

# Expertise de digues pour le tracé de la SPPL

## Digues de Béquerel et de Lozélec



Crédit photo : ©DLSB/Cerema Ouest



*Liberté • Égalité • Fraternité*

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DDTM56

# Expertise de digues pour le tracé de la SPPL

## Digues de Béquerel et de Lozère

### Historique des versions du document




Version	Date	Commentaire

### Affaire suivie par

<b>Magali Jouas</b> - Département de Saint-Brieuc – Groupe/Unité Risques Naturels et Géophysique
Tél. : 02 96 75 93 00 / Fax : 02 96 75 93 10
Courriel : <a href="mailto:Magali.Jouas@cerema.fr">Magali.Jouas@cerema.fr</a>
<b>Cerema Ouest</b>

### Références

n° d'affaire : C18OB0004-07  
 Maître d'Ouvrage : DDTM 56 (M. Jacky Le Floc'h)  
 Devis n° C18OB0004-07 du 14/02/2018

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Magali Jouas	Mai 2018	
Contrôlé par	Raphaël Bénot	30-05-18	
Validé par	Régis Soënen	08/06/18	

# SOMMAIRE

<b>1 OBJET DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>2 DESCRIPTION DES OUVRAGES.....</b>	<b>4</b>
2.1 Situation géographique, contextes géomorphologique et historique.....	4
2.2 Caractéristiques techniques des ouvrages.....	6
2.2.1 Béquerel.....	6
2.2.2 Lozère.....	8
<b>3 DIAGNOSTIC D'ÉTAT.....</b>	<b>12</b>
3.1 Méthodologie de l'étude.....	12
3.2 Résultats de l'inspection des ouvrages.....	12
3.2.1 Béquerel.....	12
3.2.2 Lozère.....	17
<b>4 DÉFINITION DES MESURES D'AMÉNAGEMENTS.....</b>	<b>20</b>
4.1 Notion d'emprise et d'aire de marche d'un sentier.....	20
4.2 Réponse de la végétation au piétinement.....	21
4.3 Actions à envisager pour la mise en œuvre de la SPPL et pour assurer la sécurité des usagers.....	22
<b>5 CONCLUSION.....</b>	<b>24</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>25</b>

# 1 Objet de l'étude

La DDTM du Morbihan envisage de poursuivre la mise en place de la Servitude de Passage des Piétons le long du Littoral (SPPL) sur les communes de Crac'h et de Carnac. Dans cette optique, il est prévu d'emprunter des ouvrages hydrauliques, type digue, relevant du domaine privé. Afin d'étudier la possibilité d'utiliser ou pas ces ouvrages, la DDTM du Morbihan sollicite le Cerema Ouest pour établir un diagnostic visuel de leur état. Ce diagnostic pose également les conditions d'actions à mettre en œuvre pour la création du sentier et pour assurer la sécurité des futurs usagers.

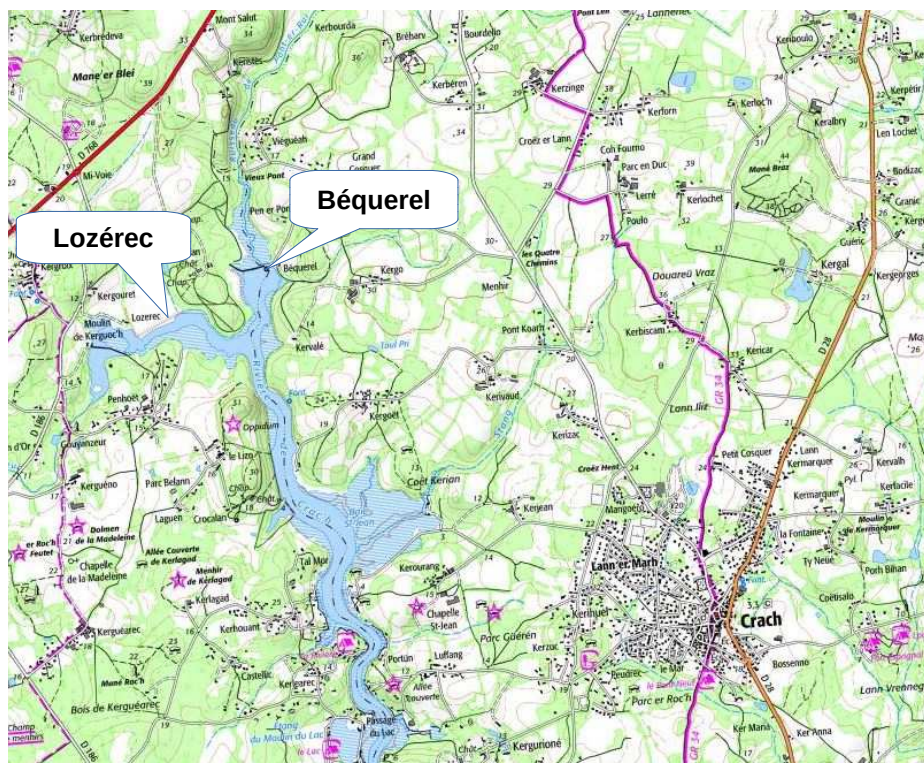
## 2 Description des ouvrages

### 2.1 Situation géographique, contextes géomorphologique et historique

L'inspection porte sur deux digues :

- la digue de Béquerel, sur le ruisseau de Pont-er-Rui (communes de Carnac et de Crac'h),
- la digue de Lozérec, sur le ruisseau de Gouyanzeur (commune de Carnac),

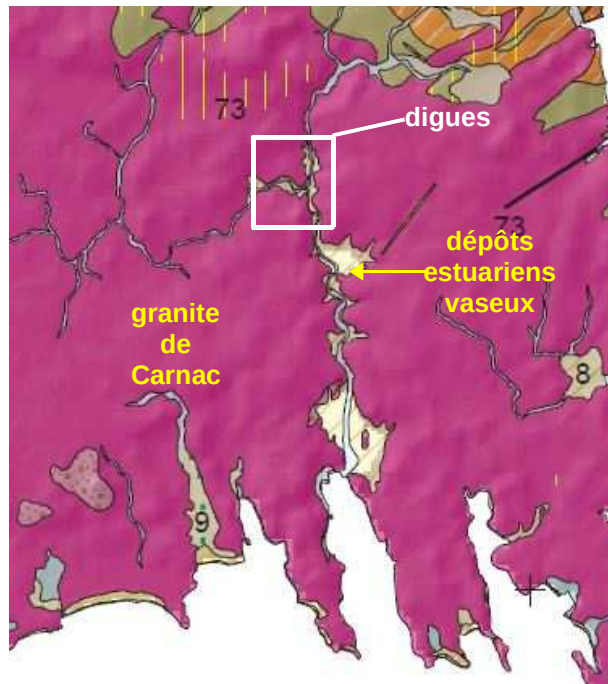
Ces deux ouvrages se situent en secteur amont de la rivière du Crac'h.



Carte 1: localisation des digues - extrait du scan25 ©IGN

Dans leur ensemble, les ouvrages reposent sur un substratum rocheux granitique (formation de leucogranite à biotite et muscovite de Carnac-Sarzeau, à grain moyen-fin, à biotite et nombreux petits phénoblastes sub-automorphes de feldspath).

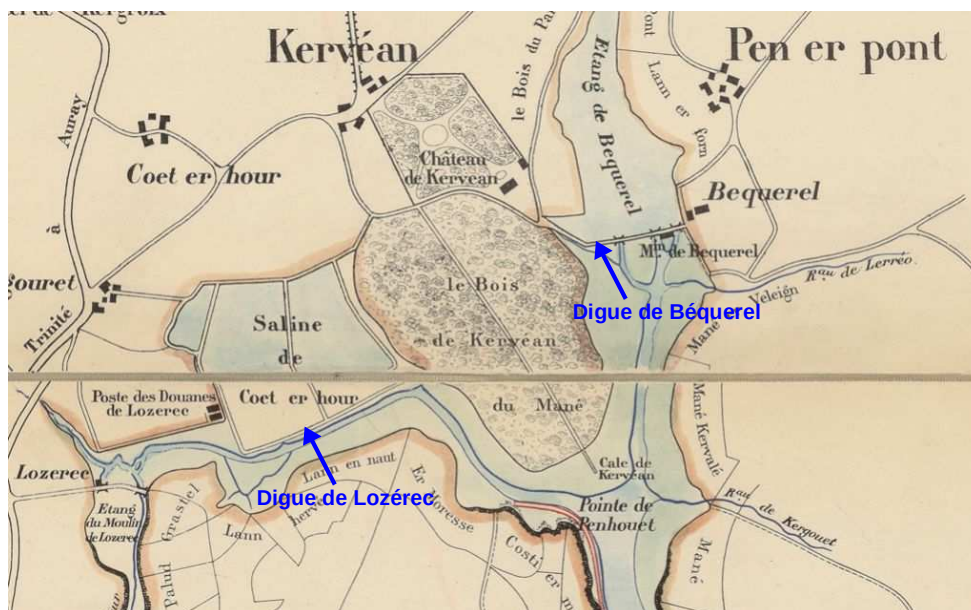
Toutefois, ce sont plutôt des formations superficielles de type dépôts estuariens vaseux (potentiellement argileux), slikke vaseuse et schorre des estuaires qui prédominent dans le paysage.



Carte 2: extrait de la carte géologique harmonisée du département du Morbihan, février 2009 - ©BRGM

Très peu de données historiques sont portées à notre connaissance. La digue de Béquerel est associée à un moulin à marée, le moulin de Béquerel dont il ne subsiste aujourd'hui que les fondations en secteur Est de la digue. Ce moulin et donc potentiellement la digue sur laquelle il reposait dateraient du milieu du 15<sup>e</sup> siècle (1455 d'après le propriétaire). La digue de Lozèrec semble plus contemporaine. Elle ne figure pas sur la carte de Cassini de 1789 mais apparaît sur les documents cartographiques du 19<sup>e</sup> siècle.

Les deux ouvrages, Béquerel et Lozèrec, sont mentionnés sur la carte des côtes du quartier maritime d'Auray, dressée par le service ostréicole en 1880 (carte 3). Sur ce plan, la digue de Lozèrec circonscrit la saline de Coet er hour. Non exploitée aujourd'hui, il reste toutefois dans le paysage divers éléments tels que les étiers et divers bassins. Pour Béquerel, le plan fait état de trois ouvrages traversants. Il ne demeure aujourd'hui que celui le plus à l'Est (portes à mer).



Carte 3: extrait de la carte des côtes du quartier maritime d'Auray, dressée par le service ostréicole/par ordre de Mr. le Ministre de la Marine ; par Dré Ragirot,...; Gravé par F. Dufour - 1880 (source gallica.bnf.fr/BnF)

Des extraits de vues aériennes des sites depuis les années cinquante sont présentés en annexe 01. Pour le site de Béquerel, le moulin est encore présent sur la digue jusque dans les années soixante. Durant la décennie suivante, il ne subsiste sur la digue que ses fondations. À cette même période, on relève également l'aménagement de la rive Est : nouveau bâtiment central raccordant les bâtiments existants, agrandissement de la plateforme au-devant de ces habitations, ce terre-plein empiète alors sur la section de rivière en aval de la digue.

Pour la digue de Lozélec, la photographie aérienne de 2009 laisse apparaître une brèche dans la partie centrale de l'ouvrage. Celle-ci semble colmatée sur l'orthophotographie de 2011 sur laquelle on constate aussi, en arrière de la digue, la création d'une banquette d'environ 80ml depuis la zone boisée du NE. Sur la photographie de 2013, cette plateforme est prolongée parallèlement à la digue sur un linéaire de 120m environ, ce qui vient renforcer le secteur initialement fragilisé par la brèche.

## 2.2 Caractéristiques techniques des ouvrages

Aucune information quant à la structure interne des ouvrages n'a été trouvée.

### 2.2.1 Béquerel

Transversal au ruisseau de Pont-er-Rui, l'ouvrage fait office de barrage sans toutefois restreindre les entrées d'eau salée et les sorties d'eau douce de l'étang à marée de Béquerel (superficie d'environ 6ha). Depuis la rive gauche, la digue est rectiligne, de direction Est-Ouest s'orientant au NW à l'approche des rives de Carnac. Elle se raccorde alors au terrain naturel par un merlon de terre. Autrefois, l'ouvrage supportait dans sa partie Est un moulin à mer (illustration 1). La longueur totale de la digue avoisine 250ml.



Illustration 1: extrait Géoportail, ©IGN

L'ouvrage est constitué :

- à l'aval et en amont, de parements quasi verticaux (léger fruit) principalement en maçonnerie de pierres sèches, localement jointoyées (pierres de taille et moellons de granite) – photo 3,

- en crête, depuis la rive Est jusqu'au pignon Ouest de l'ancien moulin, d'une plateforme nivelée par des matériaux type grave (photo 1). Au-delà des fondations du moulin, la crête correspond à une banquette enherbée dont le centre est légèrement décaissé suite aux rechargements des abords aval et amont de l'ouvrage par des matériaux meubles (photo 2),

- d'ouvrages traversants :

- extrémité Est de la digue : 2 portes à mer constituées à l'amont par des clapets qui laissent entrer la mer comme permettent l'évacuation des eaux de l'étang (photo 3). Ces portes sont surmontées de gros linteaux de granite de part et d'autre de l'ouvrage. Le couvrement des sas correspond à deux voûtes de pierres,
- ancien moulin de Béquerel : 3 coursiers bien visibles en façade aval de l'ancien moulin. En amont et en crête, un seul semble condamné (photo 3),
- banquette enherbée : 1 buse PVC Ø150 pour l'évacuation des eaux de surfaces pouvant stagner sur la digue et de 2 trop-pleins type ponceau en secteur NW.



Photo 1: fondation du moulin de Béquerel et raccordement rive Est, février 2018 - ©Cerema



Photo 2: délimitation digue nivelée - digue enherbée, février 2018 - ©Cerema

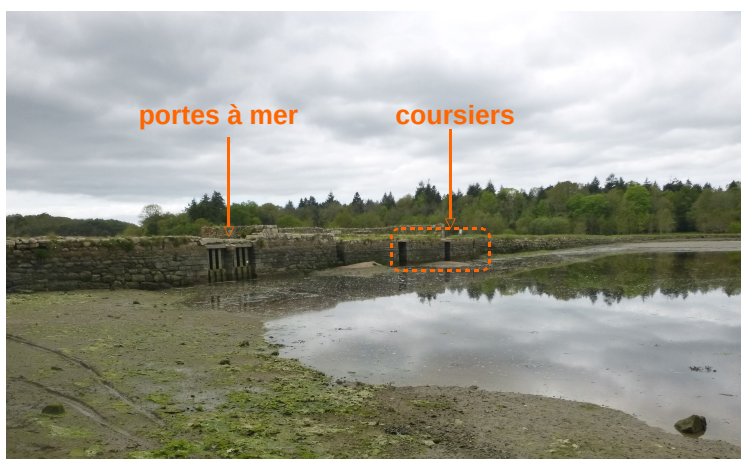


Photo 3: vue amont de la digue de Béquerel, avril 2018 - ©Cerema

En secteur NW, l'ouvrage est raccordé au terrain naturel (sous-bois) par un merlon de terre. Quant au raccordement Est, il se fait en aval au mur maçonné de la parcelle YL57 alors qu'en amont, la digue semble en appui au terrain naturel.

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques techniques de la digue de Béquereel.

Géométrie	
Longueur totale de la digue	~ 250ml
Largeur en crête	inférieure à 5m aux extrémités E et NW, largeur moyenne de 5-6m avec un maximum d'environ 11m dans la section de l'ancien moulin
Hauteur du parement apparent en aval	$2m < H_{\text{aval}} < 2,50m$
Hauteur du parement apparent en amont	$1,50m < H_{\text{amont}} < 2,50m$
Matériaux	
Corps d'ouvrage	d'après le propriétaire, le noyau serait constitué de fagots de châtaignier et de vase
Parement en aval	majoritairement, maçonnerie de moellons de granite non jointoyés
Parement en amont	majoritairement, maçonnerie de moellons de granite non jointoyés
Crête	Section E jusqu'au pignon W du moulin = matériaux type grave, épaisseur indéterminée Au-delà, la crête est enherbée (80 % de l'ouvrage)
Fondation	inconnue
Assise (sols supports)	vases et dépôts argilo-sableux des estuaires et des anses
Environnement	
Ouvrages associés	ouvrages traversants : 2 portes à mer, 3 coursiers, 1 buse PVC, 2 trop-pleins

Tableau 1 : synthèse des caractéristiques techniques de la digue de Béquereel

### 2.2.2 Lozélec

L'ouvrage ceinture d'anciennes salines sur une superficie d'environ 6ha. Il est orienté NE-SW sur un linéaire d'environ 330m parallèlement au cours d'eau du Gouyanzeur puis, selon un angle de 90°, il prend la direction du Nord sur 300ml. À ses extrémités Est et Nord, l'ouvrage se raccorde au terrain naturel (illustration 2) au travers de sous-bois.

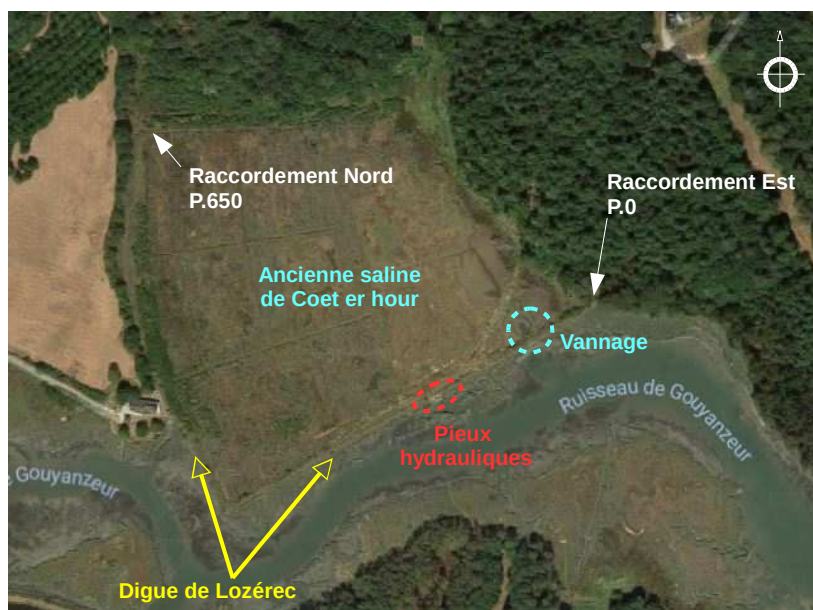


Illustration 2: extrait Google Maps



La digue est fortement végétalisée ce qui masque grandement sa structure. Elle semble constituée d'un merlon de terre (matériaux meubles cohésifs argileux) renforcé à sa base en protection contre l'érosion de contact, d'un muret de pierres sèches (photos 4 & 5) sur sa face aval et par intermittence côté amont.



Photo 4: vue aval de la digue de Lozère, mars 2018 - ©Cerema



Photo 5: vue amont de la digue de Lozère, mars 2018 - ©Cerema

Bien que de fortune, un système de vannage est présent en secteur NE, permettant de réguler les entrées et sorties des eaux dans l'ancienne saline (photos 6 & 7).



Photo 6: vue amont de la vanne de la digue de Lozère, mars 2018 - Cerema



Photo 7: vue amont de la vanne de la digue de Lozère, mars 2018 - Cerema

En avant de la digue en section centrale vers P.150, des pieux hydrauliques associés à des blocs d'enrochements (photo 8) sont présents sur environ 15ml et correspondent à un dispositif de confortement mis en œuvre après l'ouverture d'une brèche repérée sur l'orthophotographie de 2009 et 2010 (illustration 3). Sur cette même portion et au-delà entre P.99 et P.235, l'ouvrage a fait l'objet d'un élargissement par l'arrière, suite à la construction d'une plate-forme en remblai de second rang entre 2011 et 2013 (illustrations 4 et 5) qui a été l'occasion de renforcer ce segment de la digue de Lozère par des remblais de déchets inertes de démolition tout venant (photo 9).



Photo 8: système de confortement pieux hydrauliques/enrochements, février 2018 - ©Cerema



Photo 9: vue amont de la section en remblais, mars 2018 - ©Cerema



Illustration 3: extrait d'une photographie aérienne prise en 2010 par l'IGN



Illustration 4: extrait d'une photographie aérienne prise en 2011 par l'IGN



Illustration 5: extrait d'une photographie aérienne prise en 2013 par l'IGN

Les caractéristiques techniques de la digue de Lozèrez sont synthétisées dans le tableau suivant.

<b>Géométrie</b>	
Longueur	~650m
Largeur en crête	la crête de digue présente une largeur relativement homogène de l'ordre de 2 à 3m, à l'exception de la zone en arrière de laquelle vient jouxter la plate-forme où la largeur avoisine 10m
Hauteur du parement apparent en aval	de 1m à 2,20m
Hauteur du parement apparent en amont	de 1,10 à 1,70m
<b>Matériaux</b>	
Corps d'ouvrage	inconnu précisément, mais on observe des matériaux meubles argileux de type glaise au droit de certains glissements, ainsi que des remblais de grave et de déchets inertes de démolition dans la zone d'élargissement
Parement en aval	talus végétalisé avec un parement de maçonnerie de moellons de granite non jointoyés à la base sur 40cm à 1m
Parement en amont	talus végétalisé
Crête	fortement végétalisée : herbacées, arbustes d'épineux, quelques jeunes arbres
Fondation	inconnue
Assise (sols supports)	vases et dépôts argilo-sableux des estuaires et des anses
<b>Environnement</b>	
Ouvrages associés	1 ouvrage traversant équipé d'une vanne à guillotine à l'amont et d'un clapet anti-retour à l'aval à P.60

Tableau 2 : synthèse des caractéristiques techniques de la digue de Lozèrez

## 3 Diagnostic d'état

### 3.1 Méthodologie de l'étude

La visite d'inspection des ouvrages repose uniquement sur un examen visuel minutieux des parties visibles et accessibles de ceux-ci sans moyen particulier d'investigation. L'objectif de cette observation est de mettre en avant les désordres et défauts constatés afin de déterminer un état général de l'ouvrage, futur support de la SPPL : état ruiné, mauvais état, état moyen, bon état. Cet état est décisif dans la possibilité de faire passer ou pas la SPPL et conditionnera également les actions à entreprendre en matière d'aménagement et de sécurité pour assurer ce passage.

La méthodologie mise en application s'est déroulée en trois étapes :

- étape 1 : une première visite de terrain, le 08/02/2018, en présence du Maître d'Ouvrage, a permis de prendre connaissance des sites et des ouvrages dans leur environnement, d'apprécier leur structure, leur fonction, leur état général apparent ainsi que de constituer un premier album photographique.

- étape 2 : à l'issue de cette première visite et des éléments recensés par ailleurs, une fiche de terrain a été établie pour chacune des digues en vue de préparer la visite d'inspection détaillée. Ce document synthétise à la fois les caractéristiques techniques de l'ouvrage, les relevés de désordres, les paramètres actuels de la crête de l'ouvrage. Il indique également les évaluations de l'ouvrage en matière d'état et d'usage de la crête (confort, sécurité). Enfin, ce document conclut sur les actions à entreprendre pour la mise en œuvre de la SPPL et pour assurer la sécurité des futurs usagers. Ces fiches de terrain sont présentées en annexe 2.

- étape 3 : chacune des digues a fait l'objet d'une visite de terrain, dans les conditions marines suivantes :

Digue	Date	Port de	Horaire de marée	Coefficient de marée
Lozélec	20/03/18	La Trinité/Mer	BM : 12h45 - PM : 18h32	95
Béquerel	23/04/18	La Trinité/Mer	PM : 12h17 - BM : 17h59	52

Tableau 3 : conditions de marées au jour d'inspection pour chaque digue

Cette inspection visuelle a été menée par deux techniciens. Le cheminement s'est principalement effectué depuis la crête du fait de difficultés d'accès aux pieds des digues dues à l'envasement important de ceux-ci, à une végétation dense ou un ouvrage toujours en eau. Ponctuellement, des points en pieds d'ouvrages ont été faits lorsque cela était possible. Systématiquement, des photographies de détails des désordres constatés ont été prises.

Pour des raisons de sécurité, les ouvrages traversants (portes à mer, coursiers, trop-pleins) ainsi que le sous-sol de l'ancien moulin de la digue de Béquerel n'ont pas été inspectés.

En ce qui concerne la digue de Lozélec, l'envahissement généralisé de la digue par un écran végétal très difficilement pénétrable a conduit à ne pas étudier l'ouvrage sur un linéaire d'environ 250m.

### 3.2 Résultats de l'inspection des ouvrages

#### 3.2.1 Béquerel

Les désordres qui affectent l'ouvrage se traduisent par un certain nombre de phénomènes visibles en surface :

- fissurations selon le réseau de joint,
- fracturations de moellons,

- destruction du couronnement,
- lacunes de blocs,
- déchaussements de moellons,
- présence d'eau (écoulement, essences végétales indicatrices de zones plus humides) en crête ou en pied d'ouvrage,
- effets de ventre de la carapace maçonnée (photos 10 & 11),
- fissures de traction en crête,
- éboulements de la carapace (photo 12).

Ces désordres ont pour origine les conditions mêmes du milieu (forte agressivité du milieu marin => actions mécanique et physico-chimique sur les divers éléments composants la maçonnerie), l'ancienneté de l'ouvrage (15<sup>e</sup> siècle) mais présumément également d'une déstabilisation interne de la digue. En effet, le relevé de nombreux bombements des carapaces maçonnées aval et amont associé ou non à des fissures de traction en crête témoignent de poussées internes des matériaux composant le noyau (fagots de châtaignier et vase) notamment sous l'action de l'eau. Les murs de pierres sèches sont particulièrement perméables à la circulation d'eau. L'ouvrage est donc sujet à des montées en charge (équilibre des nappes d'eau de part et d'autre de la digue) et donc à des poussées internes hydrauliques. Pour la portion enherbée qui représente 80% du linéaire de digue, la configuration en cuvette de la crête facilite également la rétention des eaux de pluie ou des eaux de mer surversées ou remontées par capillarité. Cette eau piégée qui ne peut s'évacuer s'infiltré alors dans le corps de digue. L'eau a donc une action de poussée interne des matériaux, de lessivages des éléments fins du noyau, de tassement ce qui finit par générer les déformations de la carapace maçonnée. Au final, ces désordres peuvent conduire à des instabilités d'ensemble de la digue comme l'attestent les deux éboulements relevés en amont de la banquette enherbée et la réfection d'une portion de mur aval sur un linéaire d'une dizaine de mètres.



*Photo 10: effet de ventre en aval de la banquette enherbée, mars 2018 ©Cerema*



*Photo 11: effet de ventre en amont de la banquette enherbée, avril 2018 ©Cerema*



*Photo 12: éboulement en amont, avril 2018 ©Cerema*

Par ailleurs, la digue de Béquerel semble en partie sujette aux phénomènes de surverse et/ou de franchissement lors de grandes marées (coefficient >100). Ces faits sont confirmés par le témoignage des propriétaires de l'ouvrage (vidéos et photos lors de la marée du 03/03/2018 par coefficient de 110) mais aussi par des indicateurs d'inondation type couloirs d'écoulements relevés en crête de la banquette gravillonnée avec dépôt des matériaux en pied amont (photos 13 & 14) ou encore des secteurs à végétations de zone humide sur la banquette enherbée.

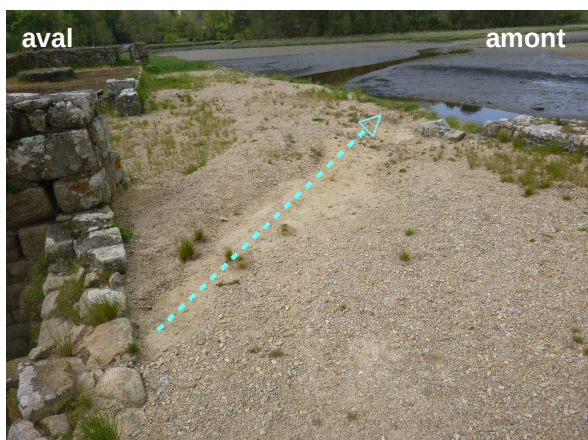


Photo 13: couloir d'écoulement, avril 2018 ©Cerema

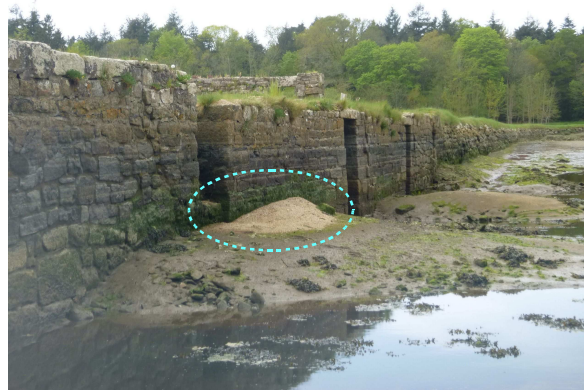


Photo 14: dépôts des matériaux de la crête, avril 2018 ©Cerema

Diverses projections de niveau d'eau statique (sans surcote) sont présentées ci-dessous. Ces hauteurs d'eau se réfèrent aux données calculées au port de référence de La Trinité/Mer situé plus en aval sur la rivière du Crac'h. Les cartographies qui en résultent apportent de l'information sur les portions de digue éventuellement submersibles (annexe 3).

PMVE (Pleine Mer Moyenne de Vive Eau)	Coefficient $\pm 95$	Niveau d'eau calculé = <b>2,60m</b> NGF
Marée du 03/03/2018	Coefficient de 110	Niveau d'eau calculé ~ <b>3m</b> NGF
PHMA (Plus Haute Mer Astronomique)	Coefficient = 120	Niveau d'eau calculé = <b>3,25m</b> NGF

Tableau 4 références altimétriques maritimes au port de La Trinité/Mer, ©shom

Il est à noter que la topographie et la configuration assez étroite et peu découpée en de nombreuses anses de la rivière du Crac'h amplifient en fond de rivière (donc au site de Béquerel) le phénomène de marée d'une surcote d'environ 20cm par rapport aux données de hauteur de marée prises au port de la Trinité/Mer. Ainsi, on peut penser que le 03/03/2018, la hauteur de marée sur le site de Béquerel était proche des 3,20m NGF ce qui correspond quasiment à la cote PHMA calculée à 3,25m NGF au port de la Trinité/Mer.



Illustration 6: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 2,60m correspondant à la PMVE (cartographie réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)



Illustration 7: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 3m correspondant à la marée du 03/03/2018 (cartographie réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)



Illustration 8: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 3,25m correspondant à la PHMA (cartographie réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)

De ces projections de niveau d'eau statique, on relève ainsi dès la cote de 2,60m NGF, l'envolement sur environ 20ml d'une petite section de digue vers le NW ainsi que quelques débordements en crête sans pour autant qu'il y ait surverse de l'ouvrage. Le merlon de terre qui termine l'ouvrage en rive droite contient encore les eaux.

À la cote 3m NGF, l'angle que forme en aval le pignon W du moulin avec la banquette enherbée paraît être un point d'entrée des eaux marines.



Photo 15: marée du 03/03/2018



Photo 16: repère du niveau d'eau de la marée du 03/03/2018

À la cote 3,25m, l'extrémité NW de la digue de Béquerel est globalement surversée, le point d'entrée dans l'angle du pignon W du moulin est également ennoyé. De nouvelles zones inondées apparaissent sur la banquette enherbée dont une centrale d'environ 30ml. Par corrélation avec la carte de 1880 dressée par les services ostréicoles de l'époque, ces derniers points semblent correspondre à l'emplacement de deux des trois ouvrages hydrauliques indiqués sur le document mais non repérés dans le paysage actuel.



Carte 4: extrait de la carte des côtes du quartier maritime d'Auray, 1880 (source BNF)

Outre le fait que ces débordements de la digue contribuent à alimenter en eau la zone centrale de la banquette, ils provoquent aussi des désordres sur le merlon aval (encoche d'érosion marine) par la dislocation des pierres du couronnement et l'arasement des matériaux du talus.

Comme mentionné précédemment, pour des raisons de sécurité, les ouvrages hydrauliques et le sous-sol de l'ancien moulin de Béquerel n'ont pas fait l'objet d'une véritable visite. Toutefois, leur inspection rapide a permis de constater :

- > un gonflement de la maçonnerie en pied du mur Nord de l'ancien moulin ainsi que la fissuration du linteau de la porte trapézoïdale du pignon Ouest. Le plafond (ou plancher) de l'ancien moulin a été repris il y a 20-25 ans (poutres bétonnées et hourdis). Les poutres d'origine en bois sont toujours en place mais fortement détériorées,
- > les dalles de toit d'un des coursiers sont fissurées. Ces dalles servent d'assise au cheminement.

En conclusion, au regard de l'ensemble de ces désordres répertoriés, l'état général de la digue de Béquerel peut être qualifié de mauvais et la survenue de rupture d'ensemble paraît difficilement prévisible dans le temps, car elle dépend fortement d'un ensemble d'éléments qui interagissent sur l'ouvrage.

De plus, malgré une crête présentant un confort de sente jugé bon (aire de marche de 1m-1,25m voir plus pour la partie gravillonnée facilitant donc le croisement des promeneurs), pour assurer la sécurité des futures usagés, il serait nécessaire de procéder, avant ouverture au public, à quelques aménagements sur la partie gravillonnée et celle de l'ancien moulin de Béquerel : condamnations en crête des réservations des coursiers, de l'escalier situé en amont, de la porte



trapézoïdale du pignon Ouest de l'ancien moulin voir de sa plateforme résiduelle.

Enfin, la localisation à moins de 15m en rive gauche d'habitations construites avant 1976 implique de contourner cette zone et donc de construire, pour raccorder la digue de Béquerel au rivage, une passerelle en bois sur pilotis de près de 20m ce qui constitue un projet d'ouvrage en soi.

### 3.2.2 Lozélec

A l'issue de la visite de la digue de Lozélec, on observe essentiellement deux types de désordres qui affectent la digue et nécessitent des mesures d'améliorations avant l'aménagement de la SPPL en crête d'ouvrage :

- > D'une part, la digue de Lozélec apparaît particulièrement sensible aux phénomènes de franchissement et de surverse lors des marées à fort coefficient supérieur à 110 correspondant à un niveau d'environ 3m NGF auquel s'ajoute une surcote qui peut atteindre environ 20cm et qui est induite par la topographie et l'exiguïté de la section de l'anse du Gouyanzeur. En effet, l'altitude de crête de la digue se situe globalement entre 3 et 3,5m NGF et donc régulièrement inférieure à la cote de PHMA (Plus Hautes Mers Astronomiques) d'environ 3,25m NGF (sans prise en compte de la surcote).

Lors des grandes marées du 03/03/2018 la hauteur prévue à la Trinité /Mer était de 5,83m CM soit environ 3m IGN69 pour un coefficient de marée à 110.



Illustration 9: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 2,60m correspondant à la PMVE, soit un coefficient de marée  $\pm 95$  (cartographie en annexe réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)

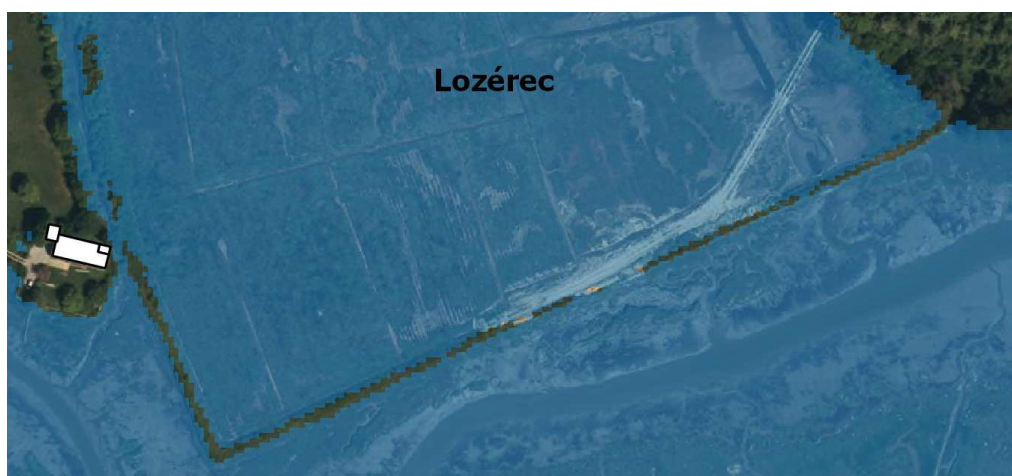


Illustration 10: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 3,00m correspondant à un coefficient de marée  $\pm 110$  (cartographie en annexe réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)



Illustration 11: projection d'un niveau d'eau statique à la cote 3,25m correspondant à la PHMA, soit un coefficient de marée  $\pm 120$  (cartographie en annexe réalisée à partir des données du Lidar de la DDTM56)

Ces débordements de l'ouvrage peuvent provoquer localement des désordres sur toute la surface de la digue, pouvant conduire à des instabilités d'ensemble telle qu'une brèche à l'image de celle survenue en 2009 à P.150 au droit d'un possible ancien ouvrage hydraulique traversant perceptible sur les photographies aériennes entre 1952 et 1996.

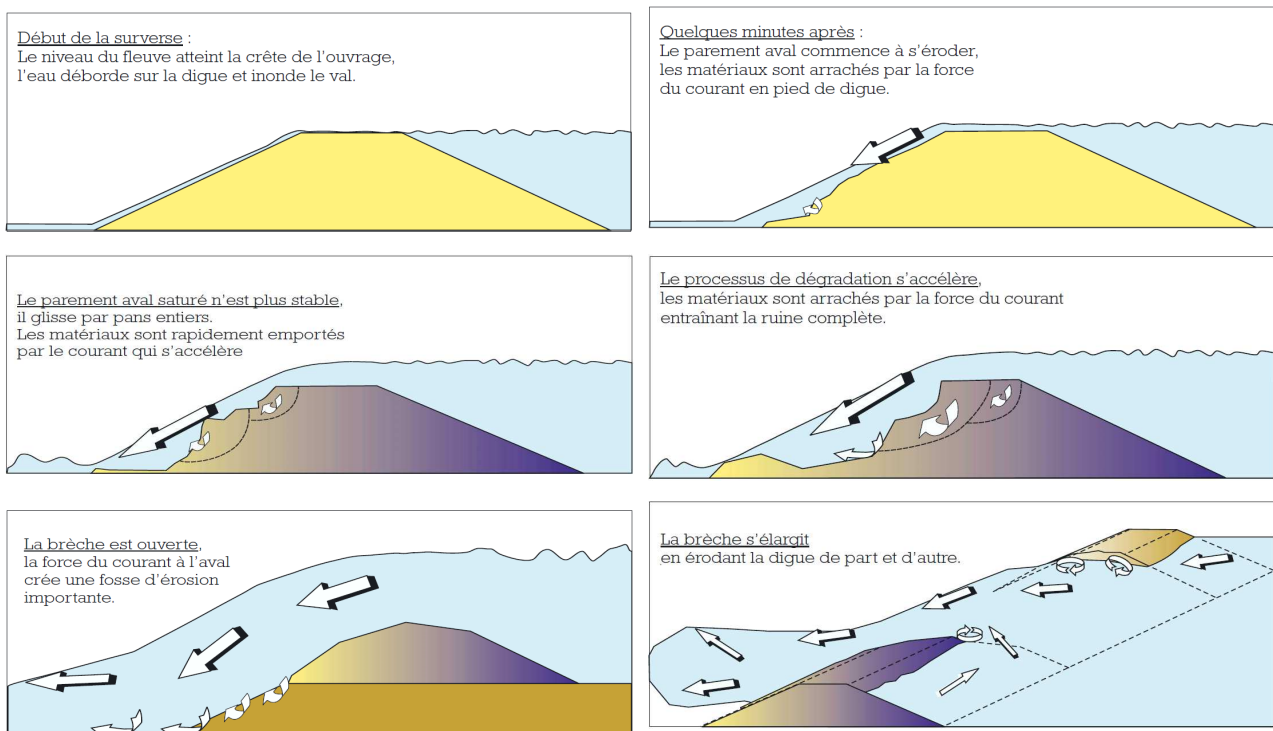


Illustration 12: processus de genèse d'une brèche par surverse de la digue (C. Folton – Guide Cemagref 2004)

Par ailleurs, les talus amont et aval sont aussi soumis deux fois par jours aux crues de la marée qui peut ponctuellement se conjuguer avec des crues du cours d'eau. Ainsi, les caractéristiques mécaniques des matériaux situés en surface du corps de digue peuvent se dégrader au fil du temps provoquant des glissements superficiels lorsque la résistance au cisaillement de ces matériaux sera insuffisante à leur tenue dans la configuration géométrique des pentes du talus de l'ouvrage.

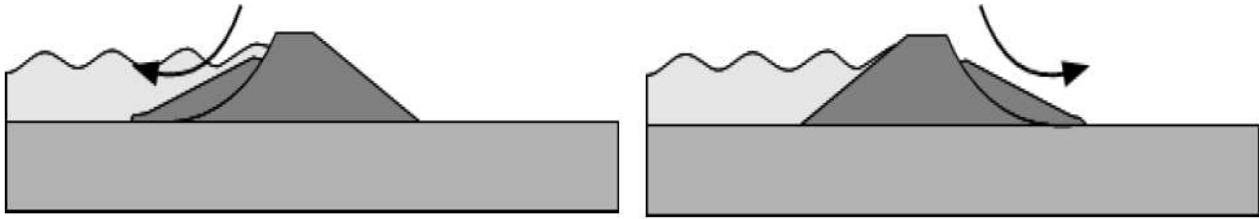


Illustration 13: schémas de glissements rotationnels superficiels affectant les talus aval et amont de la digue par diminution de la résistance au cisaillement des matériaux constitutifs

Toutefois, les dégradations actuelles qui affectent les talus et la crête de digue restent assez limitées dans leur étendue (<10%) par rapport au linéaire global d'ouvrage intacte, mais certains de ses désordres impactent quand même une largeur notable de la crête en diminuant ainsi l'emprise du sentier projeté.

- > D'autre part, la digue qui est fortement végétalisée, présente cinq segments où la crête est envahie par des arbustes d'épineux qui gênent la continuité d'un cheminement de surface par intermittence sur un linéaire total d'environ 20m. Toutefois, la fin de l'ouvrage à partir de P.420 est totalement obstruée par une végétation très dense qui stoppe toute progression sur les 250m restant.

En revanche, la végétation de type herbacé qui a colonisé la totalité de la digue est considérée comme un confortement actif important, car elle renforce la stabilité des matériaux argileux par pénétration de son réseau racinaire fin et uniformément réparti, tout en permettant un drainage superficiel. Ainsi, cette végétation doit être impérativement maintenue pour pérenniser l'équilibre de surface de la digue, mais l'aménagement de la sente sur la crête nécessite tout de même un fauchage raisonnable et régulier de ces herbes pour le confort d'usage.

À partir de P.420, la digue se situe dans une aire de sauvegarde à moins de 15m d'un bâtiment d'habitation adjacent sur le côté Ouest. Si l'on veut contourner cet espace, il est indispensable de réaliser une passerelle sur pilotis le long de la digue côté saline, d'une longueur d'environ 20m au passage de l'habitation.

Néanmoins, selon l'article R121-14 du décret n°2015-1783 du 28 décembre 2015 relatif au code de l'urbanisme et à la modernisation du contenu du plan local d'urbanisme, « la distance de quinze mètres par rapport aux bâtiments à usage d'habitation mentionnée à l'article L. 121-33 peut être réduite si le mur clôturant le terrain sur lequel est situé le bâtiment est lui-même à moins de quinze mètres du dit bâtiment ». La position du bâtiment vis-à-vis du mur de clôture apparaît bien dans la configuration sus-citée.

Ainsi, au terme de cette inspection, la digue de Lozère est évaluée dans son ensemble en état général moyen, ce qui n'empêche pas la possibilité de création d'une SPPL d'une largeur de 1 à 1,25m sur la crête, sous réserve d'un renforcement des quelques zones ponctuelles de glissement et d'un fauchage de la végétation ligneuse. Elle sera praticable hors des périodes de grandes marées ou des crues du cours d'eau.

Dans ces conditions, la sécurité du sentier projeté apparaît acceptable pour les usagers avertis, avec un confort de la sente (couvert végétal d'herbacés qui masque potentiellement des trous d'animaux fouisseurs, des racines ou des souches) qui peut quand même restreindre le public utilisateur à la catégorie des randonneurs.

## 4 Définition des mesures d'aménagements

### 4.1 Notion d'emprise et d'aire de marche d'un sentier

Un sentier de randonnées peut se définir selon les notions d'aire de marche et d'emprise. L'aire de marche correspond à une surface de déplacement utilisée pour la circulation des randonneurs alors que l'emprise prend en compte un dégagement latéral permettant un déplacement en toute sécurité (photo 17).



Photo 17: définition de l'aire de marche et de l'emprise

En fonction du type d'utilisateurs et de l'intensité de la fréquentation, il est admis les caractéristiques suivantes, pour spécifier la largeur de l'aire de marche d'un sentier :

- en secteur peu fréquenté, privilégier une aire de marche assez étroite, soit environ 45-60cm ce qui correspond au passage d'une personne avec un sac à dos,
- en secteur très fréquenté, la largeur est définie à 1-1,25m afin de marcher à deux personnes de front ou pour permettre le croisement,
- les sentiers recevant des personnes handicapées ou âgées seront dimensionnés à 1,50-2m de largeur.

Ces largeurs peuvent ne pas être strictement constantes sur l'ensemble du tracé.

La largeur de l'emprise, quant à elle, n'est pas forcément déterminée, mais il peut être admis qu'elle sera à minima de 10cm de plus que l'espace occupé par un marcheur immobile. Elle ne devra pas être trop large pour préserver également le milieu.

Les ouvrages ici étudiés présentent des largeurs de crête d'au moins 3m.

Pour la digue de Béquerel, dans la portion de digue enherbée, il est déjà constaté une sente au centre de l'ouvrage, de largeur d'environ 1m (photos 18 & 19). Cette aire de marche devra être conservée.



Photo 18: sente de la digue de Béquerel, février 2018 - ©Cerema



Photo 19: sente à l'extrémité W de la digue de Béquerel, février 2018 - ©Cerema

Il doit être cependant rappelé que la présence ponctuelle mais avérée d'eau retenue dans la cuvette centrale risque d'inciter les promeneurs à se déporter au droit de ces stations sur les abords de l'ouvrage ce qui pourrait générer de nouvelles traces de cheminement par piétinement du couvert herbacé plus dense.

Pour la digue de Lozèrez fortement végétalisée, dès la section NE, section au paysage relativement ouvert, des indices de passages d'origine animale et humaine sont relevés. Dans ce secteur, l'herbe est plus rase au centre de l'ouvrage mais également plus verte. La largeur de cette aire de marche est de l'ordre de 40-60cm (photo 20). Le tracé de cette sente très étroite (cheminement en « file indienne ») est plus confus sur le secteur orienté en direction du N et disparaît totalement lorsque la digue devient complètement colonisée par des arbustes d'épineux. Ces bosquets très denses sont quasi-infranchissables (photo 21).



Photo 20: indice d'une sente en section NE de la digue de Lozèrez, mars 2018 - ©Cerema



Photo 21: section N de la digue de Lozèrez infranchissable en l'état, mars 2018 - ©Cerema

Cette aire de marche devra être conservée en maintenant la végétation rase, d'autant plus que la crête comporte de nombreux obstacles type trous d'animaux, blocs de pierre, touffes d'herbes qui ne facilitent pas forcément la marche et peuvent mettre en difficulté les personnes non averties à ce type de loisir. Un layon d'environ 1m de largeur en emprise pourra être créé en partie centrale du secteur N au travers de la zone buissonneuse. Le maintien de ces buissons d'épineux de part et d'autre constituera une barrière naturelle et préservera aussi l'intimité de la parcelle C417.

## 4.2 Réponse de la végétation au piétinement

La vitesse de dégradation d'un milieu va dépendre de plusieurs facteurs : la nature du substrat, le type de végétation, l'intensité du piétinement (fréquentation diffuse ou dense), la fréquence (régularité ou pas du piétinement) ou encore l'époque à laquelle intervient ce piétinement (variabilités hebdomadaire, saisonnière, interannuelle liées aux variations climatiques).

Ainsi, il est à penser que l'ouverture de la SPPL en crête des digues et donc l'augmentation de la fréquentation des sites comparativement à la situation actuelle ne seront pas sans conséquences sur l'évolution physiologique de ceux-ci. Globalement, la crête des ouvrages est constituée présentement d'un couvert végétal dense type pelouse, voir début de forêt (secteur N de la digue de Lozèrez).

Les répercussions de cette fréquentation seront entre autres d'ordre :

- écologique avec une possible destruction totale ou partielle du tapis végétal et une modification de la composition floristique,
- géomorphologique, par l'érosion voir, en cas de piétinement régulier et important, le compactage du sol support de la sente modifiant alors ces capacités de drainage (imperméabilisation des sols).

La résistance (aptitude à supporter une perturbation sans altération de son fonctionnement ou de

son développement) et la résilience (aptitude à revenir à un état précédent une perturbation) d'une espèce végétale sont des capacités déterminantes dans l'adaptation au piétinement. Par exemple, certaines espèces d'herbacées comme la féтуque, si elles sont peu résistantes, ont une forte résilience. Ces espèces seront vite dégradées mais si la perturbation diminue voir s'arrête, leur régénération sera rapide.

Dans tous les cas, une plante peut avoir une bonne résistance ou une bonne résilience mais plus rarement une combinaison des deux.

Il peut donc paraître intéressant de connaître les compositions floristiques des sites pour justement avoir l'information quant à leur tolérance au piétinement afin d'adapter au mieux et si besoin, un protocole de fréquentation, pourquoi pas modulable en fonction des saisons notamment.

### 4.3 Actions à envisager pour la mise en œuvre de la SPPL et pour assurer la sécurité des usagers

Des opérations d'aménagement des digues devront être menées pour garantir la SPPL et assurer la sécurité des usagers.

Ces actions sont détaillées dans les fiches de terrain propres à chacune des digues (cf. annexe 02).

Les tableaux suivants résument l'ensemble des données pour chaque ouvrage.



	Actions à entreprendre pour la création de la future SPPL	Actions à mettre en œuvre pour assurer la sécurité des usagers
Digue de Béquerel	<p><b>Zone gravillonnée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– rechargements réguliers en matériaux gravillonnés, depuis la berge E jusqu'au pignon W de l'ancien moulin</li> <li> <i>conserver les caractéristiques actuelles des matériaux pour maintenir l'esthétisme d'ensemble</i></li> <li>– future SPPL à moins de 15m d'une habitation datant d'avant 1976 =&gt; création d'un ouvrage type passerelle en bois le long de la rive gauche en amont de la digue (portée d'environ 20m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– interdire l'accès à certaines zones de l'ancien moulin (pignon W pour l'accès au sous-sol, escalier en amont), par la pose de grilles et d'une signalisation prévenant d'un danger</li> <li>– condamnation des réservations pour commander l'ouverture et la fermeture des coursiers, par la mise en place de platelage bois ou grilles</li> </ul>
	<p><b>Zone enherbée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– maintien de l'aire de marche actuelle en section centrale de la digue</li> <li>– fauchage régulier pour le maintien d'un couvert végétal vigoureux</li> <li>– si fréquentation importante vient à décaper la couverture végétale de la sente, nivelage de cette assiette par des matériaux naturels type copeaux de bois (couche d'épaisseur 10-15cm)</li> <li> <i>nécessité d'entretenir et de recharger à intervalles réguliers</i></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– inspection détaillée des ouvrages hydrauliques y compris du sous-sol de l'ancien moulin</li> <li>– entretien courant aux maçonneries : défauts mineurs type lacunes de joints, de moellons au couronnement notamment</li> <li>– mise en place d'un suivi régulier de l'ouvrage et d'une surveillance des désordres les plus importants (fissures de traction, bombements,...) afin d'évaluer leur évolution dans le temps et anticiper d'éventuels travaux de réparation</li> <li>- mise en place d'un suivi régulier pour mesurer la fréquentation de cette nouvelle SPPL (comptage, impact sur la digue...)</li> <li>- implantation aux extrémités de la digue de panneaux d'informations sur le risque de submersion de l'ouvrage lors des grandes marées (coefficient &gt;100)</li> </ul>		

Tableau 5 Actions à entreprendre pour la digue de Béquerel




	Actions à entreprendre pour la création de la future SPPL	Actions à mettre en œuvre pour assurer la sécurité des usagers
<b>Digue de Lozère</b>	<p>– restauration des talus de la digue entre P50 et P87 par des techniques de génie végétal au droit des zones de glissements :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. en aval, renforcement en pied par des fascines pré-végétalisées d'hélophytes adaptées aux conditions saumâtres</li> <li>2. en amont, tunage en tête de glissement et risberme d'hélophytes en pied</li> </ol> <p>– fauchage du couvert d'herbacées</p> <p> <i>entretien régulier au moins une fois par an. Si nécessaire, engazonnement complémentaire dans les zones mal enherbées ou dégradées.</i></p> <p>– élimination de la végétation ligneuse</p> <p>– au droit de la parcelle 417 (habitation construite avant 1976 et située à moins de 15m de la digue), possibilité de :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. création dans les bosquets d'épineux, d'un layon (1-1,20m de largeur) depuis le P420 en direction du N</li> <li>2. création entre le P420 et P440, d'une passerelle bois en encorbellement sur pilotis en pied de digue côté saline</li> </ol> <p> <i>préserver l'écran végétal du côté des parcelles 416-417</i></p> <p> <i>dans ce cas, préserver la végétation pour maintenir un écran naturel obturant la visibilité et l'accès à la parcelle 417</i></p>	<p>- panneaux d'informations aux extrémités de la digue sur le risque de submersion de l'ouvrage lors des grandes marées (coefficient &gt;100)</p>

Tableau 6 Actions à entreprendre pour la digue de Lozère

## 5 Conclusion

En vue d'établir la SPPL, les inspections visuelles menées sur les digues de Béquerel et Lozélec, ouvrages hydrauliques localisés en amont de la rivière du Crac'h et relevant du domaine privé, ont permis d'apporter des informations quant à leur état et de mieux cerner les actions d'aménagement et de sécurité à mettre en place pour assurer ce futur cheminement.

Ainsi, pour la digue de Béquerel, si l'ouvrage présente un confort de sente relativement bon (aire de marche de 1m – 1,25m voir plus), son état général est jugé mauvais au regard des nombreux désordres répertoriés qui peuvent conduire notamment à des ruptures d'ensemble (éboulement de la carapace maçonnée) et donc à des coûts de remise en état importants. Il paraît également nécessaire de procéder, avant toute ouverture, à l'inspection plus en détail des ouvrages traversants (sas des coursiers et du sous-sol de l'ancien moulin de Béquerel) partiellement inspectés pour des raisons de sécurité et à la condamnation de certains accès ou anciens organes de manœuvre.

Pour la digue de Lozélec, si certains des désordres impactent localement une largeur notable de la crête pouvant conduire à une brèche dans l'ouvrage à l'instar de celle repérée sur l'orthophotographie de 2009, leur étendue reste assez limitée et représente moins de 10 % du linéaire global d'ouvrage intacte. L'état général de la digue est ainsi qualifié de moyen ce qui n'entrave pas la possibilité de créer une sente de largeur de 1m à 1,25m en renforçant ponctuellement des zones de glissement.

Pour les deux sites, la proximité d'habitations à moins de 15m des ouvrages et construites avant 1976 impliquerait de réaliser des passerelles bois d'une portée d'au moins 20m. D'autre part, quelques secteurs paraissent inondés lors de marées à fort coefficient ( $\pm 100$ ) ce qui nécessiterait d'informer les usagers du risque de submersion.

Enfin, il est à supposer que l'ouverture de la SPPL et donc l'augmentation de la fréquentation des sites engendrerait, en cas de piétinement régulier et important, la transformation du couvert végétal présent en crête des digues par sa destruction partielle ou totale ainsi que le compactage du sol support de la sente avec modification des capacités de drainage.



# **ANNEXES**

**Annexe 1 : évolution des sites entre 1952 et 2016**

**Annexe 2 : fiches de terrain**

**Annexe 3 : cartographies de projection de niveau d'eau statique**

## **Annexe 1 : évolution des sites entre 1952 et 2016**

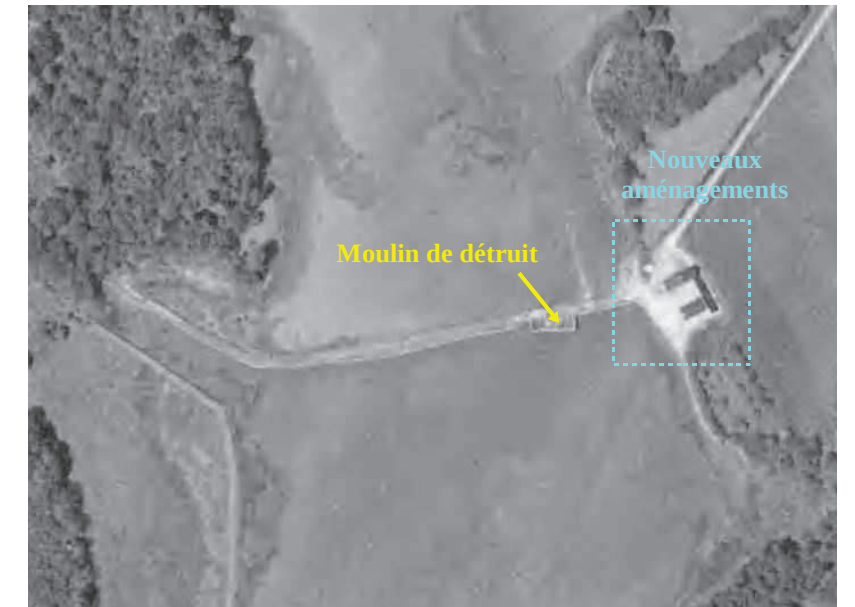
**Digue de Béquerel :**



1953



1964



1977



1982



1991



2000



2016

Digue de Lozerec :



1952



1964



1977



1982



1991



2000

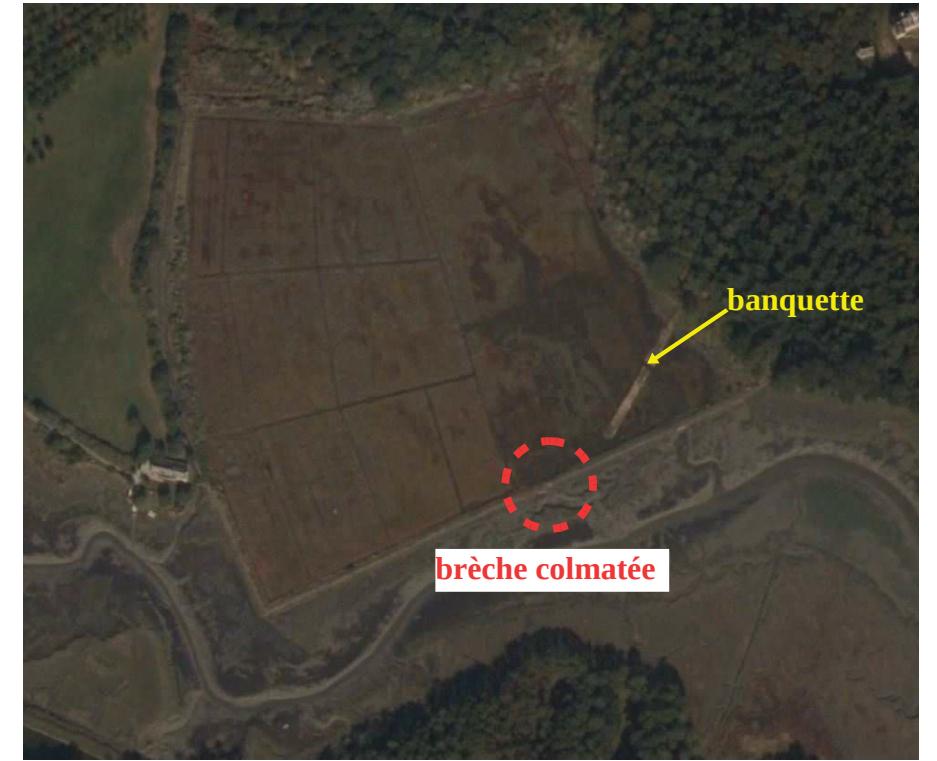
Digue de Lozerec :



2009



2010



2011



2013



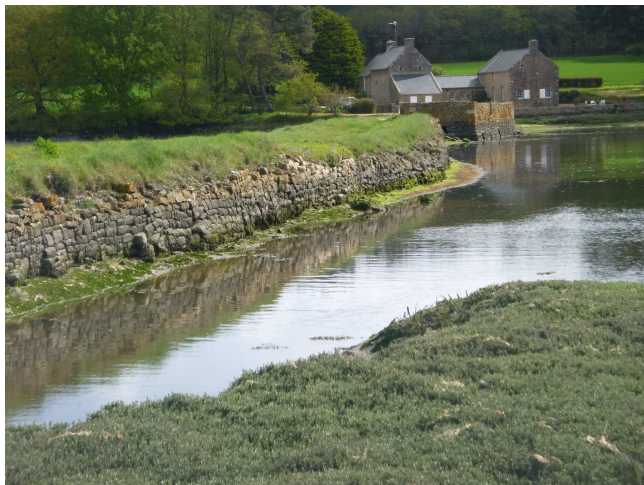
2016

## **Annexe 2 : fiches de terrain**

## CONDITIONS DE VISITE

**Date de la visite :** 23 avril 2018  
**Équipe :** Magali Jouas – Christelle Lestréhan  
**Difficultés éventuelles d'accès :** néant

**Commune de :** CRAC'H (56)  
**Conditions climatiques :** ensoleillé - 20°  
**Marée (port de la Trinité/Mer) :** PM 12:17, coef. = 52 - BM 17:59



vue aval en direction du Moulin de Béquerel



vue amont de la digue de Béquerel

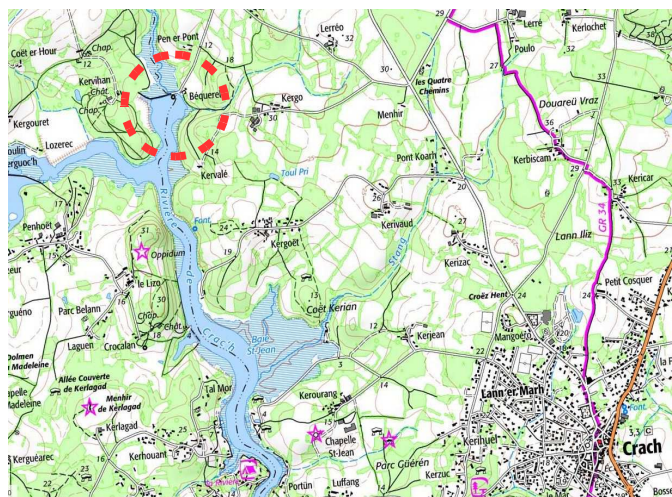
## IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

**Nom de l'ouvrage :** digue de Béquerel

**Date de construction :** milieu du 15<sup>e</sup> (1455?)

**Bien relevant du :** domaine privé

**Localisation :** ouvrage transversal au ruisseau de Pont-er-Rui (rive gauche commune de Crac'h, rive droite commune de Carnac)



Localisation de la digue de Béquerel - scan25 ©IGN



Digue de Béquerel - ©2018 Google

**Fonction de l'ouvrage :**  protection contre les inondations  
 protection contre les submersions

maintien du trait de côte  
 autre : aménagement hydraulique de type barrage

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

**Structure de l'ouvrage :**  mur  perré  
 enrochements  autre :

talus naturel

**Nature des matériaux constitutifs :**

- maçonnerie de pierres sèches       maçonnerie de pierres jointoyées       béton
- éléments de béton préfabriqué       matériaux meubles argileux       blocs rocheux
- autre : noyau constitué de fagots de châtaignier et de vase

**Confortement existant :**

- enrochements     pieux hydrauliques     gabions     néant
- autre :

**Géométrie de l'ouvrage :** depuis la rive Est en direction de l'Ouest

Longueur : ~250ml				
Banquette gravillonnée	Longueur ~ 22ml	Largeur moy en crête : 4,30m	Hauteur moy. en aval : 2,50m	Hauteur moy. en amont : 2,50m
Ancien moulin de Béquerel + banquette gravillonnée	Longueur ~ 21ml	Largeur moy en crête : 11m	Hauteur moy. en aval : non mesurée	Hauteur moy. en amont : non mesurée
Banquette enherbée	Longueur ~ 209ml	Largeur moy en crête : 5,10m	Hauteur moy. en aval : 2m	Hauteur moy. en amont : 1,70m

**Ouvrages associés :**       ouvrages traversants       ouvrages adjacents

Description des ouvrages traversants :

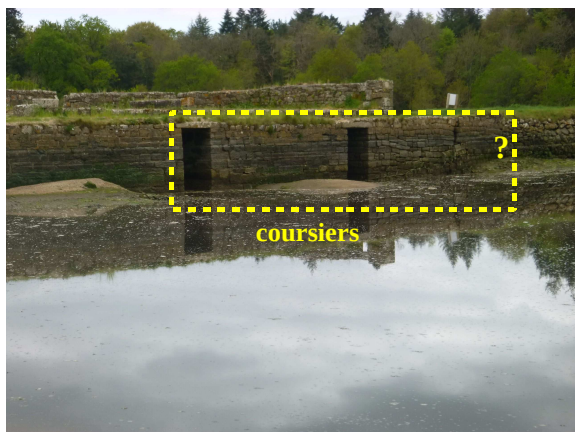
- OH1 (extrémité Est de la digue) : 2 portes à mer comportant chacune un clapet qui laisse entrer la mer comme permet l'évacuation des eaux de l'étang. Ces portes sont surmontées de gros linteaux de granit de part et d'autre de l'ouvrage. Le couvrement des sas correspond à deux voûtes de pierres.
- OH2 (ancien moulin de Béquerel) : 3 coursiers. Leurs ouvertures sont bien visibles en aval de l'ancien moulin. En amont et en crête, un seul semble avoir été emmuré. Les réservations pour la commande des deux autres coursiers sont visibles en crête.
- OH3 (banquette enherbée) : une buse PVC Ø150 non traversante est censée faire office de drain pour une partie de la banquette enherbée.
- OH4 (extrémité Ouest de la digue) : deux trop-pleins type ponceau.



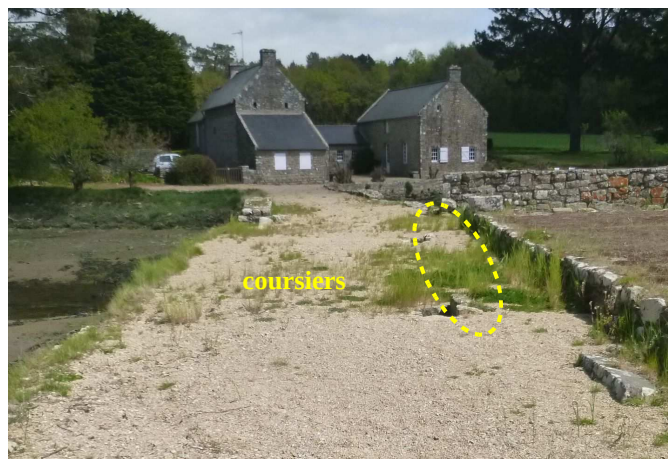
OH1 - vue amont des deux portes à mer



OH2 - vue aval des trois coursiers de l'ancien moulin de Béquerel



OH2 - vue amont des trois coursiers de l'ancien moulin de Béquerel



OH2 - crête, deux coursiers de l'ancien moulin de Béquerel





OH3 - tube PVC pour le drainage de la digue



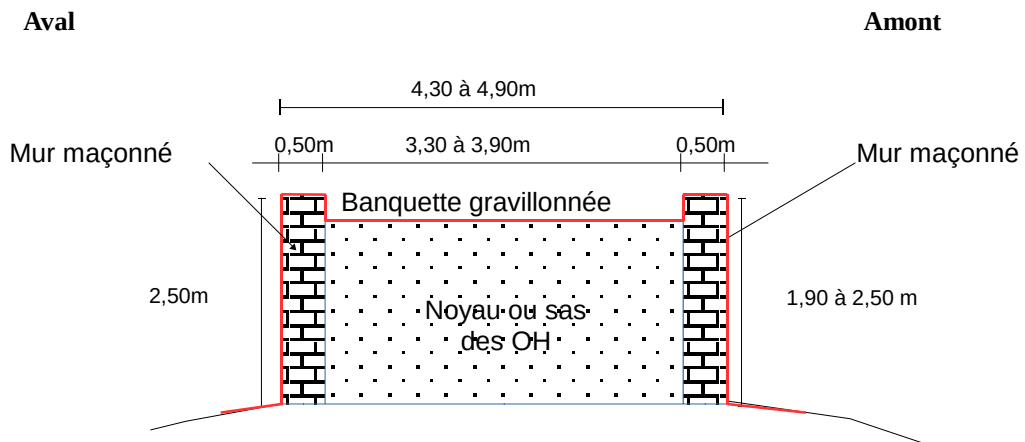
OH4 - trop-pleins vue amont



OH4 - trop-pleins vue aval

**Schémas de l'ouvrage :**

Profil type de la digue - banquette gravillonnée





*mur amont*

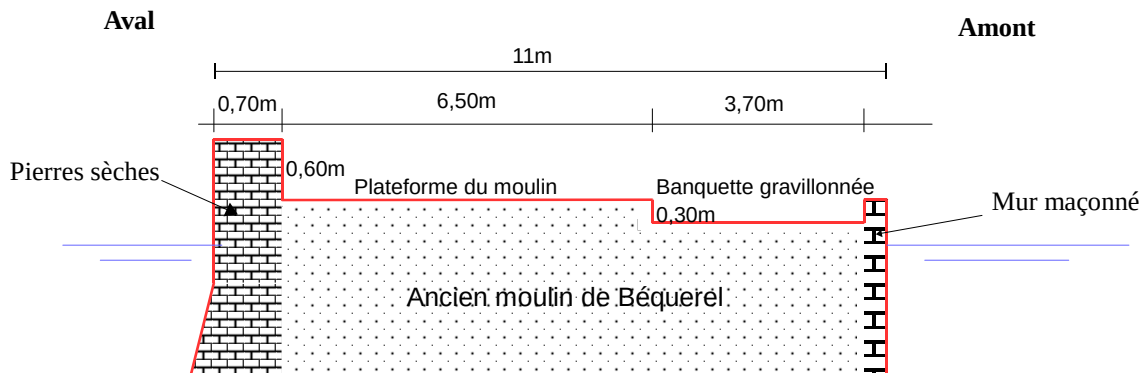


*côte gravillonnée*

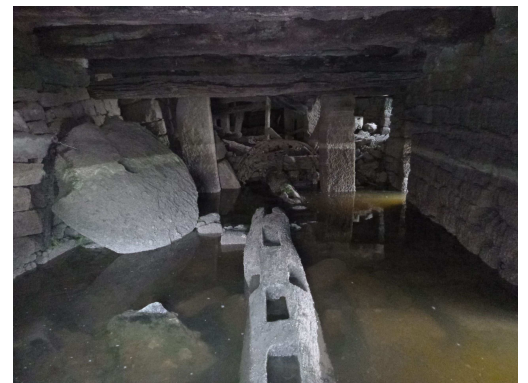


*mur aval et portes à mer*

Profil type de la digue à l'ancien moulin de Béquerel



*ancien moulin de Béquerel vue aval*

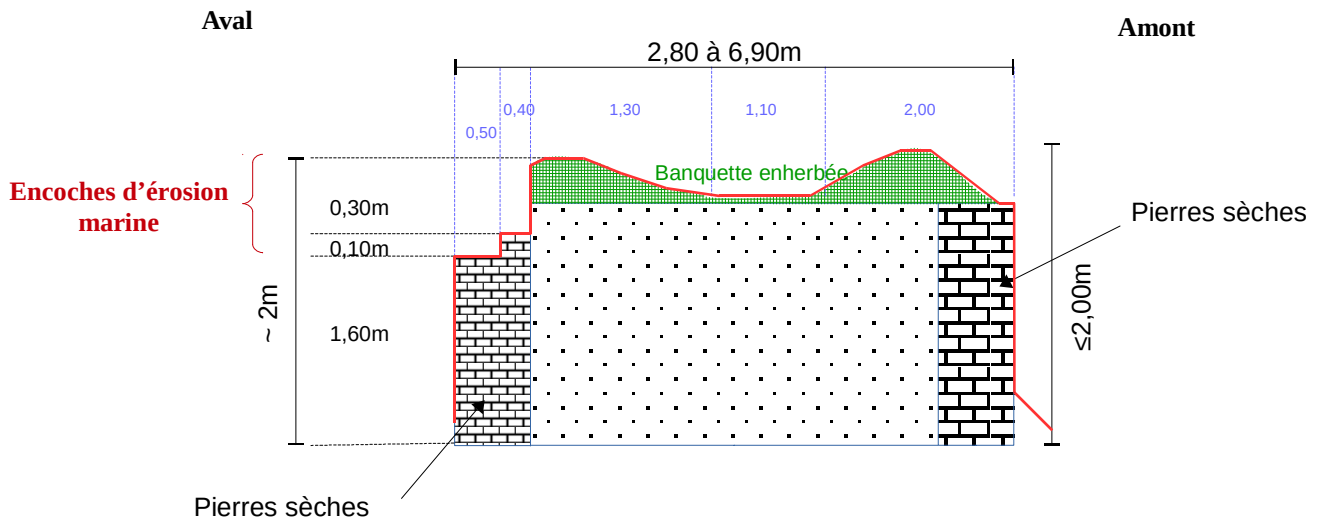


*sous-sol de l'ancien moulin de Béquerel*



*vue en crête de l'ancien moulin de Béquerel*

Profil type de la digue - banquette enherbée



vue aval de la banquette enherbée



crête de la banquette enherbée

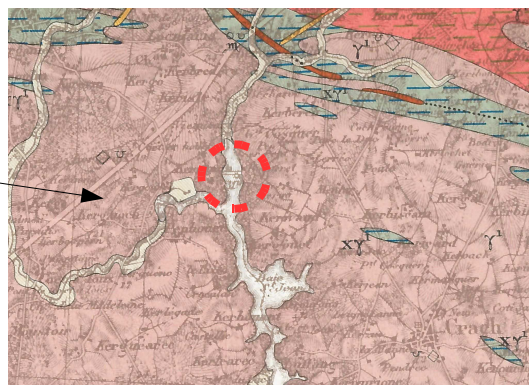


vue amont de la banquette enherbée

ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE

Nature des sols support :

Granite porphyroïde gneissique



Extrait de la carte géologique n°89 de Vannes ©Brgm

Formations superficielles : dépôts marins littoraux – Vases et dépôts argilo-sableux des estuaires et des anses.

Substratum géologique : granite porphyroïde gneissique. C'est la roche qui constitue les moellons des murs d'ensemble de la digue. Aucun sondage issu de la banque des données du sous-sol du Brgm (BSS) ou tout autre étude géotechnique ne sont recensés dans l'environnement proche de l'ouvrage.

**Raccordement Est (commune de Crac'h) :**

Description : en aval, la digue se raccorde au mur maçonné de la parcelle YL57 alors qu'en amont, elle semble en appui au terrain naturel.



*raccordement Est de la digue de Béquerel*

**Raccordement Nord-Ouest (commune de Carnac) :**

Description : selon un angle droit, la digue se termine par un merlon de terre orienté NE/SW et se raccorde ici au terrain naturel type sous-bois.



*raccordement NW de la digue par un merlon de terre*



*merlon de terre au raccordement NW*

**Présence d'une zone humide en arrière de la digue :**

non

oui

naturelle

anthropique

ponctuelle

Description : la digue de Béquerel est un ouvrage transversal au ruisseau de Pont-er-Rui qui conflue avec le ruisseau de Gouyanzer pour former la rivière de Crac'h. L'ouvrage fait donc office de « barrage » en amont de ce bras de rivière sans toutefois restreindre les entrées d'eau salée et sorties d'eau douce de l'étang de Béquerel.



étang de Béquerel à basse mer

**Aménagements paysagers, végétation :**  faible  importante  sans conséquence

**Description :** la crête de l'ouvrage est recouverte à 80 % d'un tapis d'herbacées (banquette enherbée). Quelques jeunes pousses d'épineux et de chênes ainsi qu'un plant de genêt sont observés dans la section occidentale de l'ouvrage.



digue de Béquerel, vue générale



quelques jeunes épineux en section Ouest



plant de genêt, section Ouest