

Suivi géomorphologique du littoral lémanique de Thonon-les-Bains (France, Haute-Savoie)

Véronique Maleval, Pierre-Brieuc Destombes

▶ **To cite this version:**

Véronique Maleval, Pierre-Brieuc Destombes. Suivi géomorphologique du littoral lémanique de Thonon-les-Bains (France, Haute-Savoie). Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement, 2020, 2020 (45 : Etangs et lacs. Etudes croisées de chercheurs professionnels.), p. 89-102. 10.4000/dynenviron.4088 . hal-03472817

HAL Id: hal-03472817
https://unilim.hal.science/hal-03472817

Submitted on 9 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Suivi géomorphologique du littoral lémanique de Thonon-les-Bains (France, Haute-Savoie)

Véronique MALEVAL[1] et Pierre-Brieuc DESTOMBES[2]

Résumé

Riveraine du Léman, la ville de Thonon-les-Bains constatait, depuis le milieu des années 1990, une érosion de son littoral, patrimoine paysager essentiel au cadre de vie des thononais et à l'activité touristique. Inquiète de cette évolution, elle s'est entourée d'experts pour en assurer le suivi morphologique. La première étude (2011 - 2014) a montré que la majorité du littoral était érodée par l'eau lacustre, à hauteur de 60 % (38 % engraissaient), et que cette érosion s'effectuait à une vitesse moyenne annuelle de 0,40 m, tandis que le maximum atteignait 1,5 m par an. Parmi les causes à cette situation se trouve principalement le déficit sédimentaire lié aux aménagements hydroélectriques présents dans le bassin-versant de la Dranse, mais aussi à l'activité d'extraction de sédiments située à l'embouchure de cette rivière dans le Léman. Face à ces résultats, si la préfecture n'a pas renouvelé la demande d'autorisation de la société pour poursuivre son activité (les prélèvements ont cessé à l'été 2017), la ville de Thonon-les-Bains s'est engagée dans des travaux de restauration de son littoral par des méthodes douces de protection (génie végétal), et de renaturation par la suppression d'épis facilitant alors la circulation de la dérive littorale. Quelles sont, depuis ces actions, les évolutions morphologiques du littoral lémanique de Thonon-les-Bains ? La dernière étude (2019), basée sur une méthodologie identique à celle de la première (topographie manuelle et bathymétrie acoustique principalement) répond à cette question en révélant une évolution encourageante. En effet, entre 2014 et 2019, le pourcentage de littoral érodé a diminué pour passer à 42 % (45 % engraissent et les 13 % restant sont stables ou aménagés), tandis que les littoraux en fort recul sont passés de 39 à 5 %. Ainsi, la vitesse moyenne annuelle d'érosion du littoral de Thonon-les-Bains peut être considérée, selon ces dernières données, comme mineure (0,13 m), valorisant alors les décisions prises, parfois difficilement, par les instances publiques.

Mots-clés : lac, dynamique littorale, érosion, sédimentation, impact de l'extraction de sédiments, restauration, suivi géomorphologique, gestion du littoral.

Abstract

On the shores of Lake Geneva, the town of Thonon-les-Bains has been witnessing erosion of its shoreline since the mid-1990s, in a landscape heritage essential to the living environment of the people of Thonon and to tourist activity. Alerted to these developments, experts have been asked to monitor the area's morphology. The first study (2011 – 2014) showed that the majority of the shoreline was eroded by lake water, up to 60% (38% thickening), and that this erosion occurred at an average rate of 0.40m / year, and 1.5 m per year at most. The main cause of this situation is sediment deficit linked to hydroelectric developments in the Dranse catchment area, but also to sediment extraction activity at the mouth of this river on Lake

[1] Géographe, Université de Limoges, CNRS, GEOLAB, F- 87 036 Limoges, France ; chercheure associée au CEDETE EA 1210.

[2] Ingénieur, INGETEC Rhône-Alpes, 421 rue du Centre, 38300 Châteauvillain.

Geneva. Given these findings, although the Prefecture has not renewed the company's request for authorisation to continue its activity, the town of Thonon-les-Bains has embarked on renaturation work on its shoreline using soft protection methods (plant engineering and removal of hard fixtures). The latest study (2019), using the same methodology as the first (mainly manual topography and acoustic bathymetry) reveals encouraging developments. Indeed, between 2014 and 2019, the percentage of eroded shorelines decreased to 42% (45% thickening and the remaining 13% stable or structured), while the percentage of severely eroded shorelines decreased from 39% to 5%. Thus, the average annual rate of erosion of the Thonon-les-Bains shoreline can be considered, according to the latter data, as minor (0.13m), corroborating the decisions taken by the public authorities.

Keywords: lake, shorelines dynamics, erosion, sedimentation, sediment mining impact, restoration, monitoring evolution, shoreline management.

Introduction

A l'image du milieu marin, si les littoraux lacustres sont modelés grâce à l'action de l'érosion et de la sédimentation, c'est l'érosion qui, en règle générale, est la plus active (Touchart, 2000), jusqu'à ce que la côte atteigne une position d'équilibre (Baxter & Glaude, 1980). Cette érosion se produit sous l'effet combiné de processus naturels, l'eau exerçant l'action la plus efficace, et d'actions anthropiques (Maleval & Astrade, 2003). La vitesse et l'ampleur de l'érosion vont alors dépendre de la nature du substrat, du couvert végétal, de l'exposition de la berge et de la quantité d'énergie disponible, sans oublier le marnage des plans d'eau (Maleval & Astrade, 2003). En sachant que les rivages lacustres de l'ouest de l'Europe « sont presque partout construits » (Touchart, 2000, p. 156), les hommes ont essayé, pour ne pas contrarier leurs activités et aménagements, de maintenir le trait de côte en installant, à l'interface terre / lac, des ouvrages de protection en dur, ayant eux-mêmes une part de responsabilité sur l'érosion des littoraux (Boillat, Sayat & Schleiss, 2006 ; Matthey *et al.*, 2004 ; Paskoff, 1994), en accentuant la réflexion des vagues et entraînant, au large, les sédiments du haut de plage (Matthey et al., 2004). Par exemple, l'insuffisante prise en compte de la dynamique lacustre a conduit à l'écroulement, dans le Léman, des quais de Thonon-les-Bains en 1961 (Gautier & Touchart, 1999).

Loin d'être idéale, cette situation peut, parfois, être modifiée par l'adoption d'une politique de restauration littorale. Si des essais concluants ont été mis en œuvre, dès la fin du XX^{e} siècle, en Suisse au lac de Zurich et de Bienne (Huber, 2014 ; Iseli, 1996 ; Touchart, 1993), en France au lac du Bourget (Lotito, 2011), ou encore au Canada au lac Saint-Jean (Segers & Tremblay, 2015), depuis une dizaine d'années, le choix de la restauration a été fait par la ville haut-savoyarde de Thonon-les-Bains qui borde le rivage sud du Léman, car ce littoral, très érodé par endroit, constitue pour la ville, un patrimoine environnemental essentiel au cadre de vie et à sa qualité. En effet, ce littoral est vital à l'économie locale tant les activités pratiquées sont multiples : si l'activité touristique domine en période estivale, les usages résidentiels et professionnels se côtoient au quotidien par le biais, notamment, des activités sportives, de la pêche mais aussi du transport lacustre vers Évian-les-Bains, Lausanne ou encore Yvoire. Le rivage thononais, très apprécié des populations, participe ainsi au fonctionnement de la commune.

L'objectif de cette étude qui a suivi, sur une dizaine d'année, l'évolution géomorphologique du littoral lémanique de Thonon-les-Bains (figure 1), patrimoine à sauvegarder, est de montrer qu'avec des décisions et mesures basées sur le respect du fonctionnement naturel des littoraux lacustres, leur vitesse de recul peut, ponctuellement, diminuer.

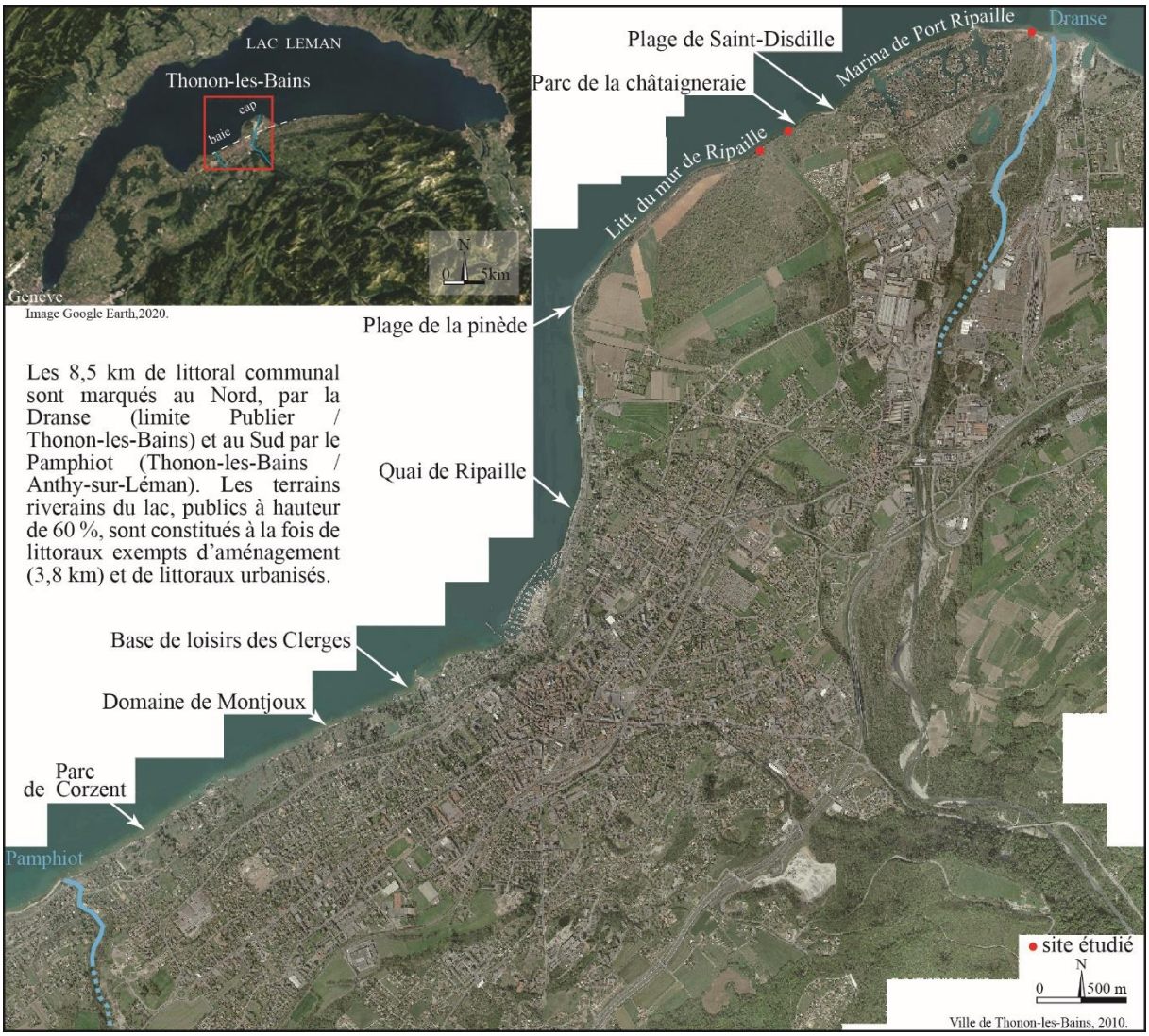


Figure 1 : Morphologie en plan et localisation du littoral étudié

I – Dynamique littorale et méthodologie du suivi

• Si la dynamique d'un littoral dépend des processus climatique et lacustre, elle est aussi le fait de sa morphologie en plan et, à l'échelle de la commune de Thonon-les-Bains, le nord-est dessine un cap et le sud-ouest, une baie. Cette caractéristique morphologique est directement liée au bassin d'alimentation (Meybeck & Pourriot, 1991), qui, sur une dizaine de milliers d'années, a livré, par le biais de la Dranse, 4 milliards de tonnes de matériel ayant édifié un delta (Touchart, 1993). Cette formation deltaïque post-würmienne est constituée d'un mélange grossier d'alluvions arrachées aux versants préalpins, formé principalement de galets calcaires et de galets cristallins rhodaniens (Dray, 1993) dont le diamètre moyen est compris entre 5 et 10 cm, mêlés à des horizons argilo-sableux discontinus (Ravailleau, Olive, Babic & Talavera, 2000). Cette formation héritée, d'une superficie de 8,2 km^2 accueillant le long du littoral une végétation arborée (tilleuls et hêtres notamment), n'a qu'une faible résistance face

à l'érosion. Ainsi, la dimension temps dans la formation de ce littoral lémanique est à prendre en compte car si sa morphologie en plan et sa nature ont été créées au fil des millénaires, ses modelés, tels qu'ils apparaissent aujourd'hui, sont issus des processus lacustres classiques et des conditions climatiques, parfois rigoureuses, les faisant évoluer plus ou moins rapidement au grès des vagues et des courants, des tempêtes, des marnages saisonniers ou encore, au droit des embouchures, par les processus fluviaux (Touchart, 2000). Cependant, ce sont les vagues et la dérive littorale initiées par le vent qui, sur le littoral thononais, ont la plus forte action morphogène du fait de l'érosion stricto sensu, du transport de sédiments et de leur dépôt. En effet, les vagues, qui convergent à l'approche du cap, sont animées de jets de rive plus violents, favorisant le retrait des sédiments de la côte pour modeler celle-ci en microfalaises, « d'autant mieux que la côte est précédée d'une beine d'accumulation assez peu large » (Touchart, 2002, p. 212) ne permettant pas un amortissement des vagues par frottement. Les sédiments érodés du littoral sont déposés et remaniés sur les plages par roulage et saltation par les vagues, puis charriés le long du littoral par la dérive (Touchart, 2000). Cette dérive littorale est formée, lorsque la bise souffle, vent du NE (figure 2), par l'obliquité des crêtes des vagues, par rapport aux isobathes de la côte (Touchart, 2002) : « Dans le Léman, la prédominance des vagues de bise conduit, le long de la côte savoyarde, à une dérive littorale vers l'ouest ou le sud-Ouest » (Touchart, 2002, p. 227), mise en évidence le long du littoral de Thonon-les-Bains par Maleval & Destombes (2016), dont « la vitesse moyenne est, en surface de 5 à 10 cm/s » (Saillet & Bohle-Carbonell, 1986), tandis que la vitesse maximale atteint, selon Kreitmann (1931) et Mercanton (1932), 35 cm/s (cité dans Touchart, 2002, p. 221). D'ailleurs, la forme lobée du delta de la Dranse témoigne de la forte action de la dérive littorale, capable d'arrondir les saillants (Gautier & Touchart, 1999), par redistribution des sédiments fluviaux. Le trait de côte délimitant le milieu terrestre du milieu aquatique est, ainsi, dans ses modelés, un espace éphémère à différentes échelles temporelles.



Figure 2 : La dérive littorale, conséquence de la bise

• Pour mettre en valeur cette dynamique littorale qui a œuvré sur le rivage lémanique de Thonon-les-Bains, au cours de la période 2010 et 2020, la méthode utilisée lors des études de 2011 et 2014 a été reconduite par deux sociétés privées, au premier trimestre 2019. Ainsi, des relevés topographiques et bathymétriques (figure 3) ont été effectués sur les 3,8 km de rivage

naturel, à partir de 47 transects établis lors des campagnes antérieures (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). L'ensemble des mesures (terrestres et sous-lacustres, pour les trois années) a été géoréférencé en Lambert 93 pour être traité dans les logiciels *AutoCad* et *QGis*. La comparaison des profils a permis de connaître les vitesses d'évolution du trait de côte (couple microfalaise-beine) au niveau maximal de remplissage du Léman (372,58 NGF) et d'apprécier les changements de modelés des plages au fil des années.

Campagne	Topographie	NGF Léman	Bathymétrie	NGF Léman
2011	☒	371,79	☒	371,79
2014	☒	372,36		
2019	☒	372,03	☒	372,24

Tableau 1 : Caractéristiques des campagnes de mesures





Photos 1 et 2 : Mesures topographiques (avril 2019, cliché P.B. Destombes) et bathymétriques (cliché Bathys, jan. 2019). Les profils topographiques, d'une longueur comprise entre 19 m (profil 44) et 36 m (profil 42), ont été prolongés par les profils bathymétriques, sur 140 m en moyenne, réalisés à partir d'un bateau grâce à l'échosondage 3D (le temps de retour de l'onde émise permet d'interpréter la profondeur). Le traitement des données a permis d'avoir le tracé morphologique pour chaque année :



Profil type pour connaître l'évolution littorale : érosion et sédimentation

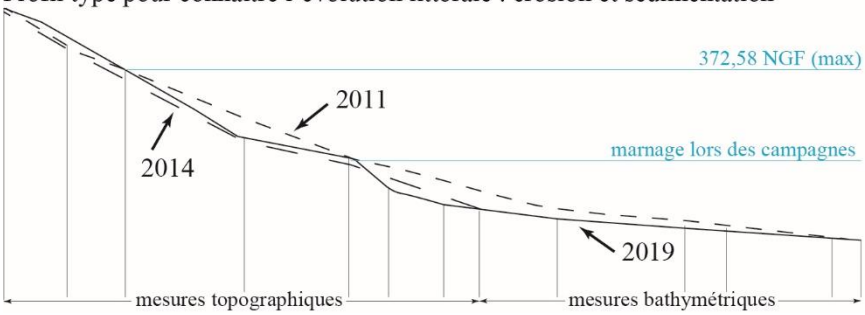


Figure 3 : Méthodologie de travail

II - Résultats de terrain et actions mises en œuvre

1) Quantification de l'évolution littorale

• D'une manière générale, le tableau 2 de l'évolution littorale entre 2011 et 2019 montre un nombre plus important de tronçons en érosion (22 sur 47) sur la première période (2011 – 2014) que sur la seconde (2014 – 2019). Le recul des 16 tronçons (sur 47) de la seconde période est moins prononcé qu'en première période : la valeur la plus forte pour 2014 – 2019

correspond à une érosion de 2,2 m, soit 0,44 m par an (P19), tandis que pour 2011 – 2014, le recul maximal dépassait les 20 m, soit 6 m annuel (P1), en prenant en compte dans la comparaison le secteur à haute énergie de l'embouchure de la Dranse (P1 et P2) dont les processus d'évolution sont beaucoup plus fluviaux que lacustres (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). Sinon, le recul maximal atteignait 2,8 m, soit 0,7 m par an (P22).

Littoraux	**Profils**	**Linéaire d'application** (ml)	**Evolution littorale** (m)		**Vitesse annuelle d'évolution** (m/an)	
			2011-2014	**2014-2019**	**2011-2014**	**2014-2019**
delta de la Dranse	1	30	-24,5	18,6	-6,12	3,72
	2	98	-6,0	1,9	-1,50	0,38
marina de Port Ripaille	3	167	-1,5	0,2	-0,37	0,04
	4	38	4,7	-0,3	1,17	-0,06
	5	41	-2,0	-0,4	-0,50	-0,08
	6	103	-0,5	-0,5	-0,12	-0,10
	7	120	0,8	-0,3	0,20	-0,06
	8	142	0,3	0	0,07	
	9	160	0,3	-0,8	0,07	-0,16
	10	81	1,1	-0,3	0,27	-0,06
plage de Saint-Disdille	11	106	-0,7	1,2	-0,17	0,24
	12	70	-0,4	2,1	-0,10	0,42
	13	60	-2,7	1,1	-0,67	0,22
parc de la Châtaigneraie	14	116	2,0	0	0,50	
	15	111	0,4	1,9	0,10	0,38
	16	61	-3,0	0,6	-0,75	0,12
	17	180	-1,9	0	-0,47	
devant Ripaille	18	200	0,4	-0,2	0,10	-0,04
	19	100	1,7	-2,2	0,42	-0,44
	20	103	0,7	-2,0	0,17	-0,40

	21	177	-2,4	1,9	-0,60	0,38
	22	240	-2,8	0,7	-0,70	0,14
plage de la Pinède	23	308	-0,6	-0,2	-0,15	-0,04
	24	220	-1,7	1,1	-0,42	0,22
	25	70	-1,0	0,9	-0,25	0,18
	26	175	0,1	0,6	0,02	0,12
base des Clerges	36	28	-0,1	-0,5	-0,02	-0,10
	37	12	-0,6	0,6	-0,15	0,12
domaine de Montjoux	39	44	0	0,2		0,04
	40	50	0,1	-0,6	0,02	-0,12
	41	81	-1,3	0,1	-0,32	0,02
domaine de Corzent	42	46	-1,5	-0,1	-0,37	-0,02
	43	120	-0,3	-0,6	-0,07	-0,12
	44	83	-1,2	-0,9	-0,30	-0,18
site du Pamphiot	45	24	0,3	-0,2	0,07	-0,04
	46	10	-1,7	0	-0,42	
	47	48	2,2	1,0	0,55	0,20

Tableau 2 : Les résultats chiffrés de l'évolution morphologique du littoral de Thonon-les-Bains (évolution littorale : chiffres négatifs = érosion plus ou moins prononcées selon la teinte de rouge ; chiffres positifs = sédimentation plus ou moins prononcées selon la teinte de bleu. Vitesse annuelle d'évolution : chiffres négatifs (blanc) = érosion ; chiffres positifs (gris) = sédimentation)

• D'un point de vue spatial, les cartes de la figure 4 de l'évolution morphologique montrent que les tronçons en fort recul entre 2011 et 2014, se trouvant principalement sur le littoral du cap exposé à la bise (secteurs de la Dranse, de Saint-Disdille, du parc de la Châtaigneraie, le long du mur de Ripaille et la plage de la Pinède), n'existent plus entre 2014 et 2019. En effet, les secteurs de la Dranse, de Saint-Disdille, du parc de la Châtaigneraie et de la Pinède ont évolué avec la sédimentation, tandis que devant le mur de Ripaille, si deux tronçons (P21 et P22) ont engraissé, trois autres (P18 à P20) sont passées d'une période d'engraissement (2011 - 2014) à une période d'érosion modérée à forte (2014 - 2019), correspondant annuellement à un recul compris entre 0,04 à 0,44 m. Sans doute ce secteur est-il passé d'une phase de sédimentation à une phase d'érosion, contrairement à l'évolution constatée de part et d'autre depuis 2014, en raison de sa position et de sa morphologie par rapport à la bise (figure 5) : le fetch modulé, correspondant à la pondération du fetch effectif maximal (plus grande distance que le vent peut parcourir sur le lac (Håkanson & Jansson, 1983 cité dans Papon, 2007) par la

fréquence des vents selon leur direction, montre bien que ce bout de littoral du cap subit de plein fouet les vents dominants du NE ; les vagues convergentes seront alors plus destructrices. Cela étant, l'impact érosif global est à modérer compte tenu que les tronçons en fort recul sont passés de 39 % à 5 % entre les deux périodes (cf. graphiques de la figure 4), soit une différence de 34 %.

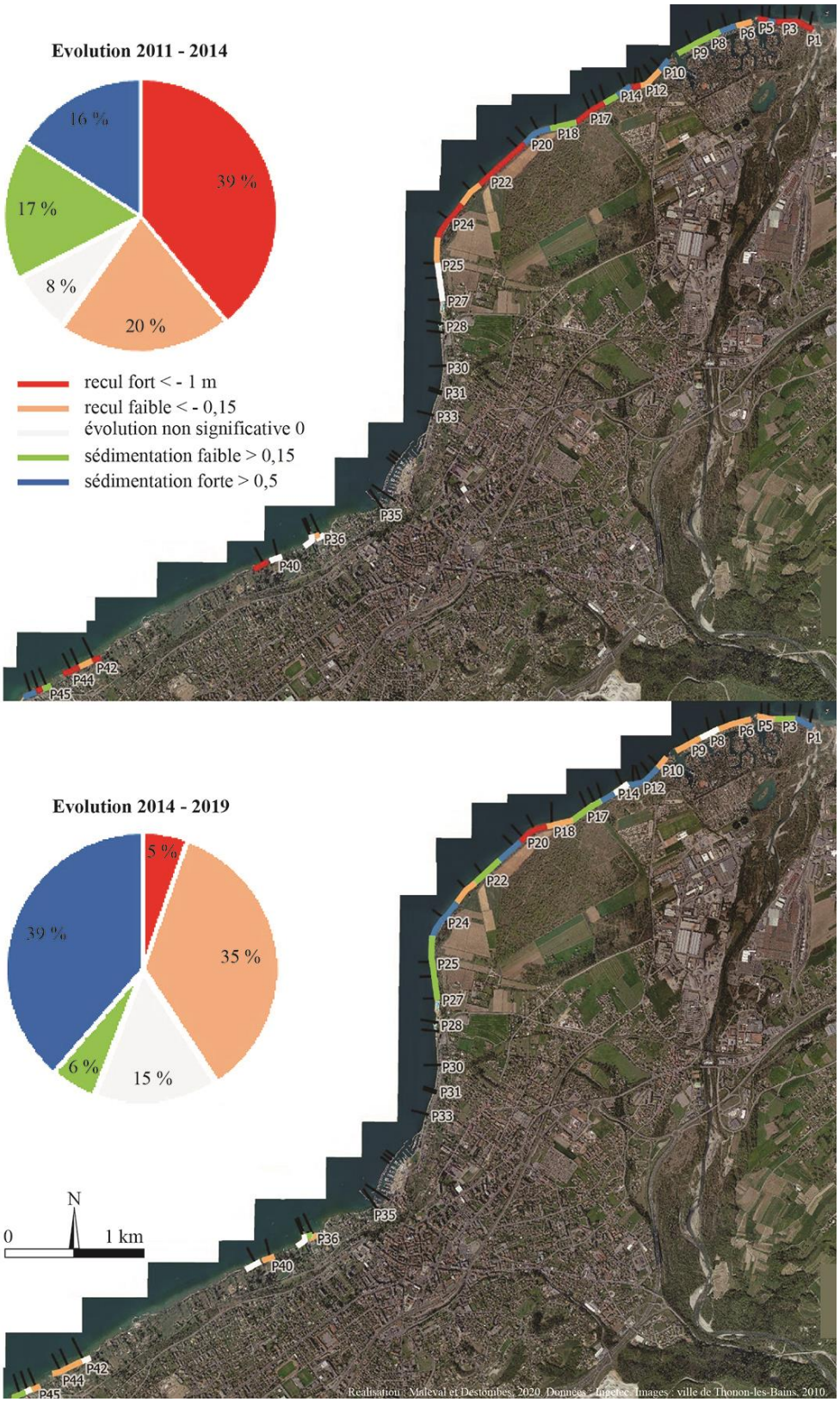


Figure 4 : Cartes comparatives de l'évolution du littoral de Thonon-les-Bains

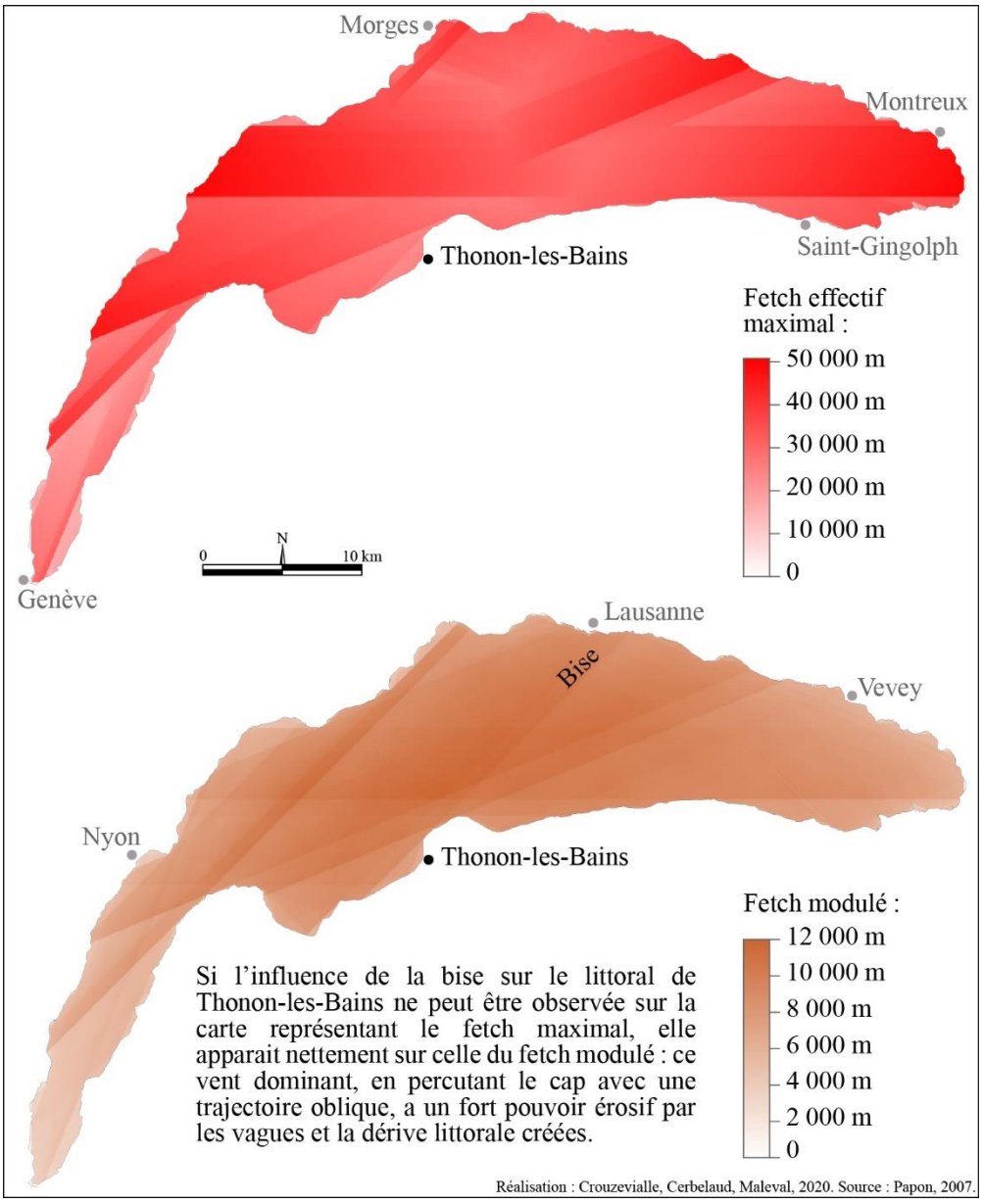


Figure 5 : Le fetch sur le littoral de Thonon-les-Bains

• Dans le détail, hormis pour l'embouchure de la Dranse, seuls les profils topographiques sont présentés, dans le sens où la partie bathymétrique des profils ne montre aucun changement de modelés (ou de très faibles) entre 2011 et 2019.
- Le littoral jouxtant la réserve naturelle du delta de la Dranse, exempt d'aménagement, évolue naturellement au gré de la dynamique fluviale et lacustre. A l'embouchure de la Dranse (P1) (cf. localisation sur la figure 1), les chiffres d'évolution (cf. tableau 2) et le profil topographique et bathymétrique (figure 6) montrent, pour le haut de plage, une sédimentation importante entre 2014 et 2019 (près de 4 m par an), alors qu'il s'agissait d'un secteur très érodé entre 2011 et 2014 (plus de 6 m par an). Néanmoins, le fait intéressant à relever est l'aggradation sous-lacustre modelée depuis 2011. Cette évolution morphologique est davantage liée aux apports hydrologiques de la Dranse qu'aux conditions lacustres.

- Pour le littoral de Ripaille (cf. localisation sur la figure 1), si les profils 15 et 17 montrent peu de changement dans les modelés entre 2011 et 2014, le profil 16 révèle une érosion

conséquente de la plage (recul de 0,76 m par an). En revanche, l'évolution depuis 2014 est la même pour les 3 profils, caractérisée par une sédimentation de la plage (comprise entre 0,12 et 0,38 m), sans que celle-ci n'ait toutefois rattrapée en 2019, le niveau de 2011 pour le profil 16. La sédimentation du P17 se fait sous forme de cordons de galets.

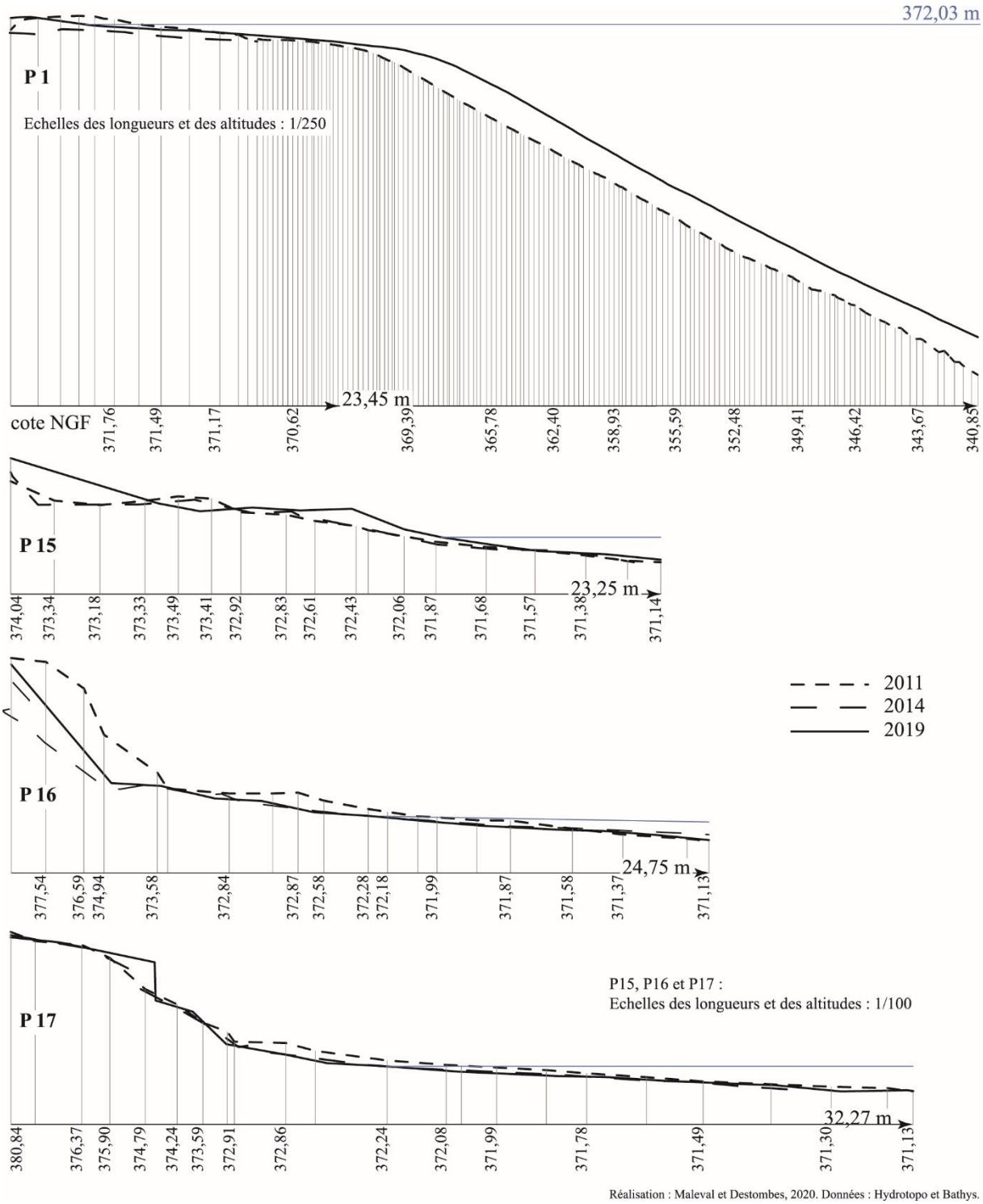


Figure 6 : Les profils du delta de la Dranse et du littoral de Ripaille

Par conséquent, si la première étude (2011 - 2014) a montré que la majorité du littoral de Thonon-les-Bains était érodée par l'eau lacustre, à hauteur de 60 % (et 39 % engraissaient), la

seconde étude (2014 - 2019) révèle une inversion de tendance avec 46 % de littoraux évoluant avec la sédimentation et seulement 42 % avec l'érosion. Cette érosion s'effectuant, en première période, à une vitesse moyenne annuelle de 0,66 m par an, est passée, en seconde période, à la vitesse négligeable de 0,13 m par an.

2) Les mesures de restauration du littoral

Parmi les propositions de protection douce du littoral, formulées à l'issue de la première étude (2011), la commune de Thonon-les-Bains a opté pour la renaturation de son rivage lémanique. Ce choix s'inscrit dans le Plan d'Action 2011-2020 de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL) « Préserver le Léman, ses rives et ses rivières aujourd'hui et demain » (2010). En effet, actuellement, seuls 2 % du rivage lacustre sont conservés à l'état naturel (présence par exemple de roselières), et 26 % restent proches de la naturalité (forêts, grèves…), alors que plus de 60 % sont artificialisés. Dans ces conditions, ce plan recommande de renaturer les rives du Léman pour augmenter la part des milieux naturels ou semi-naturels et améliorer le développement des herbiers, protection naturelle du littoral.

La fin des extractions de sédiments

La présence du cap, de la bise et de la dérive littorale fait que, naturellement, les sédiments portés par la Dranse devraient être en partie pris en charge par la dérive littorale pour être redistribués le long du littoral de Thonon-les-Bains. Néanmoins, ce processus naturel étant perturbé par l'activité d'extraction de granulats à l'embouchure, la dérive exerce alors une action d'érosion du rivage thononais. Cette situation identifiée, il apparaissait véritablement impératif de cesser l'extraction des sédiments dans le delta sous-aquatique de la Dranse (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). Cette prise de position claire apparaissant dans *Diagnostic et propositions d'actions relatifs à l'érosion des berges du Léman sur la commune de Thonon-les-Bains* (Maleval, Destombes & Astrade, 2016), a complété le dossier déjà établi par la cellule Milieux Aquatiques du service Eau Environnement de la Direction Départemental des Territoires. Ce dossier rassemblait des études environnementales comme l'absence d'une quelconque nécessité des extractions sur la question de la gestion des risques et de leur incohérence en présence de la réserve naturelle du delta. Avec ces éléments, la préfecture a pris la décision de ne pas renouveler l'autorisation de prolongation des extractions de granulats, demandée par la société exploitante, pour la période 2017-2022. Cette décision s'est appuyée sur le code minier (décret n°2006-798 du 6 juillet 2006) et le code de l'environnement (décret n°2007-1760 du 14 décembre 2007). Officiellement, les prélèvements de matériaux devaient cesser à l'embouchure de la Dranse à la fin du mois de juillet 2017, mais selon le directeur des établissements, la drague aurait cessé de fonctionner dès le mois d'avril 2016 (Lacrampe, 2016).

L'éco-ingénierie

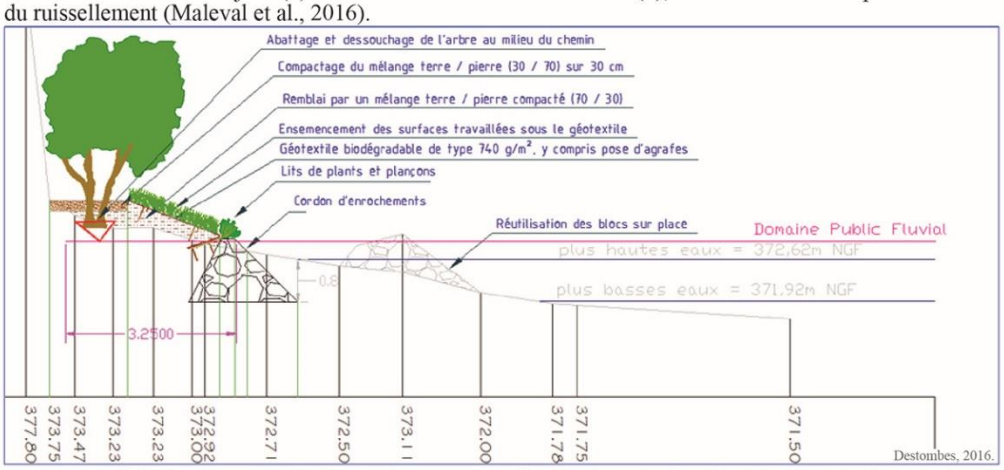
Le domaine de Ripaille est séparé du littoral par un ancien mur de pierres d'une longueur de 1,6 km. Sur un tronçon de 17 m (cf. localisation sur la figure 1), ce littoral est considérablement érodé, en raison non seulement du piétinement lié à la présence d'un sentier mais aussi de l'érosion ravinaire et lacustre (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). De fait, pour éviter la dégradation plus prononcée de ce secteur vulnérable pouvant aboutir au déchaussement du mur, patrimoine bâti communal, ce tronçon littoral a fait l'objet, en 2016-2017, d'une réhabilitation par une technique mêlant enrochement et génie végétal, de façon à moins

impacter le paysage (figure 7). Pour connaître le calage altimétrique de l'ouvrage, les contraintes hydrauliques et morphologiques pour lesquelles la protection devait être dimensionnée, une étude de faisabilité a été conduite par un bureau d'étude (Destombes, 2016).





Photos 3 et 4 (avril 2016, cliché P.B. Destombes ; nov. 2013 cliché V. Maleval) : L'arbre basculé (1) présente une saillie de 1,70 m. Néanmoins, il semblerait que les reliques d'un enrochement (2), en marquant une position antérieure du trait de côte, révèlent une érosion encore plus prononcée ; les arbres situés juste en arrière (3), protégés jusqu'à présent, paraissent en témoigner, d'autant que derrière eux, un second parcours du sentier (4) est tracé. Cette hypothèse est appuyée par le cliché de novembre 2013 montrant, la présence d'un lambeau de sol (5a) qui, deux ans et demi après, décapé (5b), est voué à totalement disparaître. Cette analyse montre bien que l'aménagement d'une protection en dur, sans autre entretien, ne suffit pas à contrer l'érosion. La dégradation du sentier est observable par la présence d'un micro-talus (6), de racines d'arbres mises à jour (7) et de la création de micro-ravines (8), résultat à la fois du piétinement et du ruissellement (Maleval et al., 2016).



Le tronçon d'étude de 35 m, situé entre les coordonnées N46° 23.965' E6° 29.842' et N46° 23.964' E6° 29.826', a fait l'objet d'une réhabilitation sur un linéaire de 17 m (localisation sur la figure 1 et 3). La restauration, dont une partie est située au-dessous de la cote du domaine public fluvial, a nécessité une autorisation au titre de la loi sur l'eau.



Photo 5 (mai 2017, cliché P.B. Destombes) : Le littoral restauré présente un enrochement végétalisé à sa surface par des espèces d'arbres, de graminées (70 %) et de fleurs (30 %), adaptées aux milieux hydromorphes (saules, érable champêtre, cornouiller sanguin, viorne obier, fétuque rouge, Lotier corniculé, Silène enflé, Luzerne lupuline, trèfle violet …). Le développement des racines doit favoriser le maintien de l'ouvrage et, par conséquent, du littoral. Le sentier est situé entre le mur de Ripaille et la ganivelle destinée à canaliser les promeneurs (parfois peu disciplinés). Certes, « aucun élément (du grain de sable à la graminée) n'est à sa place naturellement et l'activité humaine contrôle leur cycle de vie (Lespez et Dufour, 2020, p. 34) », mais le littoral est réhabilité par renaturation.

Figure 7 : Le tronçon restauré de Ripaille

La suppression d'épis

Comme sur de nombreuses plages, à Thonon-les-Bains, pour protéger les aménagements situés juste en arrière du trait de côte, des épis ont été construits au fil du XX^{e} siècle (un des plus anciens, situé devant le château de Ripaille, est visible sur les images aériennes de 1927). Perpendiculaires au littoral, ils sont destinés à retenir à leur amont les sédiments transportés par la dérive et à recevoir, dans les casiers constitués par deux épis, des sédiments portés par l'homme (figure 8). A la suite de l'étude de 2016, puis de la décision, en 2017, de stopper les extractions de sédiments à l'embouchure de la Dranse, la ville de Thonon a voulu, dès 2018, faciliter la circulation de la dérive littorale en supprimant les épis dont la présence n'est pas utile. Le choix de favoriser le transit sédimentaire pour recharger naturellement les secteurs érodés est étudié pour le littoral du parc de la Châtaigneraie et du mur de Ripaille, soumis à la bise, elle-même générant une puissante dérive de direction NE-SO (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). L'étude de faisabilité (Destombes, 2018) prenant en compte la disposition générale des épis, la présence d'enjeux ainsi que la projection des conséquences de leur suppression, a initié, en octobre 2018, la suppression de deux épis sur six tandis qu'un autre a été renforcé. Les épis 3 à 6 se trouvent sur un tronçon littoral homogène dans ses modelés d'érosion (microfalaise d'une soixantaine de centimètres) et de sédimentation (selon les années, la microfalaise est protégée par le dépôt de cordons de galets (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). L'absence d'enjeu a conduit à la suppression des épis 3 et 5, dont les matériaux (150 m^{3}) ont servi au renforcement de l'épi 6, situé juste en aval du linéaire restauré en 2017. L'effet escompté est l'aggradation sédimentaire au pied de ce linéaire, dans le but de protéger les végétaux plantés pour que leur système racinaire se développe et renforce le littoral.



Photo 6 (été 2004, cliché de la CIPEL) : Si le dépôt de sédiments agrandit la plage située en amont de l'épi, celle située en aval, privée de la majeure partie des sédiments, démaigrit.



Figure 8 : Le site de suppression et de renforcement des épis

III - Discussion

• Un littoral évolue naturellement avec une alternance de périodes d'érosion et de dépôt, au gré, principalement, des saisons, des marnages, des courants et des vagues. Les plages lémaniques de Thonon-les-Bains, fonctionnant de la même manière, subissaient lors de la première période d'étude (2011-2014), une érosion accrue en raison d'un déficit sédimentaire (Maleval, Destombes & Astrade, 2016). En effet, si la Dranse est la principale source d'apport en sédiments, ces apports ont été fortement réduits, au fil du XX^{e} siècle, par la politique de restauration des terrains de montagne (boisement) et l'aménagement des barrages hydroélectriques dans le bassin amont à l'image du barrage de Jotty construit en 1950, qui en intercepte 40 % (Buffin & Fourcade, 2011), mais également par l'activité d'extraction de sédiments s'opérant, depuis 1922, à l'embouchure de la Dranse dans le Léman. En effet, sur la période 2001-2009, soit juste avant le début des études littorales entreprises par la commune de Thonon-les-Bains, la société a prélevé un volume annuel moyen de sédiments de 52 000 m^3 (Buffin & Fourcade, 2011), en sachant qu'à la suite de crues exceptionnelles, elle a pu en prélever jusqu'à 100 000 m^3, tandis que l'arrêté préfectoral d'autorisation de prélèvement de juillet 2012 (n° 2012187-0017) fixe le maximum à 80 000 m^3. Si ces chiffres restaient raisonnables du temps où la Dranse acheminait annuellement environ 353 000 m^3 de sédiments, parfois en une seule fois au cours de crue exceptionnelle à l'image de celle de 1968 (Hubert, Marin, Meybeck, Olive & Siwertz, 1969), ces extractions paraissaient aujourd'hui excessives au regard des apports actuels (Maleval & Destombes, 2016).
La seconde période d'étude révèle que, depuis 2014, le littoral thononais évolue désormais, globalement, avec un stock plus conséquent de sédiments. Ce stock supplémentaire, bien observable sur le profil bathymétrique du delta, provient évidemment de la Dranse depuis la fin des prélèvements par la société d'extraction en 2016 : il se dépose alors en moyenne 30 000 m^3 de sédiments chaque année (Buffin & Fourcade, 2011). La dérive littorale, qui en prélève une partie pour progressivement recharger les plages, explique les résultats positifs de l'évolution littorale caractérisée par un impact moins fort du processus érosif en lien avec l'abondance sédimentaire.

Il convient de noter que si les effets de l'arrêt des extractions de granulats sont observables sur les profils topographiques puisque 3 ans se sont écoulés avant la campagne de mesures (d'avril 2016 à avril 2019), ce n'est pas le cas pour les effets de la suppression des épis dans le sens où il n'y a eu que 5 mois et demi entre les travaux et la campagne (travaux en octobre 2018 ; topographie en avril 2019), d'autant qu'à cette époque de l'année, le lac se trouvait en situation de basses eaux (de janvier à mai, cote minimale de 371,88 m ; HE de juin à décembre, cote maximale de 372,58 -niveaux transmis par OFB (Office Français de la Biodiversité).

Il convient de noter que l'évolution littorale encourageante ne peut être expliquée par un changement de régime de la bise, ce vent dominant provenant du NE dont la fréquence et la vitesse (supérieure à 10 m/s) la rendent susceptible d'avoir une action morphogène sur le littoral thononais. En effet, si les graphiques de la figure 9 révèlent, au cours de la période 1988-2018 (30 ans), une diminution constante du nombre de jours où les vents sont les plus forts, sur les deux périodes d'étude, à partir de 2011, le cycle de vent fut sensiblement le même.

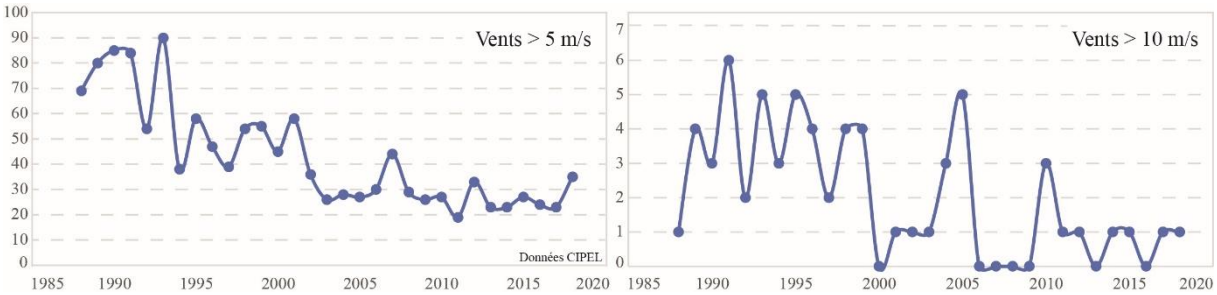


Figure 9 : Nombre de jours de vents forts (station de Changins)

Ainsi, grâce aux derniers résultats, l'érosion peut être considérée, sur le littoral thononais, au cours de la dernière période d'étude, et par rapport à la première, comme mineure. Néanmoins, les formes littorales étant créées, au fil des saisons, par le jeu de l'érosion et de la sédimentation, des modelés d'aggradation observés, en un instant t, par le dépôt de galets en transit, peuvent disparaître quelques temps après (Maleval, Destombes & Astrade, 2016).

• Si la restauration par l'éco-ingénierie est une technique qui a fait ses preuves, aujourd'hui, face aux enjeux écologiques, les projets de restauration des systèmes dégradés (topographie, occupation des sols…) se multiplient (Lespez, 2020), et le littoral du Léman à Thonon-les-Bains est un nouvel exemple. La réhabilitation du linéaire de Ripaille a permis le passage d'un milieu anthropisé (essai de protection du littoral par un enrochement, finalement réduit, au fil du temps, à l'état de vestige par manque d'entretien), à un milieu renaturé, c'est à dire un milieu qui permet une intégration paysagère au caractère relativement naturel. Si le premier objectif de l'ingénierie éco-morphologique est la restauration pour la protection, le second est la revitalisation naturelle afin de favoriser le développement durable des littoraux.

Conclusion

Si les bouleversements induits par les activités et les aménagements de l'homme aux modelés littoraux sont une réalité (Touchart, 2000), ils ne sont pas pour autant une fatalité. En effet, la protection des rivages n'étant pas synonyme d'aménagement en dur tant leurs effets peuvent être néfastes (Maleval, Destombes & Astrade, 2016) et temporaires par manque d'entretien, protéger revient alors, dans certains cas, à réinitier les dynamiques naturelles des littoraux atteints par l'érosion, comme à Thonon-les-Bains. Cette réhabilitation qui sert l'esthétique du paysage joue également un rôle prépondérant dans la préservation de la diversité écologique (EROSEE, 2006), et facilite certaines activités comme les promenades le long du littoral, celui-ci étant moins ponctué d'ouvrages en dur constituant des obstacles à la circulation. Ces actions naturelles et protectrices, dont les premiers résultats du suivi sont encourageants, valorisent alors les décisions communales.

Si en 2006, plus des trois-quarts des 200 km de rive du Léman étaient bétonnés (de Cesare, 2014), aujourd'hui, compte tenu des multiples actions mises en œuvre en Suisse, notamment dans le canton de Genève (Pidoux, 2014), mais également en France, il n'est pas osé de penser que ce chiffre peut encore diminuer grâce à la renaturation, comme le souhaite le plan d'action de la CIPEL. La ville de Thonon-les Bains, soucieuse de l'évolution de son littoral lémanique et du bien-être de sa population, participe activement à cette stratégie basée sur la nature, appréciée par les locaux et les touristes.

Bibliographie

Baxter, R. M. & Glaude, P. (1980). Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada : expérience et perspectives d'avenir. *Bulletin Canadien des Sciences Hallieutiques et Aquatiques*, vol. 205F, 36 p.

Boillat, J. L, Sayat, S. & Schleiss, A. (2006). *Approche méthodologique pour l'établissement d'un projet de protection de rives lacustres*. EROSEE, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – Laboratoire Central d'Hydraulique, Lausanne, 304-311.

Buffin, B. & Fourcade, B. (2011). *Etude hydraulique et géomorphologique pour le renouvellement de la concession SAGRADRANSE à l'embouchure de la Dranse*. Sagradranse – Hydrétudes, 44 p.

CIPEL (2010). *Plan d'Action 2011-2020 en faveur du Léman, du Rhône et de leurs affluents. Préserver le Léman, ses rives et ses rivières aujourd'hui et demain*. Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman CIPEL/ACW, Nyon (Suisse), nov. 2010, 64 p. Repéré à https://www.cipel.org/la-cipel/plan-action/

Code de l'environnement, décret n° 2007-1760 du 14 décembre 2007. Repéré à https://aida.ineris.fr/consultation_document/1775

Code minier, décret n°2006-798 du 6 juillet 2006. Repéré à https://beta.legifrance.gouv.fr/loda/texte_lc/LEGITEXT000006053979/

De Cesare, G. (2014, octobre). *Génie biologique et protection des rives*. Communication présentée à la conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres. Lausanne, Suisse.

Destombes, P. B. (2016). *Etude de projet. Erosion des berges : protection d'un tronçon sous le mur de Ripaille (ville de Thonon-les-Bains)*. INGETEC, Infrastructure – Environnement, 2016, 38 p.

Destombes, P. B. (2018). *Etude de projet. Gestion des points durs du littoral thononais (ville de Thonon-les-Bains)*. INGETEC, Infrastructure – Environnement, juin 2018, 41 p.

Dray, M. (1993). Les terrasses de Thonon (bassin lémanique – France) : aspects géologiques de la déglaciation würmienne et intérêt hydrogéologique. *Quaternaire*, vol. 4, no 2-3, 77-82.

EROSEE (2006). *Diagnostic ecomorphologique des rives lacustres*. KTI-Projekt 5760.1 UTS Erosionsprozesse und Uferstabilität an Binnenseen, LCH/EPFL, 69 p.

Gautier, E. & Touchart, L. (1999). *Fleuves et lacs*. Paris, Armand Colin, Synthèse, Géographie.

Huber, A. (2014, octobre). Dynamique des vagues et revitalisation des rives. Communication présentée à la conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres. Lausanne, Suisse.

Hubert, P., Marin, E., Meybeck, M., Olive, P., & Siwertz, E. (1969). Aspects hydrologique, géochimique et sédimentologique de la crue exceptionnelle de la Dranse du Chablais du 22 septembre 1968. *Archives des Sciences*, *22*, 581-603.

Iseli, C. (1996). *Maintien et rétablissement des rives naturelles du lac de Bienne : que faire ? Archéologie et érosion*, Actes de la rencontre Internationale de Marigny, Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier.

Lacrampe, L. (2016). Fin des extractions de matériaux dans le lac : un bien ou un mal pour la Dranse ? Article du journal *Le Messager* du 08 décembre 2016.

Lespez, L. & Dufour, S. (2020). La nature de l'Anthropocène : nature anthropisée, nature hybridée. Dans Dufour, S. & Lespez, L. (dir.), *Géographie de l'environnement. La Nature au temps de l'Anthropocène* (p. 17-31). Paris, Coll. U, Armand Colin.

Lespez, L. (2020). Analyser la nature hybridée : renforcer le dialogue intra- et interdisciplinaire. Dans Dufour, S. & Lespez, L. (dir.), *Géographie de l'environnement. La Nature au temps de l'Anthropocène* (p. 81-93). Paris, Coll. U, Armand Colin.

Lotito, V. (2011). *La reconquête des berges du lac du Bourget : un projet ambitieux et emblématique en termes de développement durable*. Dossier de presse. Le Grand Lac, 1999-2015. Conseil Général de la Savoie, 6 p.

Maleval, V., Destombes, P. B. & Astrade, L. (2016). Diagnostic et propositions d'actions relatifs à l'érosion des berges du Léman sur la commune de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie, France). *Physio-Géo*, Volume 10 | 2016. Repéré à http://physiogeo.revues.org/4751 ; doi: 10.4000/physio-geo.4751

Maleval, V. & Astrade, L. (2003). Le modelage d'une cuvette lacustre artificielle après son remplissage : quantification et chronologie de l'érosion des rives du lac de Saint-Pardoux, Limousin (France). *Revue de Géographie Alpine*, vol. 91, no 1. 29-40.

Matthey, F., Pradervand, R., Burri, D., Jotterand, J. P., Strechler Perrin, C., Clerc, … Kulling, P. (2004). *Lutte contre l'érosion de la rive sud du lac de Neuchâtel. Bilan de mesures*. *Cahier de l'Environnement* - Nature et Paysage, no 372, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 69 p.

Pourriot, R. & Meybeck, M. (dir.) (1991). *Limnologie générale*. Paris, Masson, coll. d'Ecologie, 25.

Papon, P. (2007). *Les plans d'eau superficiels : définition, fonctionnement et aménagements.* Etude du lac Balaton, du lac de Grand-Lieu et de l'étang de Cieux (thèse de doctorat inédite). Université de Limoges.

Paskoff, R. (1994). *Les littoraux. Impacts des aménagements sur leur évolution*. Paris, Masson.

Pidoux, F. (2014, octobre). Genève 2000-2030 : étude préliminaire de localisation et de morphologie des aménagements lacustres. Communication présentée à la conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres. Lausanne, Suisse.

Ravailleau, S., Olive, P., Babic, M. & Talavera, J. M. (2000). L'aquifère du delta de la Dranse : un cas d'école. Dans Tracers and modelling in hydrogeology, actes de colloque, Liège, *AIHS Publication*, no 262, 511-524.

Segers, I. & Tremblay, D. (2015). *Rapport d'analyse de développement durable du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (2016-2026)*. Rio Tinto Alcan, division énergie électrique. UQAC, Chaire en éco-conseil, Université du Québec à Chicoutimi, 250 p.

Touchart, L. (2002). *Limnologie physique et dynamique. Une géographie des lacs et des étangs*. Paris, L'Harmattan, Paris, 395 p.

Touchart, L. (2000). *Les lacs. Origine et morphologie*. Paris, L'Harmattan, 203 p.

Touchart, L. (1993). La machine lacustre : l'exemple du Léman. *Annales de Géographie*, vol. 102, no 573, p. 449-471.