

0. NOTE TECHNIQUE SUR L'IMPACT DU MUR D'ARRIERE-PLAGE SUR LA MER

Cette note s'appuie sur les études menées pendant la phase AVP du marché de maîtrise d'œuvre pour la réalisation d'un mur d'arrière-plage à Fréjus et annexé à la présente note :

- Détermination des houles de projet et des niveaux de projet
- Propagation de la houle du large à la cote
- Etude d'érosion de plage
- Etude en canal à houle (mesure des efforts sur l'ouvrage et mesure des débits moyens de franchissement)
- Vérification des ouvrages proposés en phase PRO

1. DONNEES RETENUES POUR ETUDIER LE SITE

1.1. Topo-bathymétrie

La topo-bathymétrie retenue pour l'étude est celle du produit Litto3D de 2015.

Dans ce jeu de données, le niveau topographique de la plage est inférieur à celui des derniers relevés et a donc été retenu pour les modélisations numériques d'érosion de plage.

L'épaisseur de sable sur l'ensemble de plage de Fréjus est supérieure à 10m. Les caractéristiques granulométriques du sable sont connues à l'Ouest, au centre et à l'Est de la plage.

1.2. Niveaux d'eau au repos

Les niveaux d'eau de projet retenus sont obtenus en sommant les valeurs suivantes :

- Les Niveaux extrêmes de pleine mer indiqués dans l'ouvrage « Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau » du Cerema (2022) et associés à une période de retour
- Une surélévation projetée de 18cm du niveau moyen de la mer à l'horizon 2050 et liée à l'impact du changement climatique selon le scénario SSP2-4.5 du rapport d'évaluation du GIEC, scénario qui correspondant à un scénario suivant une trajectoire intermédiaire dans laquelle les tendances d'émission de poursuivent sans déviation substantielles
- Pour certains scénarios une surcote supplémentaire de 25cm est prise en compte (onde de tempête)

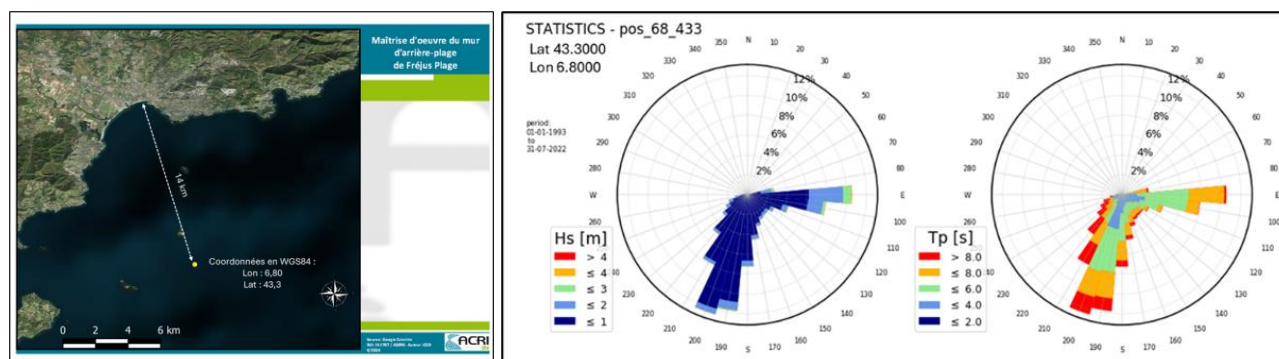
m IGN69	T1an	T2ans	T5ans	T10ans	T20ans
	0.62	0.65	0.69	0.72	0.75
	T50ans	T100ans	T200ans	T500ans	T1000ans
	0.80	0.83	0.87	0.91	0.95

Niveaux de PM extrêmes au port de Fréjus (Cerema, 2022)

1.3. Houle du large

Les houles de projet au large de plage Fréjus ont été déterminées à partir de l'historique de houle du point de coordonnées 6.80°E ; 43.3°N de la base de données Med-WAV system, base de données de résultats réanalysés de simulation de propagation de vagues en Méditerranée (Korres, G., Oikonomou, C., Denaxa, D., &

Sotiropoulou, M. (2023). Mediterranean Sea Waves Analysis and Forecast (Copernicus Marine Service MED-Waves, MEDWAM4 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Marine Service (CMS.)



Localisation du point de données au large et rose des houles correspondantes

Les houles du large proviennent de deux secteurs distincts, le Sud Sud-Ouest et l'Est. Les hauteurs significatives des houles de projet obtenues par analyse des valeurs extrêmes varient de 2.60m à 4.60m au large selon leur période de retour et leur secteur de provenance.

Période de retour	Hs (m)	Tp (s)	Direction (°N)
1	3.10	8.43	130
5	3.68	9.03	130
10	3.90	9.23	130
50	4.31	9.61	130
100	4.46	9.75	130
1	2.62	9.65	200
5	3.36	10.85	200
10	3.66	11.30	200
50	4.31	12.22	200
100	4.57	12.56	200

Houles de projet au large et périodes de retour associées selon leur secteur de provenance

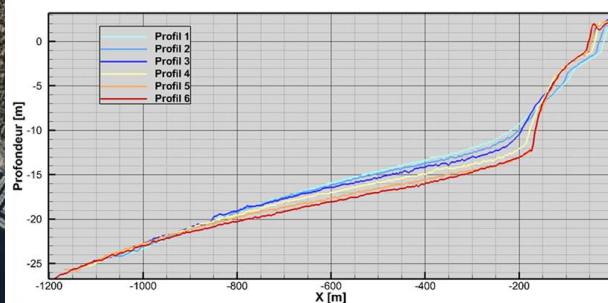
1.4. Houles à la cote

Les modèles de propagation de houle mettent en évidence que la houle atteint la cote avec une incidence quasi-constante nonobstant sa direction de provenance au large. Ainsi lors des tempêtes, le transport sédimentaire en travers des profils sera minime vis-à-vis du transport sédimentaire dans le profil : des simulations sur des profils conviennent donc pour déterminer le niveau d'affouillement en pied d'ouvrage.

Scénarios	RP	Houles	Hs (m)	Tp (s)	Direction	Niveau mIGN69	SLR (m)	Incertitudes (m)	Niveau total mIGN69
1	1	Extrêmes	3.1	8.43	130	0.62	0.2		0.82
2	10		3.9	9.23	130	0.72	0.2		0.92
3	100		4.46	9.75	130	0.83	0.2		1.03
4	1		2.62	9.65	200	0.62	0.2		0.82
5	10		3.66	11.3	200	0.72	0.2		0.92
6	100		4.57	12.56	200	0.83	0.2		1.03
7	23/11/2019	Alea Actuel	3.34	9.23	160	/	/		0.84
8	23/11/2019+CC		3.34	9.23	160	/	0.2		1.04
11	23/11/2019+CC		3.34	9.23	180	/	0.2		1.04
9	100	Alea PACSubmersion T >=100	4.46	9.75	130	/	0.2	0.2	1.29
10	100		4.57	12.56	200	/	0.2	0.2	1.29
12	100		4.57	12.56	180	/	0.2	0.2	1.29

Scénarios retenus pour les modélisations numériques (propagation et morpho dynamique)

Les conditions de houle à appliquer en entrée des modèles numériques de morpho dynamique sont directement issus des modèles de propagation.



Localisation et représentation des 6 profils étudiés le long de plage Fréjus

L'affouillement maximal obtenu sur le linéaire de plage est égal à 1.0m et correspond à l'affouillement causé sur le profil P1 par le scénario 12 (houle centennale associée à un niveau d'eau au repos de +1.29 mNGF).

1.5. Essais en canal à houle

Des essais en canal à houle ont été conduits sur les profils P1, P1bis et P4.

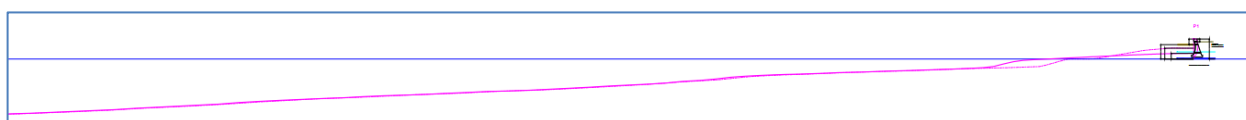
Les objectifs de la campagne d'essais en canal à houle sont la mesure des efforts sur le mur et la mesure des débits moyens de franchissement au-delà du mur.

Les conditions de houle testées correspondent à 4 scénarios parmi les 12 retenus pour les modélisations numériques et permettent d'obtenir des résultats pour différentes périodes de retour de la houle.

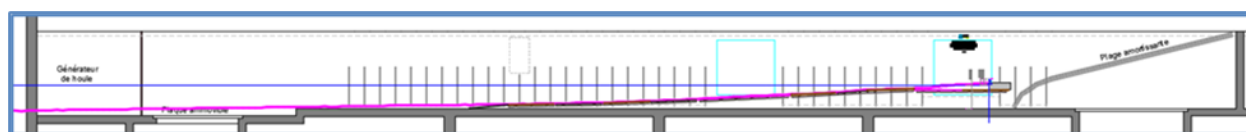
Direction provenance au large [N°]	N° scénario	Période de retour [ans]	Niveau d'eau [mNGF]	H _s incident défini à 1000m du mur vers -25mNGF [m]	Profondeur contrôle [mNGF]	H _s incident [m]	T _p [s]	Durée de l'essai [h]
130	1	1	0.82	2.14	15.00	2.11	8.35	3
200	5	10	0.92	2.25	15.00	2.34	11.22	3
160	8	23/11/2019 + CC	1.04	2.99	15.00	3.03	9.66	3
180	12	100	1.29	3.05	15.00	3.21	12.50	3

Conditions de houle et de niveau d'eau au repos testées en canal à houle

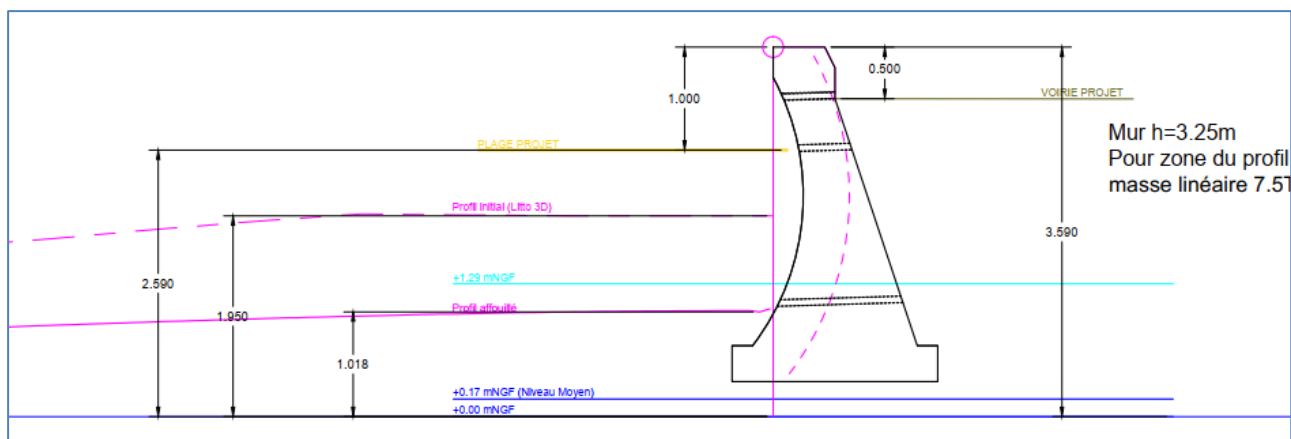
Les profils reproduits en canal correspondent aux profils de plage affouillés par les conditions du scénario 12.



Profil bathymétrique P1 à l'état initial et post scénario 12



Profil bathymétrique P1 affouillé reproduit en canal à houle



Détail du mur M3 en haut de plage du profil P1

2. IMPACT DE LA FORME RENVOI DE HOULE

2.1. Connaissance scientifique du renvoi de houle

A ce jour, il n'existe pas de modèle numérique permettant la modélisation de la forme renvoi de houle en haut de plage pour apprécier l'influence des lames renvoyées sur le profil de plage.

Les papiers de recherches scientifiques traitant les ouvrages en haut de plage permettent de déterminer les zones et profondeurs d'affouillement en fonction de conditions de houle du large et des caractéristiques de la plage (pente). Ces recherches mettent en évidence qu'un mur légèrement incliné provoquera le même type d'affouillement qu'un mur vertical. Ces propos sont issus des publications suivantes :

- HRPP319_Laboratory_Tests_of_Scour_at_a_Seawall.pdf
- nielsen-2023-design-scour-levels-for-dune-revetments-and-seawalls.pdf

A noter que les modélisations numériques de morphodynamiques (XBEACH) reproduisent correctement les phénomènes indiqués dans ces publications.

2.2. Revanche de crête

Le niveau d'eau au repos et la topographie de la plage sont les deux paramètres prépondérants pour le run-up des vagues sur la plage car ils déterminent la revanche de crête de l'ouvrage.

Pour les essais en canal du profil P1, le niveau d'eau au repos est proche voir au-dessus de l'arase de la plage affouillée. Après une forte tempête, le mur pourrait donc se retrouver en contact direct avec la mer. Compte tenu des marées, ce contact serait limité à une demi-journée tout au plus (entretien de plage post-tempête).

En condition de tempête, l'ensemble des vagues atteignant la plage déferlent et se transforment en lames d'eau qui remontent le long du profil de plage. Les lames d'eau peuvent ensuite :

- Repartir vers la mer sans atteindre le mur
- Atteindre le mur avec une faible épaisseur : une réflexion de la lame d'eau s'effectue sans que le volume d'eau soit projeté vers le haut

- Atteindre le mur avec une épaisseur moyenne : la forme renvoi de houle provoque le soulèvement de la lame d'eau et son renvoi vers le large. Cette lame d'eau retombe ensuite sur elle-même et non directement sur la plage
- Atteindre le mur avec une forte épaisseur : la forme renvoi de houle n'a pas d'effet sur la lame d'eau et on observe alors une réflexion horizontale de la lame d'eau qui peut s'accompagner d'un franchissement du mur.

Les vidéos des essais du profil P1 sont annexées pour illustration de ces propos.

2.3. Probabilité d'apparition des coups de mer

A partir de l'historique des données de houle employé pour la détermination des houles de projet, nous pouvons indiquer les pourcentages de temps pour lesquels la houle a les caractéristiques suivantes :

- Provenance comprise entre N60° et N180° (toutes mesures confondues) : 47.6% du temps
- Provenance comprise entre N60° et N180° (mois de janvier à avril) : 17.1% du temps
- Provenance comprise entre N60° et N180° (mois de janvier à avril) et hauteur significative H_s au large supérieure à 1.0m : 4.7% du temps
- Provenance comprise entre N60° et N180° (mois de janvier à avril) et hauteur significative H_s au large supérieure à 2.0m : 0.8% du temps

Les houles du large sont supérieures à 2.0m moins de 1% du temps, soit environ 3 jours dans l'année.

On peut donc considérer que des conditions de houle annuelle ou supérieures peuvent survenir une fois par an au large de plage Fréjus.

3. CONCLUSIONS SUR L'IMPACT DU MUR D'ARRIERE-PLAGE

Les modélisations numériques d'érosion de plage prennent en compte l'influence du mur réfléchissant en haut de plage et reproduisent les phénomènes liés à la réflexion des vagues sur la structure (longueur et profondeur d'affouillement).

Lors des tempêtes, le mur pourra être en contact discontinu avec la mer (run-up et run-down des vagues). Son influence sur le profil de plage est jugé équivalent à celui d'un mur vertical. Les conditions nécessaires pour que le mur soit en contact direct avec la mer hors tempête sont jugés très faible si un entretien post tempête est effectué.

Le mur pourra se retrouver en contact direct avec la mer pendant une forte tempête uniquement si le niveau d'eau au repos est suffisant.

L'impact des lames d'eau renvoyées par le mur projeté sur le profil de plage est difficilement quantifiable mais on peut préciser que ces lames d'eau retombent sur l'eau et non directement sur le sable ce qui atténue leur impact. De plus, compte tenu du run-up et run-down sur le profil de plage, un lissage horizontal du profil de plage est attendu sur la durée de la tempête.

L'impact du renvoi de houle du mur d'arrière-plage est jugé de second ordre par rapport à l'impact d'un mur vertical de protection en haut de plage.