs de rive couverts par l'étude.

2.2 Interprétation de la ligne de rive

Comme pour l'évaluation globale de l'érosion à l'échelle de la rive, l'évaluation de l'érosion dans les secteurs précités a été réalisée par comparaison des lignes de rive de différentes époques, restituées sur des orthophotos. La précision de la restitution peut être estimée à environ 1 mètre. Des campagnes de vérification de terrain ont permis, pour certaines lignes de rive, de lever les incertitudes apparues lors de l'interprétation photographique. 5 séries de photographies aériennes ont été utilisées pour ce suivi :

1979-1981 : série noir-blanc couvrant la rive d'Yverdon-les-Bains au port de Cudrefin (1979 : Yverdon-les-Bains-Yvonand, 1981 : Yvonand-port de Cudrefin) ; la restitution de la ligne de rive a été réalisée en 2001, sans vérifications de terrain.

1992-1994 : série vraies couleurs couvrant la rive d'Yverdon-les-Bains au port de Cudrefin (1994 : Yverdon-les-Bains-Portalban, 1992 : Portalban-port de Cudrefin) ; la restitution de la ligne de rive a été réalisée entre 1992 et 1997, avec vérifications de terrain.

2001 : série vraies couleurs couvrant la rive d'Yverdon-les-Bains au port de Cudrefin ; la restitution de la ligne de rive a été réalisée en 2001, sans vérifications de terrain :

2003 : série vraies couleurs couvrant la rive d'Yverdon-les-Bains au canal de la Broye; la restitution de la ligne de rive a été réalisée en 2005, avec vérifications de terrain ;

2007 : série vraies couleurs couvrant la rive d'Yverdon-les-Bains au Fanel ; la restitution de la ligne de rive a été réalisée en 2008-2009, avec vérifications de terrain ;

Les résultats cartographiques de la restitution des lignes de rive ont été croisés par intersection à l'aide de l'outil SIG. Seules les surfaces contiguës caractéristiques d'une régression continue ou d'une progression continue de la ligne de rive, de la première à la dernière période considérée, ont été retenues. Le bilan du mouvement de la ligne de rive a été calculé en sommant ces surfaces pour chaque période puis en divisant le résultat obtenu par la longueur de rive considérée et le nombre d'année de la période, de façon à obtenir une vitesse de régression continue ou de progression continue de la ligne de rive pour la période considérée.

2.3 Campagne complémentaire sur le terrain

Une campagne de terrain, réalisée en juillet-août 2009 en bateau, a permis de relever, pour les (groupes de) DDP ou les (groupes de) parcelles les plus problématiques, les données complémentaires suivantes :

- sur la beine lacustre, en 4 points progressivement éloignés de la rive (soit à environ 5 m, 15 m, 25 m et 35 m) le long d'un transect représentatif des compartiments de beine lacustre 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m et 30-40 m :
 - le niveau de la beine, calculé par soustraction de la hauteur d'eau mesurée au double-mètres à la valeur du niveau des eaux du lac de Neuchâtel le jour de la mesure; la valeur obtenue a été arrondie au décimètre;
 - le recouvrement de la beine par la végétation macrophytique, selon la catégorisation 0 %, 0-1 %, 1-5 %, 5-25 %, 25-50 %, 50-75 % et 75-100% ;
 - la granulométrie de la beine en surface, soit sable ou vase ;
 - l'épaisseur des sédiments meubles de la beine, mesurée à l'aide d'un fer à béton enfoncé manuellement ;
 - la présence de paliers d'érosion ;

- sur la rive :

- la naturalité de la rive et sa caractérisation générale si la rive est jugée naturelle ;
- le(s) type(s) d'ouvrage(s) de protection de la rive, leur état et leur hauteur hors beine lacustre;
- le nombre et le type d'infrastructures de loisir.

Ces données complémentaires ont été implémentées dans le SIG du GEG.

3 PRINCIPES D'INTERVENTION

3.1 Particularités liées aux réserves naturelles

Les secteurs de chalets considérés, outre le fait qu'ils soient en réserves naturelles, sont tous situés dans des périmètres soumis à l'Ordonnance fédérale sur les sites marécageux d'importance nationale ainsi qu'à l'Ordonnance sur les zones alluviales d'importance nationale. Les terrains concernés sont par ailleurs propriétés de l'Etat (domaine privé ou public), et ce dernier est responsable de les gérer sur la base des bases légales existantes. Sur la base de l'article 5, de l'Ordonnance fédérale sur les sites marécageux, les cantons doivent notamment veiller à ce que :

- l'aménagement et l'exploitation admissibles selon l'art. 23d, al. 2, LPN, ne portent pas atteinte aux éléments caractéristiques des sites marécageux;
- des installations et constructions, autres que celles relatives à l'aménagement et l'exploitation réglés sous lettre c, qui ne servent ni à l'entretien des biotopes, ni au maintien des habitats typiques, ne soient érigées ou agrandies que si elles ont une importance nationale, ne puissent être réalisées qu'à l'endroit prévu et n'entrent pas en contradiction avec les buts visés par la protection;

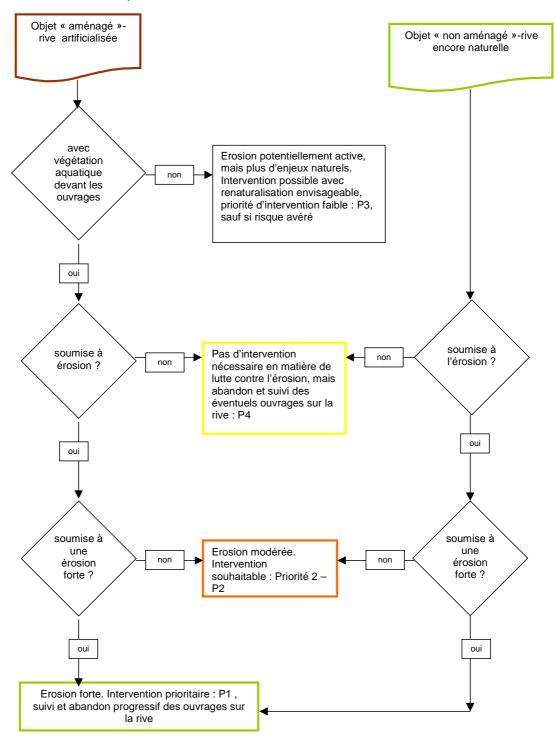
De plus sur la base de l'article 21 de la Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN), les cantons doivent, dans la mesure du possible, faire en sorte que les rives soient couvertes d'une végétation suffisante ou du moins à ce que soient réalisées les conditions nécessaires à son développement.

C'est notamment pour cette raison que depuis 1996, les travaux de lutte contre l'érosion initiés par les cantons dans les réserves naturelles n'ont plus été conduits sur la rive, mais à quelques mètres ou dizaines de mètres de celle-ci pour conserver la valeur naturelle et paysagère de l'écosystème riverain, maintenir le fonctionnement écologique de la beine et en particulier les échanges lac-beine-marais. Pour cette même raison, la lutte contre l'érosion au droit des chalets ne doit pas empêcher ces mêmes échanges et prétériter une éventuelle renaturalisation de la rive quand bien même celle-ci peut déjà avoir l'objet d'aménagement antérieurs. Sauf risque avéré de menace sur un ouvrage construit, les interventions d'enrochement de la rive ne devraient par conséquent plus être autorisées. De même, celles visant à restaurer des ouvrages sur la berge devraient être abandonnées, au profit d'aménagements permettant de recréer un continuum de végétation entre le lac et les marais. L'abandon de ces ouvrages devra cependant être suivi afin de s'assurer qu'ils ne constituent pas une menace pour les usagers. Enfin selon la même logique et en particulier sur la base de l'alinéa 1 de l'article 21 de la LPN, la végétation des rives (roselières et jonchères, végétation alluviale et autres formations végétales naturelles riveraines) ne doit pas être essartée ni recouverte ou détruite d'une autre manière. Ainsi toutes les mesures destinées à contenir la végétation aquatique pour se ménager des accès au lac pour la navigation ou la baignade, par le biais d'essartage ou de faucardage, doivent être proscrites.

3.2 Urgence d'intervention en terme de lutte contre l'érosion

Etant admis qu'il est plus facile de préserver une végétation existante que de restaurer une végétation détruite par le fait de cause naturelle ou artificielle, la mise en place de nouveaux aménagements de lutte contre l'érosion devrait être prévue en premier lieu devant les objets soumis à une érosion chronique, encore pourvu d'une ceinture de

végétation aquatique. L'évaluation de l'urgence d'intervention est basée sur les données mesurables que l'on peut obtenir de l'interprétation des orthophotos (recul de la rive). Cela signifie que dans le cas d'objets déjà dotés d'ouvrages de lutte contre l'érosion et dépourvus de végétation aquatique, l'urgence est difficilement évaluable. Ce principe n'empêche pas que des mesures de lutte contre l'érosion soeint mises en oeuvre ailleurs si un risque avéré de menace pour un bien construit était constaté. En fonction de l'état actuel de la rive (aménagée ou non), de la présence ou non de végétation aquatique et de l'intensité de l'érosion qui touche celle-ci, 4 degrés d'urgence ont été définis (cf. schéma décisionnel):



- P1 : Urgence élevée : cette catégorie concerne les objets qui possèdent soit encore une rive naturelle soit des aménagements de protection situés à l'arrière massifs de roselières, et qui tous deux montrent une érosion forte de leur ceinture de végétation aquatique (> 0.4 m/an);
- P2 : Urgence modérée :cette catégorie ne se distingue de la première que par le degré d'intensité de **l'érosion noté comme plus faible** (entre 0.2 et 0.4 m/an);
- P3 : Urgence à préciser en fonction du risque encouru par les résidents et les menaces sur les biens dont ils sont propriétaires : cette catégorie concerne les objets sans ceinture de végétation aquatique bénéficiant déjà d'aménagements de protection, susceptibles de devoir périodiquement être refaits
- P4 : Aucune urgence : cette catégorie concerne les objets, bénéficiant ou non d'aménagements de protection, qui ne présentent aucun signe d'érosion et qui, pour la plupart, sont à l'abri d'importants massifs de roselière lacustre en progression ;

3.3 Types d'aménagement

Pour répondre aux exigences légales, les mesures de lutte contre l'érosion doivent permettre un développement naturel et dynamique de la ceinture de végétation aquatique sans porter atteinte à la rive. De fait, les nouveaux aménagements doivent être déconnectés de la rive. Chaque fois que la situation le justifie (degré d'urgence analogue) et pour des questions de rationalisation des coûts, les interventions devraient être coordonnées entre propriétaires afin de traiter l'entier du secteur considéré.

Le choix des mesures techniques s'est basé sur les performances et le coût relatif des aménagements testés dans le cadre du tronçon pilote de Cheseaux-Noréaz.

Pour rappel, plusieurs types d'ouvrages avaient été mis en place :

- ouvrages en enrochements, d'une part au large sous forme de digues brise-lames et d'îles pour les oiseaux, d'autre part à la rive en forme d'épis longs et perpendiculaires à la berge
- ouvrages préfabriqués en béton, type récif artificiel immergé au large
- ouvrages en bois, proches de la rive, en forme de palissades à claire-voies, de palissades en pieux jointifs et d'épis perpendiculaires en pieux jointifs.

Les ouvrages en enrochements immergés et les récifs artificiels ne peuvent pas être implantés dans des secteurs ouverts à la navigation ; les observations des effets de ces ouvrages sur la beine et la ligne de rive montrent par ailleurs que leur efficacité est plus faible que celle des ouvrages émergents et massifs. Ces deux raisons ont conduit à écarter ces types d'ouvrages au droit des chalets.

Les digues brise-lames avec un couronnement situé au-dessus du niveau des hautes eaux sont efficaces mais très chères, notamment en raison des coûts de fourniture des enrochements, de transports par chalands et de construction dans le lac. Ce type d'ouvrage n'a pas été retenu parce que jugé d'un prix disproportionné pour des interventions limitées à quelques dizaines de mètres de rive.

Les palissades à claire-voie ne sont pas adaptées à la beine sableuse de la rive sud du

lac de Neuchâtel, contrairement au lac de Bienne où ces types d'ouvrages ont donné de bons résultats. Les différents tests réalisés dans le tronçon-pilote avec des remplissages en fascines de saules et avec des boudins en fibres de coco ont montré que ces ouvrages ne résistent pas aux vagues de forte amplitude résultant de la grande longueur de fetch du lac de Neuchâtel. Une solution de remplissage des palissades au moyen de gabions s'est révélée plus concluante, mais on ne dispose pas encore d'un recul suffisant pour évaluer la résistance, la stabilité et la durabilité de ce type de palissade.

Finalement les palissades et les épis en pieux jointifs ou non-jointifs offrent le meilleur rapport efficacité/prix. Plusieurs ouvrages ont déjà été réalisés, à l'Est de la plage d'Yverdon-les-Bains, devant Châbles et à Estavayer-le-Lac, avec des résultats encourageants. Ce sont donc elles qui sont préconisées dans le cadre de lutte contre l'érosion au droit des chalets. Dans certains cas, ces palissades pourraient être couplées à un reprofilage de la rive. Le coût par mètre courant de ces palissades est le plus bas de tous les ouvrages testés dans le tronçon-pilote. Il se rapproche du coût d'un enrochement de la rive, système classique, économique et éprouvé pour stopper l'érosion de la berge mais qui n'empêche pas l'érosion de la beine sableuse et qui n'est pas compatible avec les enjeux de protection des réserves naturelles.

L'annexe 2 présente une série de fiches techniques d'aménagement de palissades. Ces fiches techniques ont pour but de permettre une évaluation rapide et fiable du coût d'une palissade en fonction du type choisi, de la longueur de l'ouvrage et du mode de construction (depuis le lac ou la rive). Il convient de préciser que ces indications ont un caractère général et ne sont pas suffisantes pour décider de l'implantation et de la construction d'une palissade. Chaque ouvrage de protection contre l'érosion de la beine et de la rive devant un chalet ou un groupe de chalets nécessitera :

- une analyse des conditions locales (exposition aux vagues, structure de la beine et de la rive, accessibilité, etc.)
- des relevés, à l'emplacement de l'ouvrage projeté, de la bathymétrie, de la ligne de rive et du terrain adjacent, par GPS ou polygonale et nivellement une vérification des profondeurs de battage ou fonçage des pieux pour assurer une fiche suffisante et garantir la résistance de l'ouvrage un projet d'exécution basé sur les investigations susmentionnées
- un appel d'offres spécifiques, élaborées en fonction du projet d'exécution, des contraintes locales et des conditions particulières prescrites par le maître de l'ouvrage ou les services cantonaux concernés
- une demande d'autorisation de construire conformément à la procédure légale.

Les prix figurant au bas des fiches techniques sont indicatifs. Ils résultent de la consultation d'entreprises effectuée en septembre 2009 et correspondent à l'indice des prix à la consommation IPC 103.1 (décembre 2005 = 100).

4 RESULTATS

4.1 Secteur de Portalban

4.1.1 Généralités

La longueur rectiligne de ce secteur de rive est d'environ 650 mètres. Les 2/3 ouest de la rive abritent des massifs de roselière lacustre et sont stabilisés, par segments discontinus, par des ouvrages de protection. Le 1/3 est du secteur est complètement dépourvu de roselière lacustre et stabilisé par une ligne continue d'enrochements protégeant un chemin d'accès caillouteux longeant une lignée de chalets.

La beine lacustre montre des signes d'envasement superficiel à l'ouest du secteur, les massifs de roselière lacustres n'étant certainement pas étrangers à ce phénomène. Le recouvrement des macrophytes est plus important à l'est du secteur où il dépasse souvent 25 %, alors qu'il ne dépasse que rarement 5 % à l'ouest. Le profil topographique moyen du secteur montre une beine de pente régulière, plutôt forte mais sans pallier important à proximité de la limite séparant les eaux du lac de la terre ferme (par niveau moyen du lac la hauteur d'eau moyenne est d'environ 60 cm à environ 5 m du rivage). Le secteur compte 16 infrastructures riveraines (pontons, slips de mise à l'eau).

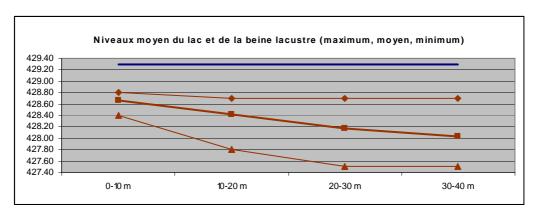


Figure 2 : Niveaux moyen du lac (bleu) et de la beine (rouge) (m) du secteur de Portalban.

4.1.2 Evaluation de l'érosion

L'observation de photos aériennes datées de 1954 montre un secteur peu protégé caractérisé par la présence d'une large ceinture de grèves sableuses. Pendant la période de la 2^{ème} correction des eaux du Jura (1962-1973) le secteur évolue rapidement : les grèves de sables disparaissent, de nombreux nouveaux chalets sont construits, des ouvrages de protection, séparant les eaux du lac des marais émergés, sont aménagés et dès 1979 le secteur prend l'aspect de celui qu'on lui connaît aujourd'hui. Dès lors seules les parties naturelles du secteur, essentiellement les massifs de roselière lacustre à l'ouest, présentent encore un dynamisme spatial marqué, leur front aval (côté lac) se stabilisant ou régressant légèrement et leurs fronts arrière (côté marais) ou latéraux progressant nettement jusqu'en 2007.

Cette dynamique permet aujourd'hui l'établissement d'un cordon de roselière lacustre presque continu et en contact direct avec les parcelles louées dans la moitié ouest du secteur, se substituant au rôle protecteur des ouvrages de protection aménagés pendant

la 2^{ème} correction des eaux du Jura.

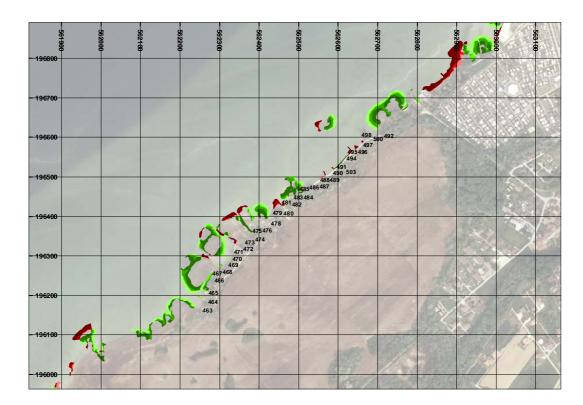


Figure 3 : Dynamique de la rive du secteur de Portalban. En vert : progression continue de la ligne de rive En rouge : régression continue de la ligne de rive. Les nuances de couleur, de la plus foncée à la plus claire, correspondent respectivement aux périodes 1981-1994, 1994-2001 2001-2003 et 2003-2007. Les numéros figurent les parcelles.

	1981-2001	2001-2007	1981-2007
Secteur parcelles	0.35	0.69	0.40
Hors secteur parcelles	0.33	0.53	0.35
Secteur complet	0.34	0.61	0.37

Tableau 4 : Vitesse (m/an) de régression continue ou de progression continue de la ligne de rive du secteur de Portalban. Le terme « Hors secteur parcelles » désigne un secteur de rive naturelle de référence immédiatement à l'ouest du secteur de parcelles et de même longueur que ce dernier.

	A érosion	A érosion localisée	Sans érosion
Rive naturelle		472 473 474	462 466 476 477 492
Rive protégée	485 486 487 488 489 490	475	463 464 465 467 468 469
	491 493 494 495 496 497		470 471 478 479 480 481
	498 499 503		482 483 484 500

Tableau 5 : Classification des parcelles du secteur de Portalban en fonction de l'intensité de l'érosion. Remarques : Les termes « A érosion » ou « A érosion localisée » correspondent à un recul de la ligne de rive supérieur à 0.2 m/an durant la période 1981-2007. Les parcelles protégées dépourvues de végétation aquatique, supposées soumises à l'érosion, ont été classées dans la classe « A érosion ».

4.1.3 Synthèse et priorités d'intervention

Le secteur de parcelles de Portalban est celui présentant le bilan le plus favorable. A l'abri du port de Delley, largement protégé par des ouvrages (essentiellement des enrochements) et abrité par d'importants massifs de roselière lacustre pour la plupart en nette progression depuis 1979, ce secteur doit bénéficier d'une surveillance de l'évolution de ses segments de rive encore naturels et d'une éventuelle renaturalisation du segment de rive en enrochements de son 1/3 est.

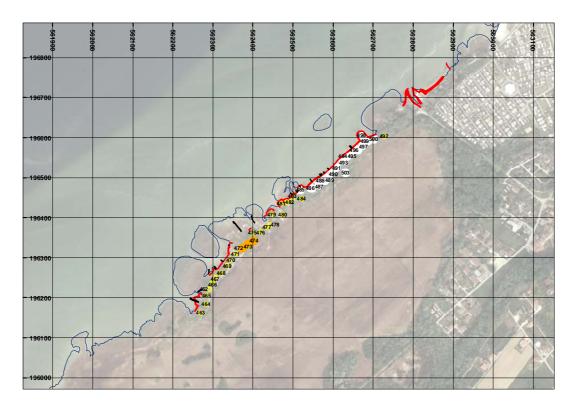


Figure 4 : Carte des parcelles du secteur de Portalban en fonction de l'urgence d'intervention .

En jaune : aucune urgence ; en blanc : urgence faible ; en orange : urgence modérée.

En rouge : ouvrages de protection de la rive ; en noir : infrastructures de loisir ; en bleu : ligne de rive 2007.

Urgence	Nombre de parcelles
	No parcelle
	Longueur de rive (%)
Aucune (P4)	21
	462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 492
	360 m (55%)
Faible (P3) sauf si	16
risque avéré	485 486 487 488 489 490 491 493 494 495 496 497 498 499 500 503
	240 m (37%)
Modérée (P2) sauf	3
si risque avéré	472 473 474
	50 m (8 %)
Elevée (P1)	-

Tableau 6: Classification des parcelles du secteur de Portalban en fonction de l'urgence d'intervention.

4.2 Secteur de Delley-Chabrey

4.2.1 Généralités

La longueur rectiligne de ce secteur de rive est d'environ 950 mètres. Le 1/3 ouest de la rive est à l'abri de massifs de roselière lacustre et stabilisés par des ouvrages de protection presque continus. Les 2/3 est du secteur sont presque complètement dépourvus de roselière lacustre et stabilisés par une ligne presque continue d'enrochements.

La beine lacustre ne montre pas de signes importants d'envasement superficiel. Le recouvrement des macrophytes est important, dépassant souvent 50 %. Le profil topographique moyen du secteur montre une beine de pente régulière, plutôt forte, avec un pallier relativement important à proximité de la limite séparant les eaux du lac de la terre ferme (par niveau moyen du lac la hauteur d'eau moyenne est d'environ 100 cm à environ 5 m du rivage).

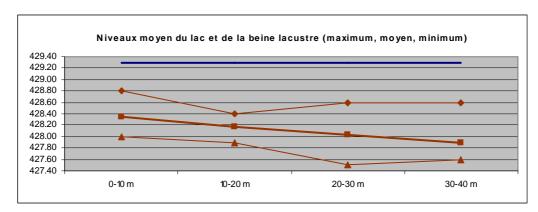


Figure 5: Niveaux moyens du lac (bleu) et de la beine (rouge) (m) du secteur de Delley-Chabrey.

4.2.2 Evaluation de l'érosion

L'observation de photos aériennes datées de 1954 montre un secteur dont la moitié ouest (commune de Delley FR) ressemble déjà à la situation d'aujourd'hui et une moitié est (commune de Chabrey VD) peu protégée, caractérisée par la présence d'une large ceinture de grèves sableuses. Pendant la période de la 2^{ème} correction des eaux du Jura (1962-1973) cette moitié évolue rapidement, de la même manière que ce qui a été constaté pour le secteur de Portalban : les grèves de sables disparaissent, de nombreux nouveaux chalets sont construits, des ouvrages de protection, séparant les eaux du lac des marais émergés, sont aménagés et dès 1979 cette moitié de secteur prend l'aspect de celui qu'on lui connaît aujourd'hui. A partir de 1979 le secteur est marqué par une faible expansion des fronts latéraux des massifs de roselière lacustre, d'une forte régression de leur front aval et d'un fort recul des segments de rive naturelle dépourvus de roselière lacustre, essentiellement dans la moitié est.

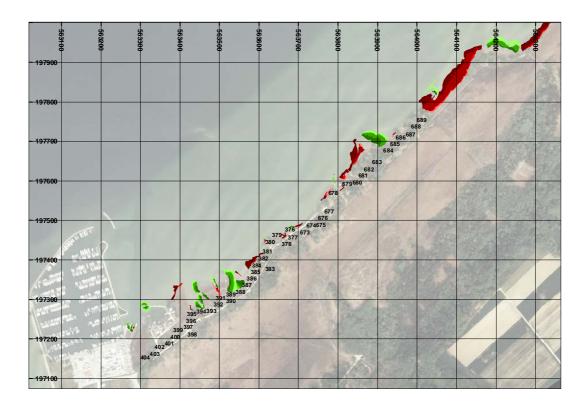


Figure 6 : Dynamique de la rive du secteur de Delley-Chabrey. En vert : progression continue de la ligne de rive En rouge : régression continue de la ligne de rive. Les nuances de couleur, de la plus foncée à la plus claire, correspondent respectivement aux périodes 1981-1994, 1994-2001 2001-2003 et 2003-2007. Les numéros figurent les DDP ou les parcelles.

	1981-2001	2001-2007	1981-2007
Zone DDP ou parcelles	- 0.04	0.03	- 0.02
Hors zone DDP ou	- 0.22	- 0.04	- 0.16
parcelles			
Zone complète	- 0.13	0.00	- 0.09

Tableau 7 : Vitesse (m/an) de régression continue ou de progression continue de la ligne de rive du secteur de Delley-Chabrey. Le terme « Hors secteur DDP ou parcelles » désigne un secteur de rive naturelle de référence immédiatement à l'ouest du secteur de DDP ou parcelles et de même longueur que ce dernier.

	A érosion	A érosion localisée	Sans érosion
Rive naturelle	679 680 681 682 683		391
Rive protégée	376 377 378 379 380 381		388 389 390 392 393 394
	382 383 384 385 386 387		395 396 397 398 399 400
	673 674 675 676 677 678		401 402 403 404 405 684
	685 686 687 688 689		

Tableau 8 : Classification des DDP ou parcelles du secteur de Delley-Chabrey en fonction de l'intensité de l'érosion. Remarques : Les termes « A érosion » ou « A érosion localisée » correspondent à un recul de la ligne de rive supérieur à 0.2 m/an durant la période 1981-2007. Les DDP ou parcelles protégées dépourvus de végétation aquatique, supposées soumises à l'érosion, ont été classés dans la classe « A érosion ».

4.2.3 Synthèse et priorités d'intervention

Le secteur de DDP ou parcelles de Delley-Chabrey est celui présentant le bilan le plus défavorable. Exposé aux courants lacustres, particulièrement dans sa prolongation est où la rive a reculé de plus de 30 mètres depuis 1979, faiblement abrité par des massifs de roselière lacustre aux surfaces réduites et, pour certains, en régression depuis 1979, ce secteur a été largement protégé par des ouvrages (essentiellement des enrochements). Il doit bénéficier, dans sa moitié est, d'une protection de son segment de rive encore naturel et soumis à une érosion forte, ainsi que d'une éventuelle renaturalisation des segments de rive en enrochements.

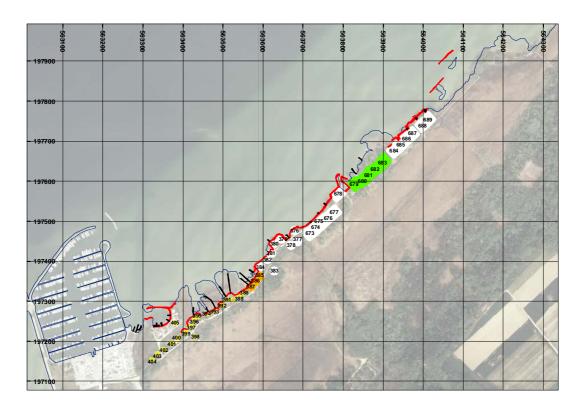


Figure 7: Carte des DDP et parcelles du secteur de Delley-Chabrey en fonction de l'urgence d'intervention.

En jaune : aucune urgence ; en blanc : urgence faible ; en orange : urgence modérée ; en vert :

urgence élevée. En rouge : ouvrages de protection de la rive ; en noir : infrastructures de loisir ;

en bleu : ligne de rive 2007.

Urgence	Nombre de DDP ou parcelles
•	No DDP ou No parcelle
	Longueur de rive (%)
Aucune (P4)	18
	388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405
	300 m (32 %)
Faible (P3) sauf si	21
risque avéré	376 377 378 379 380 381 382 383 384 673 674 675 676 677 678 684 685 686 687 688 689
	460 m (48 %)
Modérée (P2) sauf	3
si risque avéré	385 386 387
	60 m (6 %)
Elevée (P1)	5
	679 680 681 682 683
	130 m (14 %)

Tableau 9 : Classification des DDP ou parcelles du secteur de Delley-Chabrey en fonction de l'urgence d'intervention.

4.3 Secteur de Trouville

4.3.1 Généralités

La longueur rectiligne de ce secteur de rive est d'environ 1200 mètres. Le 1/3 ouest de la rive est à l'abri de massifs de roselière lacustre et stabilisé par des ouvrages de protection presque continus. Les 2/3 est du secteur sont presque complètement dépourvus de roselière lacustre et stabilisés par une ligne presque continue d'enrochements.

La beine lacustre ne montre pas de signes importants d'envasement superficiel. Le recouvrement des macrophytes est important, dépassant souvent 50 %. Le profil topographique moyen du secteur montre une beine de pente régulière, plutôt forte, avec un pallier relativement important à proximité de la limite séparant les eaux du lac de la terre ferme (par niveau moyen du lac la hauteur d'eau moyenne est d'environ 100 cm à environ 5 m du rivage).

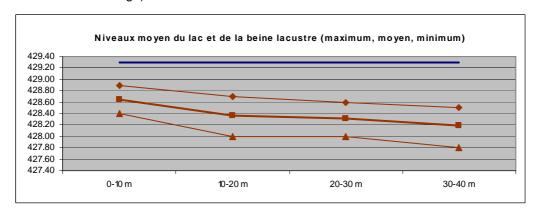


Figure 8 : Niveaux moyen du lac (bleu) et de la beine (rouge) (m) du secteur de Trouville.

4.3.2 Evaluation de l'érosion

L'observation de photos aériennes datées de 1954 montre un secteur déjà densément occupé par des chalets et relativement protégé, caractérisé par la présence de grèves sableuses intercalaires plus étroites que celles des secteurs précédents. Pendant la période de la 2^{ème} correction des eaux du Jura (1962-1973) les grèves de sables disparaissent, peu de nouveaux chalets sont construits et des ouvrages de protection, séparant les eaux du lac des marais émergés, complètent le système existant ; dès 1979 le secteur prend l'aspect de celui qu'on lui connaît aujourd'hui. Dès lors seules les parties naturelles du secteur, essentiellement les massifs de roselière lacustre, présentent encore un dynamisme spatial marqué, le front aval (côté lac) des massifs les plus avancés régresse fortement et quelques fronts latéraux, essentiellement ceux des massifs les moins avancés à l'extrême ouest du secteur, progressent nettement jusqu'en 2007.

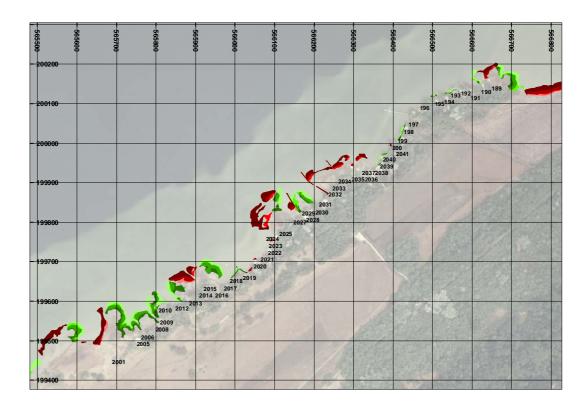


Figure 9 : Dynamique de la rive du secteur de Trouville. En vert : progression continue de la ligne de rive En rouge : régression continue de la ligne de rive. Les nuances de couleur, de la plus foncée à la plus claire, correspondent respectivement aux périodes 1981-1994, 1994-2001 2001-2003 et 2003-2007. Les numéros figurent les DDP.

	1981-2001	2001-2007	1981-2007
Zone DDP	0.06	0.43	0.13
Hors zone DDP	- 0.43	0.18	- 0.27
Zone complète	- 0.19	0.31	- 0.07

Tableau 10 : Vitesse (m/an) de régression continue ou de progression continue de la ligne de rive du secteur de Trouville. Le terme « Hors secteur DDP » désigne un secteur de rive naturelle de référence immédiatement à l'ouest du secteur de DDP et de même longueur que ce dernier.

	A érosion	A érosion localisée	Sans érosion
Rive naturelle	192 2032 2033 2034 2035 2036	189 190 191 2001 2016	2008
Rive protégée	193 195 196 197 198 199 200 2013 2014 2015 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2037 2038 2039 2040 2041	2027 2030 2031	2029

Tableau 11 : Classification des DDP du secteur de Trouville en fonction de l'intensité de l'érosion. Remarques : Les termes « A érosion » ou « A érosion localisée » correspondent à un recul de la ligne de rive supérieur à 0.2 m/an durant la période 1981-2007. Les DDP protégés dépourvus de végétation aquatique, supposées soumises à l'érosion, ont été classés dans la classe « A érosion ».

4.3.3 Synthèse et priorités d'intervention

Le secteur de chalets de Trouville-est présente un bilan défavorable. Particulièrement exposé aux courants lacustres, faiblement protégé par une beine lacustre dont l'étroitesse ne permet pas d'amortir les courants, abrité par des massifs de roselière lacustre dont les fronts, pour la plupart, sont en régression depuis 1979, ce secteur a été largement protégé par des ouvrages (essentiellement des enrochements). Il doit bénéficier d'une protection de ses segments de rive encore naturels et soumis à une érosion forte, d'une surveillance de l'évolution du segment de rive protégé et soumis à une forte érosion et d'une éventuelle renaturalisation des segments de rive en enrochements dépourvus de massifs de roselière lacustre.

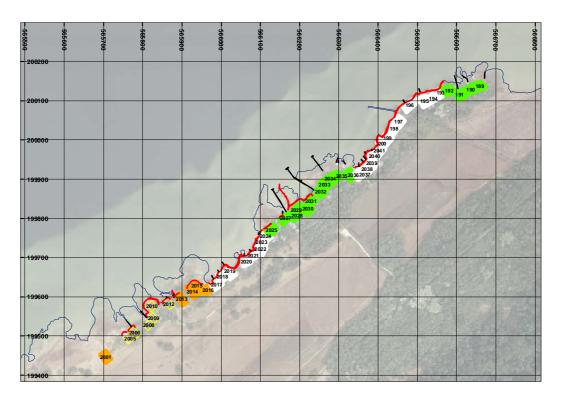


Figure 10: Carte des DDP du secteur de Trouville en fonction de l'urgence d'intervention.

En jaune : aucune urgence ; en blanc : urgence faible ; en orange : urgence modérée ; en rouge : urgence élevée. En rouge : ouvrages de protection de la rive ; en noir : infrastructures de loisir ; en bleu : ligne de rive 2007.

Urgence	Nombre de DDP
	No DDP
	Longueur de rive (%)
Aucune (P4)	6
	2005 2006 2008 2009 2010 2012
	180 m (15 %)
Faible (P3) sauf si	21
risque avéré	193 194 195 196 197 198 199 200 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2037 2038
	2039 2040 2041
	510 m (42 %)
Modérée (P2) sauf	5
si risque avéré	2001 2013 2014 2015 2016
	140 m (12 %)
Elevée (P1)	15
	189 190 191 192 2025 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 370 m (31 %)

Tableau 12: Classification des DDP du secteur de Trouville en fonction de l'urgence d'intervention.

4.4 Secteur du port de Cudrefin

La longueur rectiligne de ce secteur de rive est d'environ 100 mètres. Le secteur entier est abrité par une large ceinture de roselière lacustre atteignant presque 100 m par endroit et ne montrant pas de signes d'érosion depuis 1979. Les DDP de ce secteur, ne présentant donc aucune urgence d'intervention de protection, n'ont pas fait l'objet de relevés complémentaires de terrain.

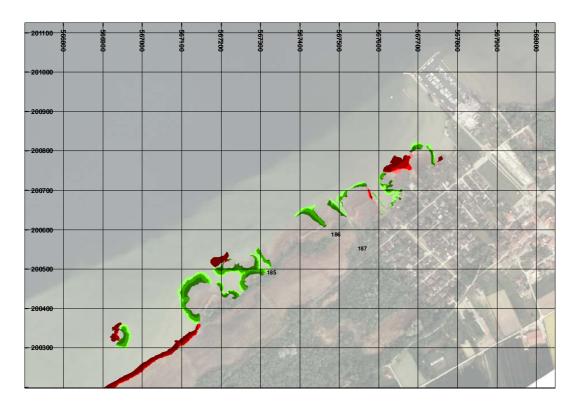


Figure 11 : Dynamique de la rive du secteur du port de Cudrefin. En vert : progression continue de la ligne de rive En rouge : régression continue de la ligne de rive. Les nuances de couleur, de la plus foncée à la plus claire, correspondent respectivement aux périodes 1981-1994, 1994-2001 2001-2003 et 2003-2007. Les numéros figurent les DDP.

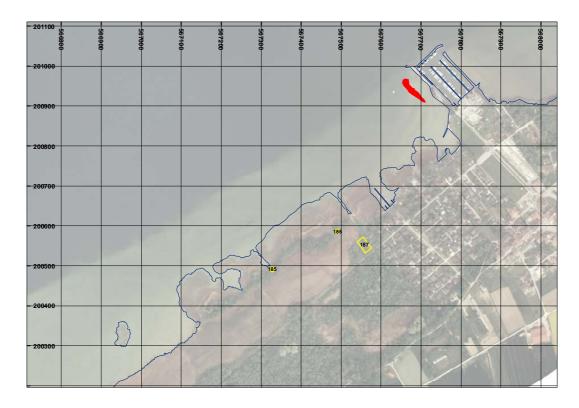


Figure 12: Carte des DDP du secteur du port de Cudrefin en fonction de l'urgence d'intervention : aucune urgence : jaune. En rouge : ouvrages de protection de la rive ; en bleu : ligne de rive 2007.

Urgence	Nombre d'objets No DDP Longueur de rive (%)
Aucune (P4)	3 185 186 187
	50 m (100 %)
Faible (P3) sauf si	-
risque avéré	
Modérée (P2) sauf	-
si risque avéré	
Elevée (P1)	-

Tableau 13 : Classification des DDP du secteur du port de Cudrefin en fonction de l'urgence d'intervention.

4.5 Bilan

Urgence	Nombre de DDP ou parcelles
	No DDP ou No parcelle
	Longueur de rive (%)
Aucune (P4)	48
	185 186 187 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405
	462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 492
	2005 2006 2008 2009 2010 2012
	890 m (31 %)
Faible (P3) sauf si	58
risque avéré	193 194 195 196 197 198 199 200 376 377 378 379 380 381 382 383 384 485 486 487 488
	489 490 491 493 494 495 496 497 498 499 500 503 673 674 675 676 677 678 684 685 686
	687 688 689 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2037 2038 2039 2040 2041
	1210 m (43 %)
Modérée (P2) sauf	11
si risque avéré	385 386 387 472 473 474 2001 2013 2014 2015 2016
	250 m (9 %)
Elevée (P1)	20
	189 190 191 192 679 680 681 682 683 2025 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034
	2035 2036
	500 m (18 %)

Tableau 14 : Synthèse des objets en fonction de l'urgence d'intervention.

5 SOLUTIONS TECHNIQUES ET ESTIMATION DES COUTS

Les coûts ont été estimés sur la base des données de l'annexe 2 et en supposant que les DDP ou parcelles contigus seront regroupés et traités d'un seul tenant afin de rationaliser les interventions.

Suivant les catégories considérées et pour ne pas entraver le développement de la végétation, seules certaines solutions techniques ont été envisagées. Ainsi par exemple en présence de végétation aquatique au droit des chalets (P1, P2), seules les solutions de palissades au large des roselières, sans remodelage de la rive ont pour l'heure été retenues.

5.1 Bilan par catégorie d'urgence d'intervention

Urgence d'intervention élevée (P1)

Secteur	Delley-Chabrey	Trouville		
Commune	Chabrey	Cudrefin		Cudrefin
	5 679 680 681 682 683 130 m	4 189 190 191 192 90 m		11 2025 2027 2028 2029 2030 2031 2032 3033 3034 3035 3036 280 m
Offre la plus avantageuse	65'000		49'000	126'000
Intrasub SA	118'000		87'000	234'000

Tableau 15 : Coût d'intervention par secteur bloc d'objets de catégorie P1 Travaux exécutés depuis le lac avec la solution technique no 1 (Palissade D 30 cm)

Sur la base des offres rendues, le coût d'intervention de la pose d'une palissade de type 1 (jugée la plus adaptée dans ce cas de figure) depuis le large dans les trois secteurs considérés reviendrait dans le meilleur des cas à Fr. 450.- du mètre linéaire, soit pour un objet type de 25m, Fr, 11'250.-

Urgence d'intervention modérée (P2), sauf si risque avéré

Pour cette catégorie d'urgence et compte tenu de l'érosion plus modérée, une solution technique de type palissade de pieux non jointifs a été considérés comme suffisante. C'est sur cette variante (solution technique 2) qu'a été faite l'estimation des coûts présentée ci-dessous.

Secteur	Portalban	Delley-Chabrey	Trouville	
Commune	Delley-Portalban	Delley-Portalban	Cudrefin	
	3 472 473 474 50 m	3 385 386 387 60 m	5 2001 2013 2014 2015 2016 140 m	
Offre la plus avantageuse Intrasub SA	25'000. 43'000.		47'000 89'000	

Tableau 16 : Coût d'intervention par secteur bloc d'objets de catégorie P2. Travaux exécutés depuis le lac avec la solution technique 2 (palissade en pieux bois D 30 non jointifs)

Urgence d'intervention faible (P3), sauf si risque avéré

Pour cette catégorie, deux solutions de lutte contre l'érosion ont été envisagées :

- des palissades proches de la rive avec apport de remblai (sans démantèlement des ouvrages existants) construites depuis la rive (solution 5 de l'annexe 2);
- des palissades construites depuis l'eau (choix de la fiche technique No 2, compte tenu de la prééxistence d'ouvrages à la rive

Secteur		Portalban	Delley- Chabrey			Trouville	
Commune		Delley- Portalban	Delley- Portalban	Chabrey	Chabrey	Cudrefin	Cudrefin
Nombre objet		16	9	6	6	13	8
No							
		485 486	376 377 378	673 674 675	684 685 686	193 194 195	2017 2018
		487 488	379 380 381	676 677 678	687 688 689	196 197 198	2019 2020
		489 490	382 383 384			199 200 2037	2021 2022
		491 493				2038 2039	2023 2024
		494 495				2040 2041	
		496 497					
		498 499					
		500 503					
Longueur tot		240 m	150 m	160 m	150 m	340 m	170 m
Coût des trava	ux (Fr.)						
Solution 5	Perrotet AG	275'000	174'000	185'000	174'000	420'000	96'000
(exécution	Mauron SA	436'000	279'000	296'000	279'000	612'000	314'000
depuis la rive)							
Solution 2	Perrotet AG	72'000	50'000	52'000	50'000	97'000	55'000
(exécution au	Intrasub SA	141'000	94'000	100'000	94'000	192'000	105'000
large)							

Tableau 17 : Coût d'intervention par secteur bloc d'objets de catégorie P3. NB : pour les travaux exécutés depuis la rive comprenant un apport de remblai à la rive : devis de Perrotet AG calculés avec remblai sable, celui Mauron SA avec remblai gravier

5.2 Bilan par commune

Le tableau ci-dessous reprend pour chacune des communes territoriales et longueurs respectives de rives concernées, le coût total des mesures de lutte contre l'érosion sur la base des tableaux 15 à 17. A titre de comparaison le tableau donne également le coût d'un enrochement classique de la rive pour l'ensemble des objets P1 et pour les objets P2 non aménagés.

Commune	Delley-	Chabrey	Cudrefin
	Portalban		
Longueur	500 m	440 m	1020 m
Solution la moins coûteuse			
(palissade selon fiches 1 et 2)	175'000	167'000	374'000
Solution la plus coûteuse			
(palissade + enrochements selon fiche 1, 2 et 5)	806'000	693'000	1'336'000
Enrochements à la rive des longueurs de rive			
actuellement non-protégées	160'000	130'000	360'000
(1'000/m selon estimation Bürri)			

Tableau 18 : Coûts globaux par commune des mesures de lutte contre l'érosion

6 CONCLUSION

L'analyse des coûts comparés de mesures classiques de lutte contre l'érosion consistant à enrocher la rive et ceux basés sur des mesures visant à préserver les échanges lac rives montre que sous l'angle économique, ces derniers sont concurrentiels.

Si les solutions de type palissade ne garantissent pas un arrêt immédiat de l'érosion, elles ne prétéritent en revanche pas le développement naturel de la végétation et présentent l'avantage d'être acceptables d'un point de vue environnemental et légal.

Les solutions intermédiaires envisagées consistant à poser une palissade proche de la rive et à adosser aux ouvrages prééxistants un remblai se révèlent somme tout plus coûteuses qu'une simple palissade plus au large. L'espace de développement potentiel de la végétation se trouve par ailleurs plus limité dans le cas du choix d'une telle solution.

En conclusion, compte tenu des enjeux biologiques et contraintes légales existants pour les secteurs considérés, les mesures de types palissades posées sur le domaine public des eaux devraient être privilégiées. Le choix de ces mesures n'exclut pas qu'en cas de risque avéré pour des constructions existantes, des mesures de réfection ou d'entretien courant des ouvrages soient autorisées (apports de graviers). En revanche, dans les secteurs de rives naturelles, de nouveaux enrochements de la rive ne devraient plus être autorisés.

ANNEXE 1

Fiches des DDP ou parcelles à priorité élevée (P1)

Légende des fiches :

Périmètre blanc : DDP ou parcelle numéroté(e) objet de la fiche

Périmètre noir : Autre DDP ou parcelle du secteur

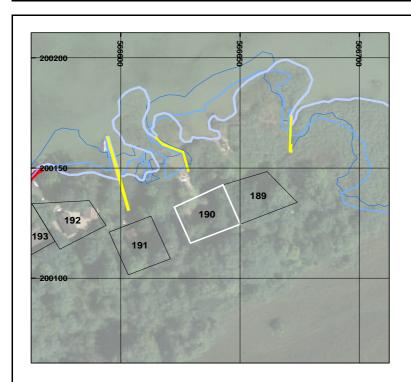
Linéaire rouge : Rive protégée

Linéaire jaune : Infrastructure de loisirs (ponton, slip)

Linéaire bleu : Ligne de rive 1981 (trait fin et foncé)

Ligne de rive 1994 (trait d'épaisseur moyenne)

Ligne de rive 2007 (trait épais et clair)



Typologie générale Rive naturelle à érosion localisée

Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 189-192. La roselière lacustre est en progression à l'ouest du DDP et en régression à l'est

du DDP dans le secteur du ponton d'amarrage.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 189-192

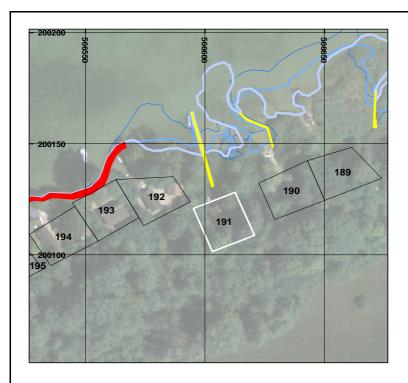
Ligne de rive

Naturelle (sableuse/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.4 m	428.4 m	428.2 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	0%	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.5 m	inf à 426.6 m	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m
Palier érosion	oui			



Typologie générale Rive naturelle à érosion localisée

Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 189-192. La roselière lacustre est cependant en nette régression au droit du DDP, avec un

recul de plus de 10 m depuis 1979.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 189-192

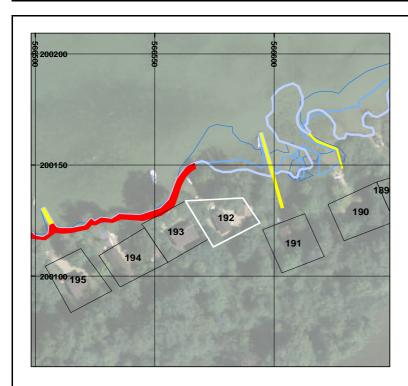
Ligne de rive

Naturelle (sableuse/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.4 m	428.4 m	428.2 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	0%	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.5 m	inf à 426.6 m	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m
Palier érosion	oui			



Typologie générale Rive naturelle à érosion

Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 189-192. La roselière lacustre est cependant en nette régression au droit du DDP, avec un

recul de plus de 15 m depuis 1979.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 189-192

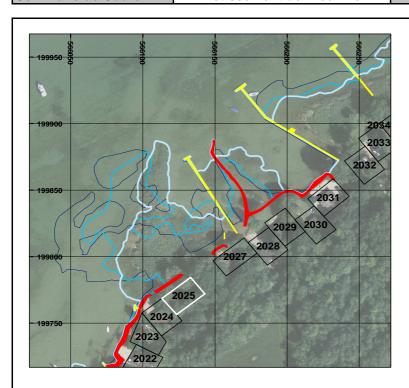
Ligne de rive

Naturelle (sableuse/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.4 m	428.4 m	428.2 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	0%	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.5 m	inf à 426.6 m	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m
Palier érosion	oui			



Typologie générale Rive protégée à érosion

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ

50 m, en régression (environ 40 m) depuis 1979 et présentant des palliers

d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

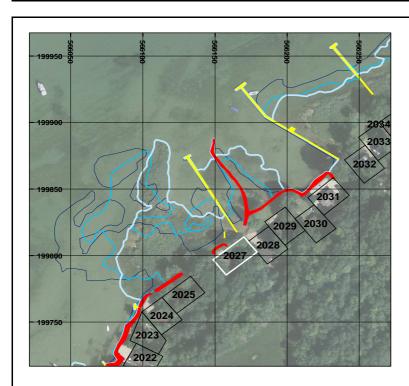
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.7 m	428.6 m	428.6 m	428.4 m
Granulométrie beine	V	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427 m	427.8 m	inf à 427.2 m	inf à 427.4 m
Palier érosion				



Typologie générale Rive protégée à érosion localisée

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre en régression à l'est, dans

le secteur du ponton d'amarrage, et d'un cordon de roselière lacustre en

progression à l'ouest.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

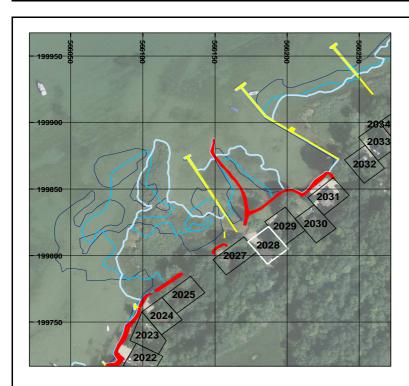
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				
	•			



Typologie générale Rive protégée à érosion

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ

50 m, en progression (environ 10 m) depuis 1979.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

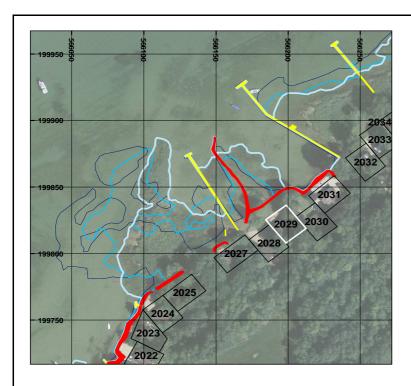
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				



Typologie générale Rive protégée à érosion

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ

50 m, en progression (environ 10 m) depuis 1979.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

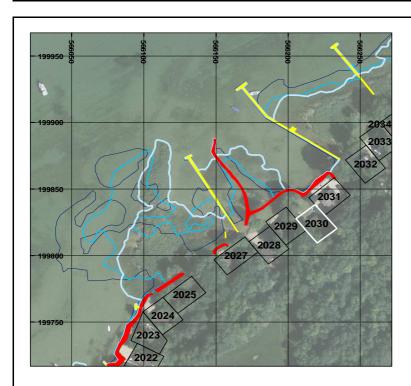
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				



Typologie générale Rive protégée à érosion localisée

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre en régression à l'est et

d'un cordon de roselière lacustre en progression à l'ouest.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

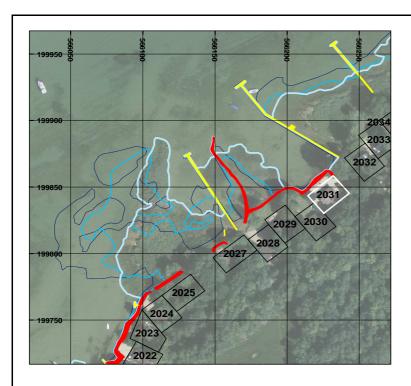
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				



Typologie générale Rive protégée à érosion localisée

Synthèse Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre en régression à l'est et

d'un cordon de roselière lacustre en progression à l'ouest.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large du secteur de recul de la roselière lacustre

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2025-2031

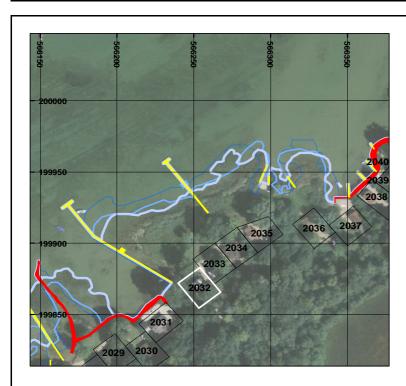
Ligne de rive

Infrastructure(s) de protection

Enrochements

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				



Typologie générale Rive naturelle à érosion

Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 2032-2035. Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ 50 m, en régression (environ 10 m) depuis 1979 et présentant des palliers d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large des DDP 2032-2036

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2032-2035

Ligne de rive

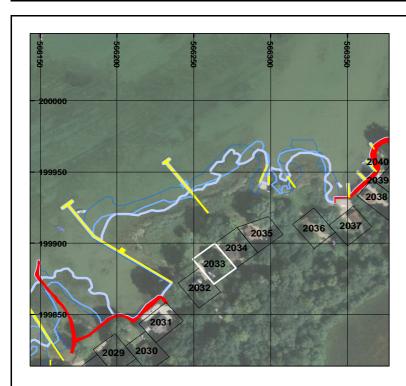
Naturelle (herbacée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

3 pontons d'amarrage en bois 1 ponton d'amarrage en bois et métal

0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
428.4 m	428 m	428 m	427.8 m
S	S	S	S
1-5 %	1-5 %	1-5 %	5-25 %
inf à 426.4 m	inf à 426.3 m	inf à 426.2 m	inf à 426.1 m
oui			
	428.4 m S 1-5 % inf à 426.4 m	428.4 m 428 m S S 1-5 % 1-5 % inf à 426.4 m inf à 426.3 m	428.4 m 428 m 428 m S S S 1-5 % 1-5 % 1-5 % inf à 426.4 m inf à 426.3 m inf à 426.2 m



Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 2032-2035. Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ 50 m, en régression (environ 10 m) depuis 1979 et présentant des palliers d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large des DDP 2032-2036

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2032-2035

Ligne de rive

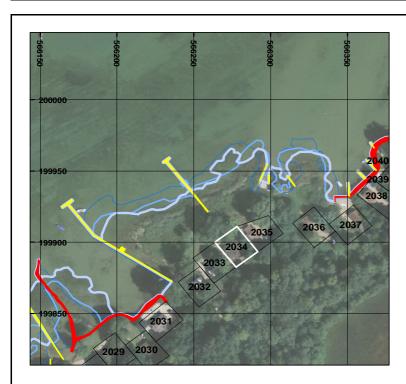
Naturelle (herbacée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

3 pontons d'amarrage en bois 1 ponton d'amarrage en bois et métal

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.4 m	428 m	428 m	427.8 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	5-25 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m	inf à 426.2 m	inf à 426.1 m
Palier érosion	oui			



Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 2032-2035. Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ 50 m, en régression (environ 10 m) depuis 1979 et présentant des palliers d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large des DDP 2032-2036

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2032-2035

Ligne de rive

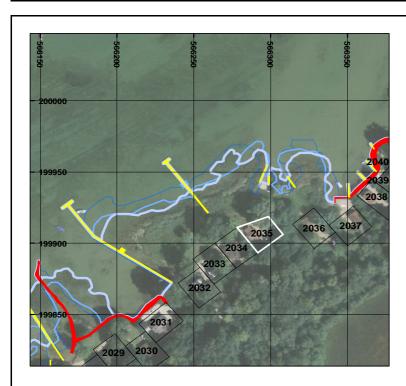
Naturelle (herbacée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

3 pontons d'amarrage en bois 1 ponton d'amarrage en bois et métal

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.4 m	428 m	428 m	427.8 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	5-25 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m	inf à 426.2 m	inf à 426.1 m
Palier érosion	oui			



Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur des DDP 2032-2035. Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ 50 m, en régression (environ 10 m) depuis 1979 et présentant des palliers d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large des DDP 2032-2036

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 2032-2035

Ligne de rive

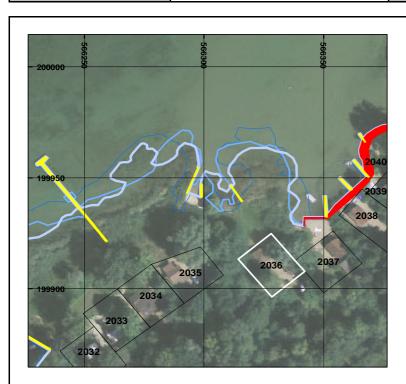
Naturelle (herbacée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

3 pontons d'amarrage en bois 1 ponton d'amarrage en bois et métal

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.4 m	428 m	428 m	427.8 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	5-25 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.4 m	inf à 426.3 m	inf à 426.2 m	inf à 426.1 m
Palier érosion	oui			



Synthèse La pente de la beine lacustre est particulièrement faible et la hauteur des

sédiments sableux meubles est élevée dans le secteur. Le DDP est à l'abri d'un cordon de roselière lacustre clairsemée large d'environ 50 m, en régression (environ 10 m) depuis 1979, particulièrement à la hauteur des pontons d'amarrage

au droit du DDP, et présentant des palliers d'érosion.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large des DDP 2032-2036

Aménagement proposé Palissade de pieux

Priorité Elevée

DDP 2036

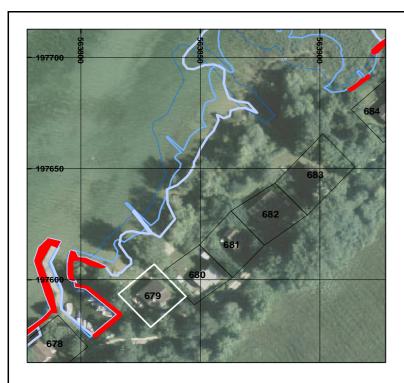
Ligne de rive

Naturelle (sableuse/herbacée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.8 m	428.7 m	428.4 m	428.4 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	1-5 %	1-5 %
Niveau sédiments meubles	inf à 427.1 m	inf à 426.2 m	inf à 426.3 m	426.4 m
Palier érosion				
	•			



Synthèse La forte pente de la beine et le faible recouvrement des macrophytes à proximité du

rivage, le recul de plus de 15 m de la ligne de rive depuis 1979 au droit des DDP

679-683 sont indicateurs d'une forte érosion pour le secteur.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 679-683

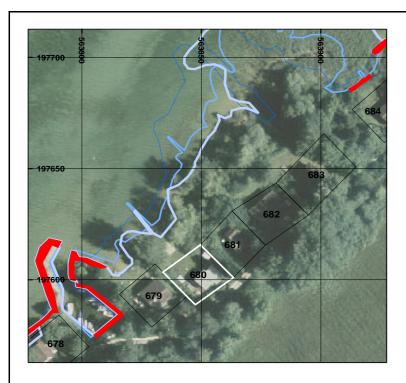
Ligne de rive

Naturelle (herbacée/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.6 m	427.9 m	427.6 m	427.6 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.8 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m
Palier érosion	oui	oui	oui	



Synthèse La forte pente de la beine et le faible recouvrement des macrophytes à proximité du

rivage, le recul de plus de 15 m de la ligne de rive depuis 1979 au droit des DDP

679-683 sont indicateurs d'une forte érosion pour le secteur.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large, au droit des DDP 679-683.

Aménagement proposé Palissade de pieux (Solution technique no 1)

Priorité Elevée

DDP 679-683

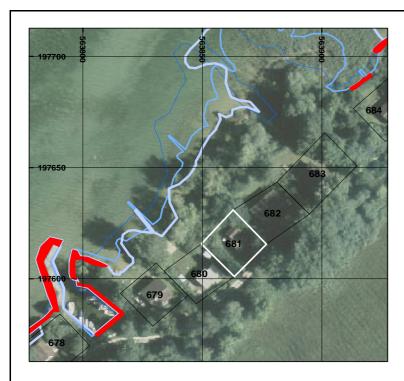
Ligne de rive

Naturelle (herbacée/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.6 m	427.9 m	427.6 m	427.6 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.8 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m
Palier érosion	oui	oui	oui	



Synthèse La forte pente de la beine et le faible recouvrement des macrophytes à proximité du

rivage, le recul de plus de 15 m de la ligne de rive depuis 1979 au droit des DDP

679-683 sont indicateurs d'une forte érosion pour le secteur.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large, au droit des DDP 679-683.

Aménagement proposé Palissade de pieux

Priorité Elevée

DDP 679-683

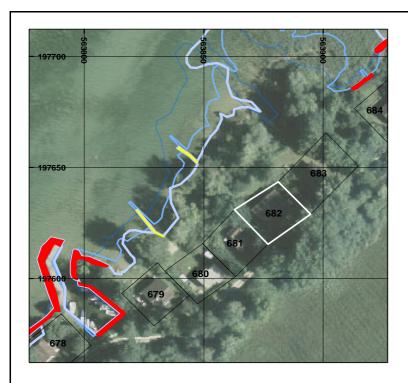
Ligne de rive

Naturelle (herbacée/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.6 m	427.9 m	427.6 m	427.6 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.8 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m
Palier érosion	oui	oui	oui	



Synthèse La forte pente de la beine et le faible recouvrement des macrophytes à proximité du

rivage, le recul de plus de 20 m de la ligne de rive depuis 1979 au droit des DDP

679-683 sont indicateurs d'une forte érosion pour le secteur.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large, au droit des DDP 679-683.

Aménagement proposé Palissade de pieux

Priorité Elevée

DDP 679-683

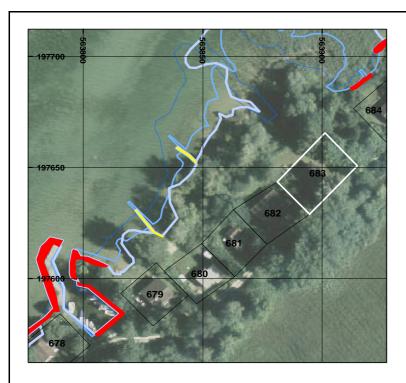
Ligne de rive

Naturelle (herbacée/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.6 m	427.9 m	427.6 m	427.6 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.8 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m
Palier érosion	oui	oui	oui	



Synthèse La forte pente de la beine et le faible recouvrement des macrophytes à proximité du

rivage, le recul de plus de 20 m de la ligne de rive depuis 1979 au droit des DDP

679-683 sont indicateurs d'une forte érosion pour le secteur.

Mesure(s) souhaitable(s) Protection au large, au droit des DDP 679-683.

Aménagement proposé Palissade de pieux

Priorité Elevée

DDP 679-683

Ligne de rive

Naturelle (herbacée/boisée)

Infrastructure(s) de protection

Infrastructure(s) de loisir(s)

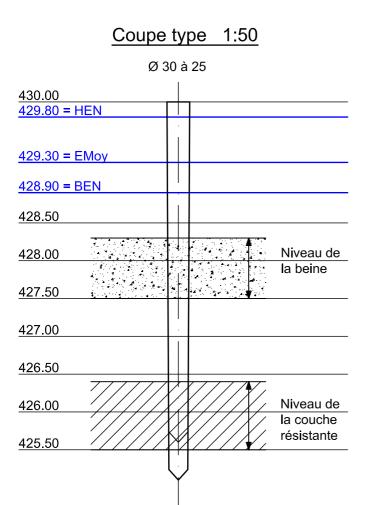
	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m
Niveau beine	428.6 m	427.9 m	427.6 m	427.6 m
Granulométrie beine	S	S	S	S
Recouvrement macrophytes	1-5 %	1-5 %	5-25 %	25-50 %
Niveau sédiments meubles	inf à 426.8 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m	inf à 425.9 m
Palier érosion	oui	oui	oui	

ANNEXE 2

Fiches des solutions techniques

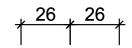
Fiche technique n°1 Palissade en pieux bois ronds jointifs double rangée

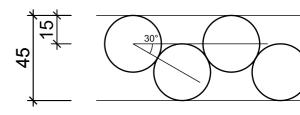
Profondeurs <u>moyennes</u> de la beine : 428.30 à 427.50 Longueurs des pieux : 450 - 500 cm



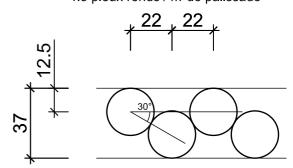
Vues en plan 1:20

Têtes de pieux Ø 30 4 pieux ronds / m¹ de palissade





Têtes de pieux Ø 25 4.5 pieux ronds / m^l de palissade



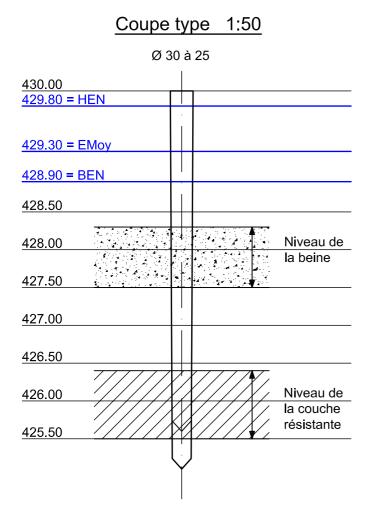
Bases pour un devis estimatif (exécution par entreprise de travaux lacustres)

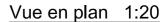
Installations de chantier frDéplacement des installations en cas

de chantiers successifs fr
- Coût de la palissade par mètre courant fr/ml

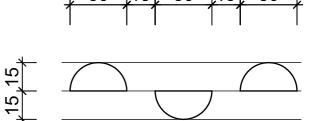
Fiche technique n°2 Palissade en pieux bois demi-ronds non jointifs simple rangée

Profondeurs <u>moyennes</u> de la beine : 428.30 à 427.50 Longueurs des pieux : 450 - 500 cm

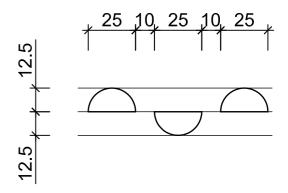




Têtes de pieux Ø 30 2.5 pieux demi-ronds / m¹ de palissade



Têtes de pieux Ø 25 3 pieux demi-ronds / ml de palissade



Bases pour un devis estimatif (exécution par entreprise de travaux lacustres)

Installations de chantier
 Déplacement des installations en cas de chantiers successifs
 Coût de la palissade par mètre courant
 fr ...
 fr/m ...

Fiche technique n°3 Palissade en pieux bois ronds jointifs double rangée

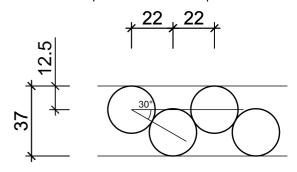
Profondeurs <u>faibles</u> de la beine : 428.80 à 428.30 Longueurs des pieux : 350 - 400 cm

Coupe type 1:50

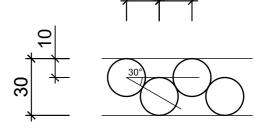
Ø 25 à 20 430.00 429.80 = HEN 429.30 = EMoy428.90 = BEN Niveau de 428.50 la beine 428.00 427.50 427.00 Niveau de la couche 426.50 résistante 426.00

Vue en plan 1:20

Têtes de pieux Ø 25 4.5 pieux ronds / m^l de palissade



Têtes de pieux Ø 20 5 pieux ronds / m^l de palissade



Bases pour un devis estimatif (exécution par entreprise de génie civil)

- Installations de chantier à la rive

- Déplacement des installations en cas de chantiers successifs

- Coût de la palissade par mètre courant

fr ..

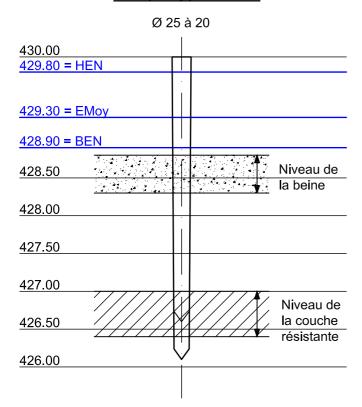
fr .

fr/m

Fiche technique n°4 Palissade en pieux bois demi-ronds non jointifs simple rangée

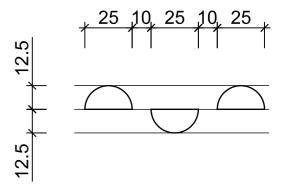
Profondeurs <u>faibles</u> de la beine : 428.80 à 428.30 Longueurs des pieux : 350 - 400 cm

Coupe type 1:50

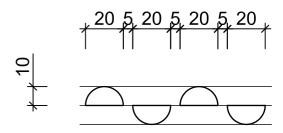


Vue en plan 1:20

Têtes de pieux Ø 25 3 pieux demi-ronds / m¹ de palissade



Têtes de pieux Ø 20 4 pieux demi-ronds / m^l de palissade



Bases pour un devis estimatif (exécution par entreprise de génie civil)

- Installations de chantier à la rive
- -Déplacement des installations en cas de chantiers successifs
- Coût de la palissade par mètre courant

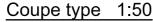
fr ..

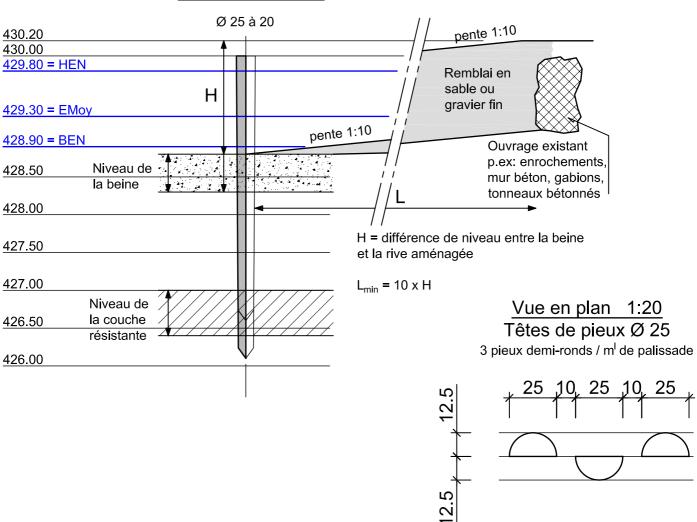
fr

fr/m

Fiche technique n°5 Système combiné comprenant :

- une palissade en pieux bois demi-ronds non jointifs simple rangée
- un remblai en sable ou gravier fin entre la palissade et la rive





Bases pour un devis estimatif (exécution par entreprise de travaux lacustres)

Installations de chantierDéplacement des installations en cas	fr	•••
de chantiers successifs	fr	
- Coût de la palissade par mètre courant	fr/m ^l	
- Fourniture et mise en place d'un remblai		
- en sable	fr/m ³	
- en gravier fin 0/16	fr/m ³	
- Plus-value pour transfert intermédiaire		
avec dumper adéquat si la nature locale		
du terrain l'exige (entre le chemin carrossable		
et la rive	fr/m ³	

ANNEXE 3

Estimation des coûts des solutions techniques, au mètre linéaire, selon diverses offres d'entreprises

PROTECTION CONTRE L'EROSION DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHATEL ELABORATION DE FICHES TECHNIQUES POUR LA PROTECTION DEVANT LES CHALETS

PRIX INDICATIFS POUR L'EXECUTION DE PALISSADES EN PIEUX BOIS selon fiches techniques

1. TRAVAUX EXECUTES DEPUIS LE LAC

		Buhler SA Marin	Perrottet AG Sugiez	Intrasub SA Vevey	S. Mauron SA Estavayer-le- lac
1.1	Installations de chantier lacustre	6'750	11'300	14'000	16'000
1.2	Déplacement des installations par le lac	2'150	1'400	3'500	3'200
1.3	Palissade en pieux bois ronds, double rangée, selon fiche technique n° 1 diam tête pieux = 30 cm diam tête pieux = 25 cm	1'965.00/m' 1'960.00/m'	404.00/m' 444.15/m'	772.00/m' 814.50/m'	886.00/m' 933.25/m'
1.4	Palissade en pieux bois demi- ronds, non jointifs, selon fiche technique n° 2 diam tête demi-pieux = 30 cm diam tête demi-pieux = 25 cm	1'127.50/m' 1'215.00/m'	246.75/m' 244.35/m'	512.50/m' 588.00/m'	538.75/m' 632.50/m'

2. TRAVAUX EXECUTES DEPUIS LA RIVE

		Perrottet AG Sugiez	S. Mauron SA Estavayer-le- lac
2.1	Installations de chantier à la rive	5'400	10'000
2.2	Déplacement des installations	800	6'000
2.3	Palissade en pieux bois ronds, double rangée, selon fiche technique n° 3 diam tête pieux = 25 cm diam tête pieux = 20 cm	463.75/m' 509.50/m'	898.50/m' 955.00/m'
2.4	Palissade en pieux bois demironds, non jointifs, selon fiche technique n° 4 diam tête demi-pieux = 25 cm diam tête demi-pieux = 20 cm	247.05/m' 283.40/m'	649.00/m' 736.00/m'

3. REMBLAI A LA RIVE COMBINE A UNE PALISSADE selon fiche technique n° 5

			Perrottet AG Sugiez	S. Mauron SA Estavayer-le- lac
3.1	Fourniture et mise en place de sable	par m ³	59.20	64.50
3.2	Fourniture et mise en place de sable de butte	par m ³	-,	60.00
3.3	Fourniture et mise en place de gravier fin 0/16	par m ³	70.40	87.00
3.4	PV pour transfert en dumper à pneus basse pression ou chenilles larges	par m ³	15.60	10.50

Burri & Pavid SA page 2/3

Ing. civils EPF-SIA-USIC

Av. des Sports 14, 1400 Yverdon-les-Bains

	Perrottet AG Sugiez	S. Mauron SA Estavayer-le- lac
Exemple pour longueur de remblai env. 40 m', soit 350 m ³		
 Fourniture et mise en place de sable, y compris PV pour transfert en dumper 	26'180	26'250
 Fourniture et mise en place de gravier fin 0/16, y compris PV pour transfert en dumper 	30'100	34'125

Yverdon-les-Bains, octobre 2009

Burri & Pavid SA Ing. civils EPF-SIA-USIC Av. des Sports 14, 1400 Yverdon-les-Bains