2019 :

2020 :

2021 :

Figure 7 : Mouillage à la plage du Lotu et l'Arinella di Fiume Santu des bateaux de 60-80mdu 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2019 :

2020 :

2021 :

Figure 8 : Mouillage à la plage du Lotu et l'Arinella di Fiume Santu des bateaux de plus de 80m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2.2.2. Zone de la Saleccia

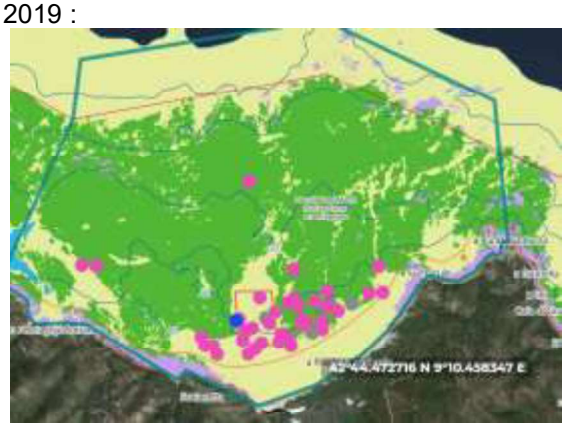
Sur les trois années observées, la classe de taille de bateaux la plus représentée est celle des bateaux de taille inférieures à 24m.

Le zonage du mouillage des bateaux a été réalisé sur les 3 années. Cependant, seuls les recensements des années 2020 et 2021 nous a été transmis. Pour ces deux années il a été recensé respectivement 451 et 284 bateaux (45 et 43 bateaux n'ont pu être classés).

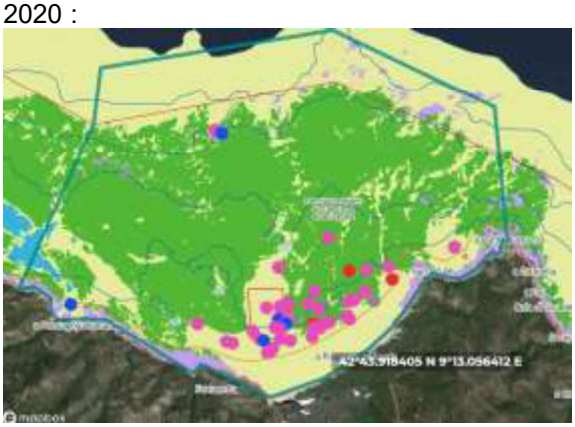
Le pourcentage des bateaux observés dans la zone de Saleccia est de :

- **Pour la classe 40-60m :** 11,5 % (52 bateaux) en 2020 et 2,8 % (8 bateaux) en 2021;
- **Pour la classe 60-80m :** 2 % (9 bateaux) en 2020 et 0,4% (1 bateau) en 2021;
- **Pour les navires de plus de 80m :** 0,9 % (4 bateaux) en 2020 et 0,7% (2 bateaux) en 2021 ;

2019 :



2020 :



2021 :

Figure 9 : Mouillage à la plage Saleccia des bateaux de plus de 40-60m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2019 :

2020 :

2021 :

Figure 10 : Mouillage à la plage Saleccia des bateaux de plus de 60-80m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2019 :

2020 :

2021 :

Figure 11 : Mouillage à la plage Saleccia des bateaux de plus de plus de 80m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

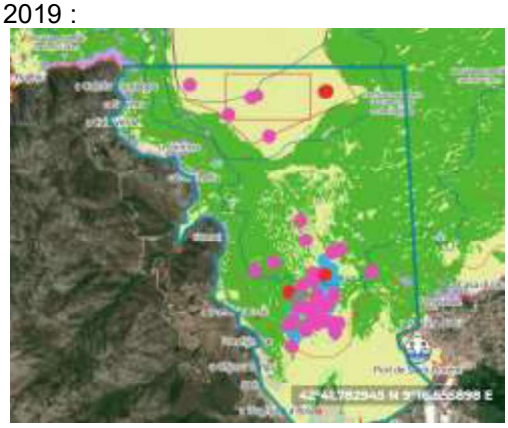
2.2.3. Zone du golfe de Saint-Florent

Sur les trois années observées, la classe de taille de bateaux la plus représentée est celle des bateaux inférieurs à 24m. En 2019, il a été compté 195 navires (12 n'ont pu être classés), en 2020 se sont 194 navires recensés (10 d'entre eux ne sont pas non classés) et en 2021, 215 navires ont été comptés dans cette zone (parmi eux, 12 ne sont pas classés).

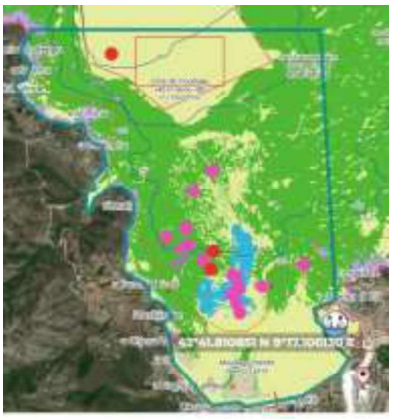
Selon les années, le pourcentage de bateaux observés dans la zone du golfe de Saint-Florent est de :

- **Pour la classe 40-60m :** 32,7 % (49 bateaux) en 2019, 10,3% (20 bateaux) en 2020 et 13% (28 bateaux) en 2021 ;
- **Pour la classe 60-80m :** 7,3 % (11 bateaux) en 2019, 8,8 % (17 bateaux) en 2020 et 4,7% (10 bateaux) en 2021 ;
- **Pour les navires de plus de 80m** : 4 % (6 bateaux) en 2019, 3,1 % (6 bateaux) en 2020 et 3,3 % (7 bateaux) en 2021 ;

2019 :



2020 :



2021 :

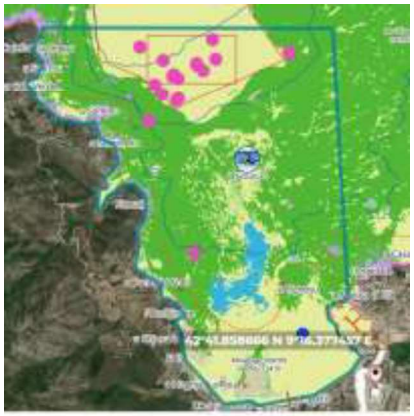
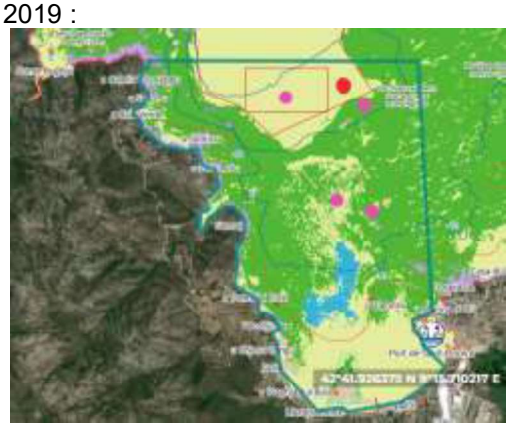


Figure 12 : Mouillage dans le golfe de Saint-Florent des bateaux de plus de 40-60m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2019 :

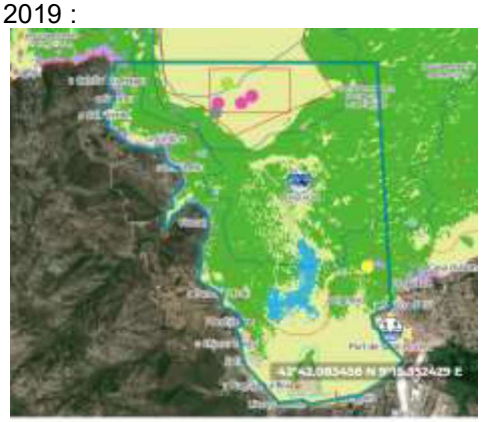


2020 :

2021 :

Figure 13 : Mouillage dans le golfe de Saint-Florent des bateaux de plus de 60-80m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2019 :



2020 :

2021 :

Figure 14 : Mouillage dans le golfe de Saint-Florent des bateaux de plus de plus de 80m 01/05 au 30/09 des années 2019-2020-2021 - **« Données AIS et utilisateurs Donia, issues de Donia manager. Parc naturel marin du Cap Corse et de l'Agriate / Parcu naturale marinu di u Capicorsu è di l'Agriate (PNMCA/ PNMCCA) et Andromède océanologie »**

2.3. Proposition d'implantation des coffres

Afin de compléter ces analyses et recensements, nous avons étudié les données disponibles sur Google Earth et sur des orthophotographies que nous possédons.

Ces différentes images aériennes concordent avec les précédents résultats issus des différentes études et montrent, que les zones ayant le plus d'attrait pour les plaisanciers sont celles de la plage du Lotu, plage de l'Arinella di Fiume Santu et le fond du golfe de Saint-Florent.

L'ensemble de ces études nous aiguillent donc dans le choix des zones pour l'implantation des coffres d'amarrage à destination des navires de grande et très grande plaisance :

- Zone 1 : plage du Lotu
- Zone 2 : plage de l'Arinella di Fiume Santu
- Zone 4 : fond du golfe / Plage de la Roya

Notre proposition s'est portée sur 7 coffres d'amarrages répartis comme suit :

- 2 coffre de capacité 70m dans la zone du Lotu ;
- 1 coffre de capacité 50m dans la zone de l'Arinella di Fiume Santu ;
- 1 coffre de capacité 190m dans la zone du fond du Golfe.
- 2 coffre de capacité 70m dans la zone du Golfe ;
- 1 coffres de capacité 50m dans la zone du fond du Golfe ;

La zone de Saleccia étant hors périmètre de la commune de Saint-Florent, il n'a pas été envisagé de coffres car cela impliquerait des accords intercommunaux.

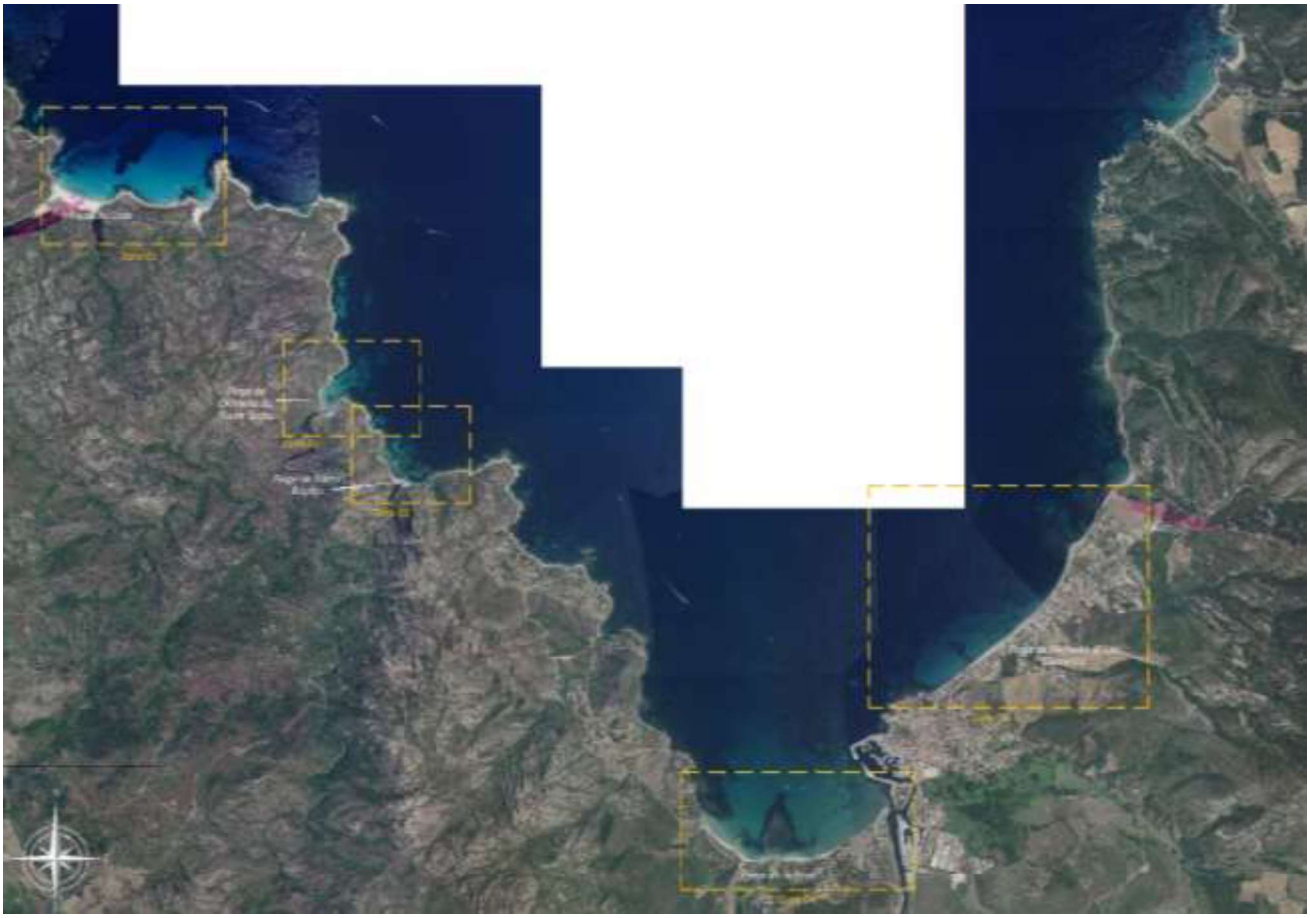


Figure 15 : Localisation des différentes zones du Golfe de Saint-Florent

3. PRESENTATION DES ÉTUDES TECHNIQUES

3.1. Rappel des données d'entrée

3.1.1. Informations sur les navires Projet

Afin d'établir les caractéristiques des mouillages, il a été défini les navires projets envisagés permettant alors de calculer les efforts sur les amarres et déterminer les ouvrages. Ils sont définis dans le tableau suivant :

Les caractéristiques de ces différents navires sont définies dans le tableau ci-après. Elles sont tirées de nos expériences et de nos différentes études réalisées au sein de la société :

Caractéristiques		Bateau de 50 m	Bateau de 70m	Bateau de 190m
Longueur du Bateau	L (m)	50	70	190
Largeur du bateau	l (m)	10	13	22
Tirant d'eau du bateau	Te (m)	3.5	4	5.25
Poids du bateau (max)	Pb (t)	620	1500	10000
Surface exposée vent transversal (de face)	Svf (m²)	105	150	880
Surface exposée vent longitudinalement (de travers)	Svt (m²)	425	700	7480
Surface exposée courant ou houle transversal (de face)	Scf (m²)	30	55	115.5
Surface exposée courant ou houle longitudinalement (de travers)	Sct (m²)	130	280	997.5

Tableau 2 : Caractéristiques des navires PROJET

Ces caractéristiques sont nécessaires afin de déterminer les efforts d'amarrage dus aux conditions climatiques (vent, houle, courant, clapot).

3.1.2. Informations sur les conditions climatiques

3.1.2.1. Surcote et niveaux d'eau

D'après les données du SHOM, l'observatoire de référence de la zone étudiée est celui de Saint-Florent. Le niveau de référence retenu pour l'étude est le zéro NGC (Nivellement Général de la Corse base IGN78), ce dernier étant situé à Saint-Florent à 0,41 m au-dessus du zéro hydrographique (0 C.M.).
Le niveau moyen est à +0,49 m C.M., soit +0,08 m NGF.

Le niveau de la mer varie autour de ce niveau moyen en fonction de différents facteurs. Ceux qui peuvent jouer un rôle sur le niveau d'eau devant le littoral étudié sont :

- *La marée astronomique* : elle est de type semi-diurne (courbe de marée sinusoïdale) et son amplitude en Méditerranée est très faible.

Pour Saint-Florent, les valeurs relatives à la marée sont :

	PHMA	NM	Zéro NGC (IGN 1978)	PBMA	Zéro CM
Niveau d'eau	+ 0,36 mNGF	+ 0,08 mNGF	0 mNGF	- 0,23 mNGF	- 0,41 mNGF
	+0.77 mCM	+0.49 mCM	+0.41mCM	+ 0.18 mCM	0 mCM

Tableau 3 : Caractéristiques de la marée pour Saint-Florent (SHOM)

PHMA : niveau des Plus Hautes eaux Marées Astronomiques
NM : niveau moyen
PBMA : niveau des Plus Basses eaux Marées Astronomiques
NGC : Nivellement Général de la Corse
CM : Carte Marine (Zéro hydrographique)

- *La surcote météorologique* : elle est liée aux pressions atmosphériques (surcote barométrique) et aux vents.

Par ailleurs, il faut aussi prendre en compte la surélévation du niveau des mers due au changement climatique.
La circulaire ministérielle du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux peut être reprise afin d'intégrer une surcote engendrée par une surélévation du niveau moyen de la mer. Cette circulaire reprend l'hypothèse pessimiste de l'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique - janvier 2011) : +25 cm d'ici 2050 et +60 cm d'ici 2100.
Le rapport du GIEC de 2021 indique une élévation moyenne du niveau des mers comprise entre 0,50 et 0,70 m pour la période 2070-2100.

La durée d'exploitation n'excédant pas 30 ans, **la surcote utilisée pour le dimensionnement de l'ouvrage est de + 1 m par rapport aux cotes marines.**

3.1.2.2. Vent

Les coffres d'amarrages envisagés sont des dispositifs n'ayant pas vocation à être utilisés toute l'année comme un emplacement annuel pour abriter les navires. Ils ne sont utilisés que pour absorber des pics ponctuels de fréquentation.

Ces ouvrages ne doivent pas être envisagés pour des vents et houles extrêmes. En effet, un bateau au mouillage pendant une tempête n'est pas sécurisé, il est généralement défini que le mouillage doit être libéré en cas de fortes tempêtes afin que le bateau puisse se mettre en sécurité et que l'ouvrage ne soit pas endommagé.

Le fait de dimensionner ces mouillages pour des conditions extrêmes entraine un surdimensionnement et des coûts de réalisation exorbitant.

Ainsi, on définit généralement les dispositifs d'amarrage en fonction de catégorie de conditions climatiques. Il existe l'Echelle BEAUFORT utilisée par tous les plaisanciers et

donnée quotidiennement par les différents services météorologiques qui définit les différentes valeurs de vents, houles en fonction d'une classe.

L'échelle Beaufort

Force du vent (Bft)	Terminologie	Vitesse* du vent (km/h)	Vitesse* du vent (nœuds)	Hauteur mini (maxi) des vagues (m)	Effets observés en mer	Effets observés sur terre
0	Calme	moins de 1	moins de 1	0	La mer est comme un miroir.	Calme. La fumée s'élève verticalement.
1	Très légère brise	1 à 5	1 à 3	0,1	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson.Pas d' écume.	La direction du vent est révélée par l'entrainement de la fumée,mais non par les girouettes.
2	Légère brise	6 à 11	4 à 6	0,2 (0,3)	Des vaguelettes, courtes encore, mais plus accusées.Leur crête a une apparence vitreuse, mais	Le vent est perçu au visage. Les feuilles frémissent.Une girouette ordinaire est mise en
3	Petite brise	12 à 19	7 à 10	0,6 (1)	Très petites vagues.Les crêtes commencent à déferler.écume d'aspect vitreux.Parfois quelques moutons épars.	Feuilles et petites branches sont constamment agitées.Le vent déploie les drapeaux légers.
4	Jolie brise	20 à 28	11 à 16	1 (1,5)	Petites vagues devenant plus longues.Moutons franchement nombreux.	Le vent soulève la poussière et les feuilles de papier.Les petites branches sont agitées.
5	Bonne brise	29 à 38	17 à 21	2 (2,5)	Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongée. Naissance de nombreux moutons.éventuellement des embruns.	Les arbustes en feuilles commencent à se balancer.De petites vagues avec crête se forment sur les eaux intérieures.
6	Vent frais	39 à 49	22 à 27	3 (4)	Des lames commencent à se former.Les crêtes d'écume blanche sont partout plus étendues.	Les grandes branches sont agitées.Les fils télégraphiques font entendre un sifflement.L'usage des parapluies est rendu difficile.
7	Grand frais	50 à 61	28 à 33	4 (5,5)	Lames déferlantes.Quelques traînées d'écume qui s'orientent dans le lit du vent.	Les arbres sont agités en entier.La marche contre le vent est pénible.
8	Coup de vent	62 à 74	34 à 40	5,5 (7,5)	Lames de hauteur moyenne et plus allongées.Très belles traînées d'écume orientées dans le lit du vent.Des tourbillons d'embruns commencent à se	Le vent casse des branches.La marche contre le vent est en général impossible.
9	Fort coup de vent	75 à 88	41 à 47	7 (10)	Grandes lames.Epaisses traînées d'écume dans le lit du vent.La crête des lames commence à s'écrouler et déferler en rouleaux.	Le vent occasionne de légers dommages aux habitations.
10	Tempête	89 à 102	48 à 55	9 (12,5)	Très grosses lames à longues crêtes en panache.L'écume produite s'agglomère en larges bancs. L'écume est soufflée dans le lit du vent en épaisses traînées.La surface des eaux semble blanche.Le déferlement en rouleaux devient intense et brutal.Les embruns peuvent réduire la visibilité.	Rare à l'intérieur des terres.Arbres déracinés. Importants dommages aux habitations.
11	Violente tempête	103 à 117	56 à 63	11,5 (16)	Les lames sont exceptionnellement hautes.La mer est complètement recouverte de bancs d'écume blanche étendus dans la direction du vent.Le bord de la crête des lames est soufflé et donne de la mousse.Les petits et moyens navires peuvent, par instant, être perdus de vue.La visibilité est réduite.	Très rarement observé. S'accompagne de ravages étendus.
12	Ouragan	118 et plus	64 et plus	14 et plus	L'air est plein d'écume et d'embruns.La mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écume déchirée.La visibilité est très fortement réduite.	

* Les vitesses se rapportent au vent moyen et non aux rafales. Les rafales peuvent dépasser le vent moyen de 50%

Tableau 4 : Caractéristiques de l'échelle BEAUFORT

Par la suite, pour les besoins de calcul, nous prendrons donc comme **vitesse de vent les valeurs de Beaufort 4.** Ces conditions représentent les conditions classiques maximales de confort d'un bateau au mouillage.

		Beaufort 4
Vent moyen	**m/s**	7.8

Tableau 5 : Caractéristiques de vent de l'échelle BEAUFORT pris pour les calculs

En revanche, leur direction peut varier dans toutes les directions pour ces conditions climatiques.

3.1.2.3. Courant

Les différents types de courants sont :

- Les courants généraux ;
- Les courants de marée ;
- Les courants liés aux vents ;
- Les courants dus à la houle.

Les courants de marée sont négligés en raison du faible marnage. Les courants les plus significatifs sont ceux générés par le vent et par les fortes houles mais restent faibles sur l'ensemble.

La valeur de courant utilisée pour le dimensionnement est essentiellement le courant lié au vent et à la houle que l'on essaie de coordonner avec les échelles BEAUFORT. Sans élément de mesure tangible sur site, il a été supposé pour le site les valeurs suivantes de courants en fonction des conditions BEAUFORT

		Beaufort 4
Courant moyen	**m/s**	0.3

Tableau 6 : Caractéristiques de courants associés aux échelles Beaufort du projet

3.1.2.4. Houle

Sans données de houle précise sur site, nous considérons une houle définie par l'échelle Beaufort. La houle susceptible de pénétrer le golfe est de direction N350°- N0°.

		Beaufort 4
Hauteur significative Hs	**m**	1.25
Période Tp	**s**	8
Direction	**°**	350-0 (Nord)

Tableau 7 : Caractéristique de houle associés aux échelles Beaufort du projet

La réalisation d'une étude numérique comprenant une modélisation des conditions de houles ainsi qu'une propagation de houle sur site permettrait d'affiner les conditions de mer et de dimensionner plus précisément les ouvrages.

3.1.2.5. Clapot

Les vents interagissent avec la surface du plan d'eau et soulèvent un clapot. Ce clapot peut être évalué à l'aide de la formule de Wilson, en fonction de la vitesse moyenne du vent ***U en m/s)***, et de la distance ***F*** (en m) sur laquelle le vent souffle sur le plan d'eau.

$$H_s = \frac{0.3\,U^2}{g}\left(1 - \left(1 + 0.004\sqrt{\frac{g\,F}{U^2}}\right)^{-2}\right)$$

$$T_p = \frac{2.74\,\pi\,U}{g}\left(1 - \left(1 + 0.008\sqrt[3]{\frac{g\,F}{U^2}}\right)^{-5}\right)$$

Le vent est pris en fonction des conditions BEAUFORT. La distance est prise en considérant chaque site d'implantation de coffre d'amarrage.

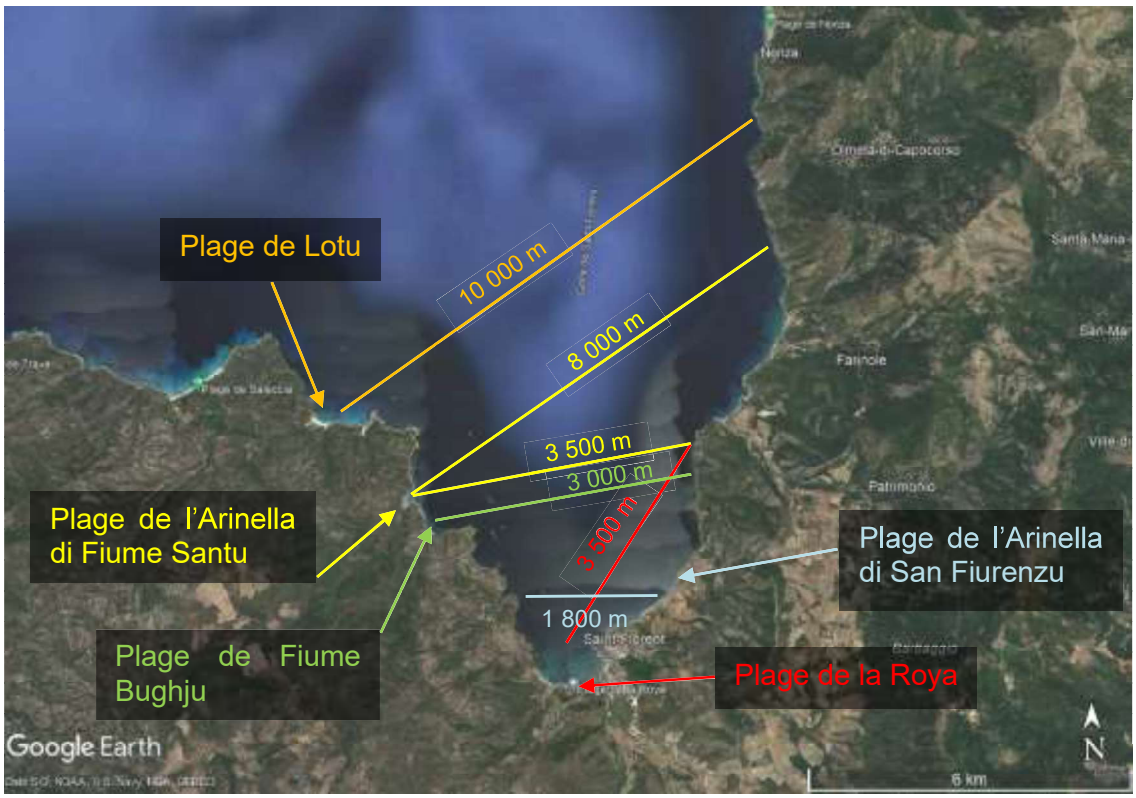


Figure 16 : Distances de FETCH pour détermination des clapots

Le clapot est calculé pour chaque situation étudiée, est fonction du fetch et varie donc selon les directions et les zones de la ZMEL. Le clapot est considéré systématiquement dans la même direction que le vent. Les clapots pris en compte lors du dimensionnement sont les suivants :

Zone		**Zone 01 Plage du Lotu**		**Zone 02 Plage de l'Arinella di Fiume Santu**	**Zone 03 Plage de Fiume Bughju**	**Zone 04 Plage de Roya**	**Zone 05 Plage de l'Arinella di San Fiurenzu**
Direction	°N	30-80°N	40-50°N	60-90°N	60-90°N	60-90°N	250-290°N
Fetch	m	10000	8000	5000	5000	1500	1800
Hs Beaufort 4	m	0.50	0.44	0.36	0.36	0.21	0.23
Tp Beaufort 4	s	2.47	2.33	2.06	2.06	1.48	1.56

Tableau 8 : Caractéristiques de clapots pris en compte pour le calcul

Le clapot provenant du Nord est considéré comme étant de la houle.

3.1.3. Informations sur la bathymétrie du site

La bathymétrie du site a été récupérée avec des données du SHOM (Litto 3D®). Sa précision est limitée mais on peut déterminer la profondeur d'eau pour la mise en place des coffres.

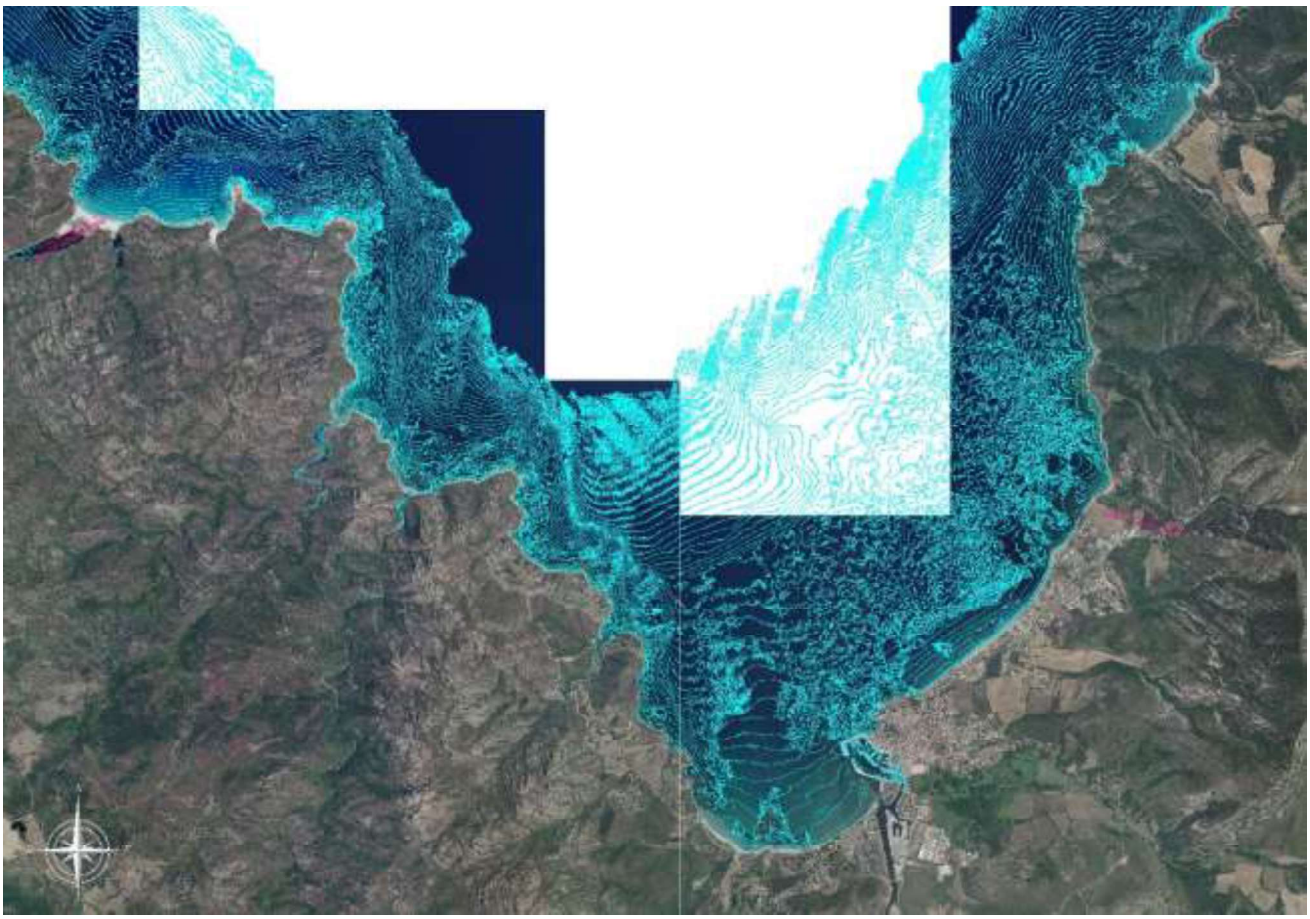


Figure 17 : Carte bathymétrique Litto 3D® du golfe de Saint-Florent

3.1.4. Informations sur les caractéristiques des fonds marins

Sans données sur les caractéristiques géotechniques des fonds destinés à accueillir les ancres, on considère alors les caractéristiques suivantes :

- Angle de frottement φ = 30°
- Cohésion du sol c = 0kPa

Une campagne de reconnaissance géotechnique à l'emplacement de chaque coffre permettrait de définir les caractéristiques réelles des sols et ainsi d'affiner le dimensionnement des ouvrages.

3.2. Présentation du mouillage

3.2.1. Principe de dimensionnement

Les caractéristiques des navires projet et les conditions climatiques ont été définis ci-avant. Plusieurs précisions sont à noter :

- La houle a une direction de provenance déterminée.
- Le vent peut avoir toutes les directions.
- Le courant a la même direction que le vent.

- Le clapot a la même direction que le vent et son intensité varie selon le fetch correspondant.

Outre ces éléments, la profondeur d'eau au droit du mouillage est nécessaire pour calculer les vitesses orbitales des houles et clapots. Plus la profondeur est petite plus ces vitesses sont importantes.

Toutes ces données (caractéristiques des bateaux, des données climatiques et bathymétriques) nous permettent de définir des efforts dits climatiques sur les navires projets en fonction de l'ensemble des directions par pas de 10°.

Les efforts d'amarrage sont évalués en fonction des sollicitations combinées de vent, de courant, de clapot et de houle selon le principe des facteurs/coefficients d'accompagnement (ROSA 2000/Eurocodes) et de la concomitance de ces sollicitations.

Ainsi on calcule tous les efforts qui s'appliquent sur un bateau dans toutes les directions possibles. On obtient alors un tableau récapitulatif des efforts sur le bateau en fonction de la position du bateau.

Ces efforts sur les bateaux sont ensuite transmis aux bouées d'amarrage en fonction du type de mouillage et enfin aux systèmes d'ancrages sur le fond marin en fonction des angles d'amarrage.

3.2.2. Dimensionnement propre du corps-mort

3.2.2.1. Rappel des données d'entrés

Il est prévu de prendre en compte les paramètres suivants pour les caractéristiques de sol :

- Angle de frottement φ=30°
- Cohésion du sol c=0kPa

Les corps-morts seront calculés avec une masse volumique de db=2400 kg/m3.

La densité de l'eau de mer sera prise à de = 1 025 kg/m3.

On détermine le corps-mort pour avoir des coefficients de sécurité. A la demande du maitre d'œuvre ces coefficients de sécurité sont définis comme suit

- 1.25 au soulèvement,
- 1.25 au glissement,
- 1.25 au renversement autour du point 0.

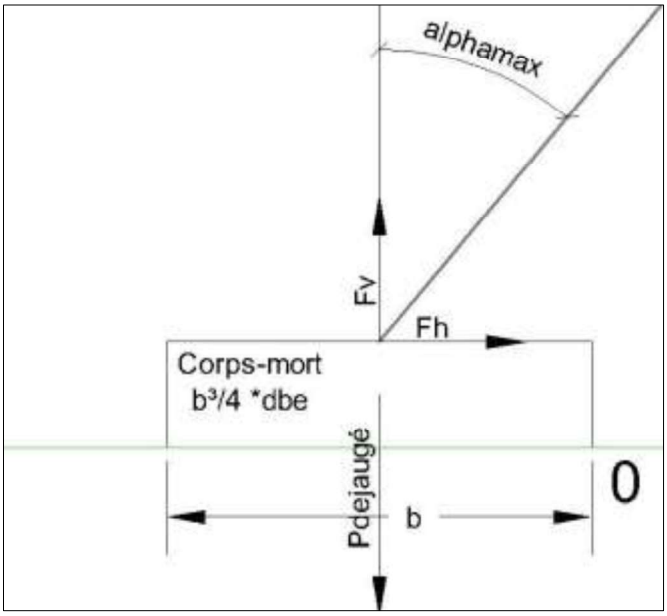


Figure 18 : Schéma de détermination des efforts sur le corps-mort

3.2.2.2. Vérification du corps-mort au soulèvement

Pour que le corps-mort ne se soulève pas, la formule suivante doit être respectée :

$$P_{déjaugé} > C_S * F_{Vancrage}$$

Où C_s est le coefficient de soulèvement
$P_{déjaugé}$ est le poids du corps-mort dans l'eau (déjaugé)
$F_{Vancrage}$ est l'effort vertical appliqué sur l'ancrage en tonnes

3.2.2.3. Vérification du corps-mort au glissement

Pour que le corps-mort ne glisse pas, la formule suivante doit être respectée :

$$c * S + F_W * \tan(\varphi) > C_g * F_{Hancrage}$$

Où C_g est le coefficient de glissement
c est le coefficient de frottement en kPA
S est la surface de frottement ($S=b^2$) avec b base du corps-mort
φ est l'angle de frottement du sol

$$F_W = P_{déjaugé} - F_{Vancrage}$$

Où $P_{déjaugé}$ est le poids du corps-mort dans l'eau (déjaugé)
$F_{Hancrage}$ est l'effort horizontal appliqué sur l'ancrage en tonnes
$F_{Vancrage}$ est l'effort vertical appliqué sur l'ancrage en tonnes

3.2.2.4. Vérification du corps-mort au renversement

Pour que le corps-mort ne se renverse pas, la formule suivante doit être respectée :

$$\sum Moment\ retenant\ l'ouvrage > c_r * \sum Moment\ le\ déplaçant$$

Où Cr est le coefficient de renversement

On a donc

$$P_{déjaugé} * \frac{b}{2} > c_r * \left[f_{Hancrage} * \frac{b}{4} + f_{Vancrage} * \frac{b}{2} \right]$$

Où $P_{déjaugé}$ est le poids du corps-mort dans l'eau (déjaugé)
b base du corps-mort
$F_{Vancrage}$ est l'effort vertical appliqué sur l'ancrage en tonnes
$F_{Hancrage}$ est l'effort horizontal appliqué sur l'ancrage en tonnes

3.2.2.5. Application aux corps morts

Un corps mort classique est défini tel que sa hauteur correspond à ¼ de sa base.

Dans les conditions de sol définies pour le calcul (cohésion de sol, angle de frottement), la condition limitante est le glissement, c'est cette condition qui détermine la taille de la base du corps-mort et par conséquent toutes ses autres caractéristiques (hauteur, volume, masse).

Le ratio de hauteur d'un corps-mort éco-conçu est supérieur à celui d'un corps-mort classique. En effet pour deux ouvrages ayant une base identique, le corps-mort éco-conçu sera plus haut du fait de l'intégration des modules écologiques. Bien que le centre d'inertie de l'ouvrage soit plus haut, la condition limitante reste le glissement dans les conditions de sol prisent en compte pour le calcul. **Le corps mort éco-conçu possède donc une emprise au sol identique au corps-mort classique avec cependant une hauteur plus importante**.

3.2.3. Mouillage à l'évitage

Pour un mouillage à l'évitage, le navire est amarré à une bouée qui tourne (évite) autour d'un point fixe sur le fond marin (ici corps-mort). Avec ce système, le navire se positionne dans la direction d'un moindre effort en fonction des vents, courants, clapots et houles (360° autour du point fixe). Ce système présente l'inconvénient de prendre beaucoup de place (car les cercles d'évitages ne doivent pas se croiser) mais permet la diminution des efforts ainsi que la réduction des ouvrages (lignes de mouillages, et ancrage).

L'angle vertical d'amarrage des mouillages α est en général de 60° pour avoir des efforts classiques, cependant la ligne de mouillage sera plus longue.

Afin de ne mettre en place qu'une seule bouée de subsurface pour éviter que la chaîne ne vienne frotter sur le fond marin, la longueur de la chaîne doit être réduite lorsque la bathymétrie ne permet pas d'avoir une unique bouée de subsurface (faibles profondeurs). Dans ce cas-là, l'angle d'amarrage est alors réduit (55°, 50°) jusqu'à obtenir la longueur de chaîne acceptable avec une seule bouée de subsurface. La conséquence de la réduction d'angle est l'augmentation des efforts sur l'ancrage et donc nécessite des ouvrages/équipements plus conséquents, plus chers.

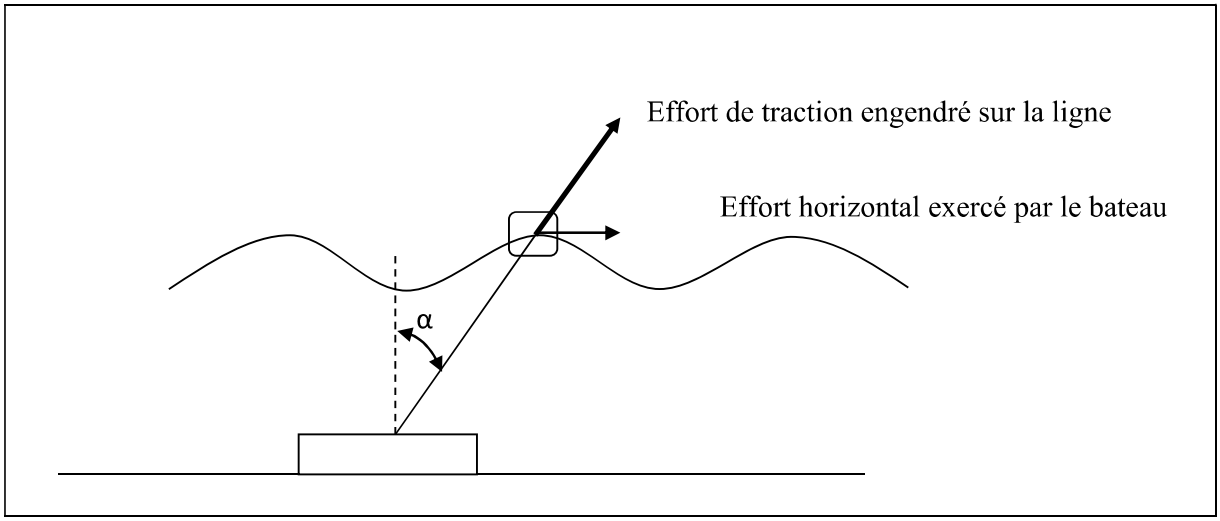


Figure 19 : Schéma de représentation de l'angle verticale d'amarrage

3.3. Présentation de la solution

3.3.1. Positionnement des coffres

Suite à l'analyse de la fréquentation au mouillage des navires de grande plaisance, il est proposé d'implanter 7 coffres d'amarrages. Pour rappel, ces coffres sont répartis comme suit :

- Zone 01 Plage du Lotu
  - 2 coffre de capacité 70m ;
- Zone 02 Plage de l'Arinella di Fiume Santu
  - 1 coffre de capacité 50m ;
- Zone 04 Plage de la Roya / fond du golfe
  - 1 coffres de capacité 50m ;
  - 2 coffre de capacité 70m ;
  - 1 coffre de capacité 190m ;

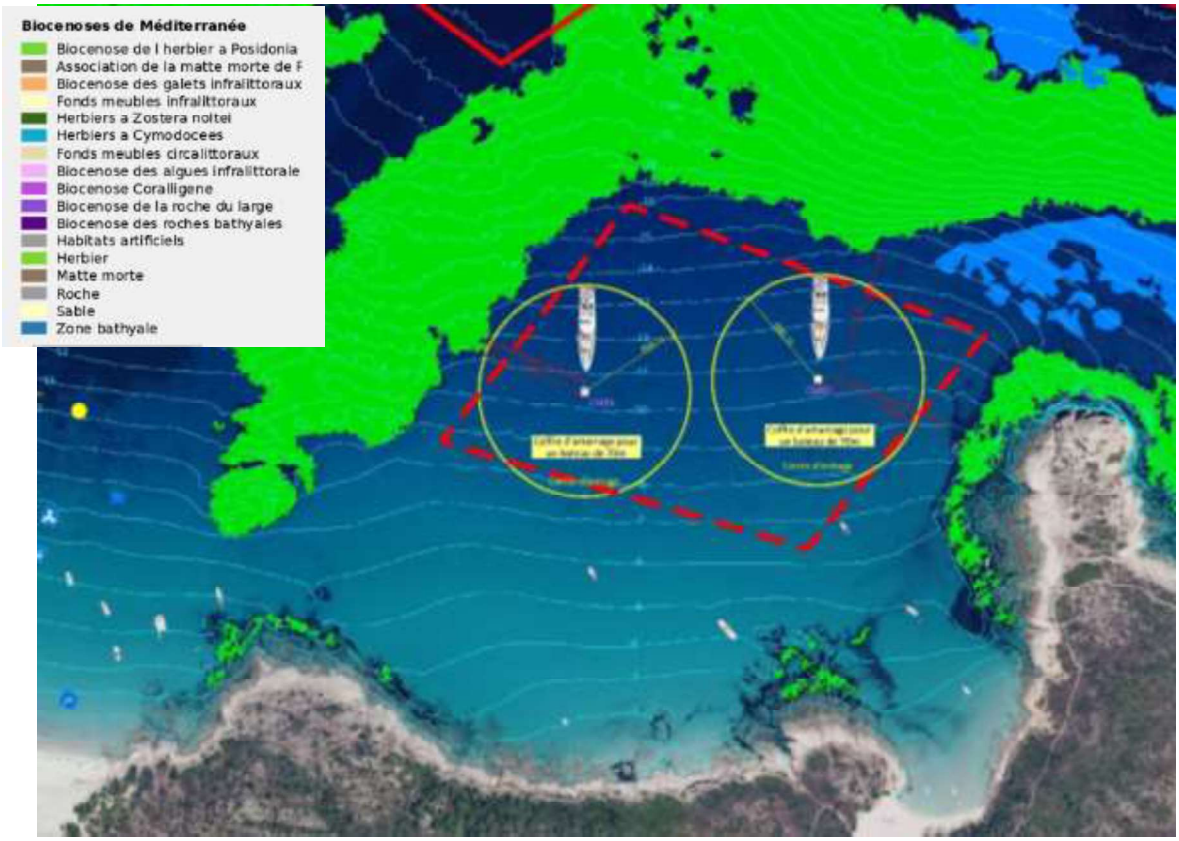


Figure 20 : Positionnement des coffres d'amarrage en zone 01 Plage du Lotu – Extrait du plan FAI VP013

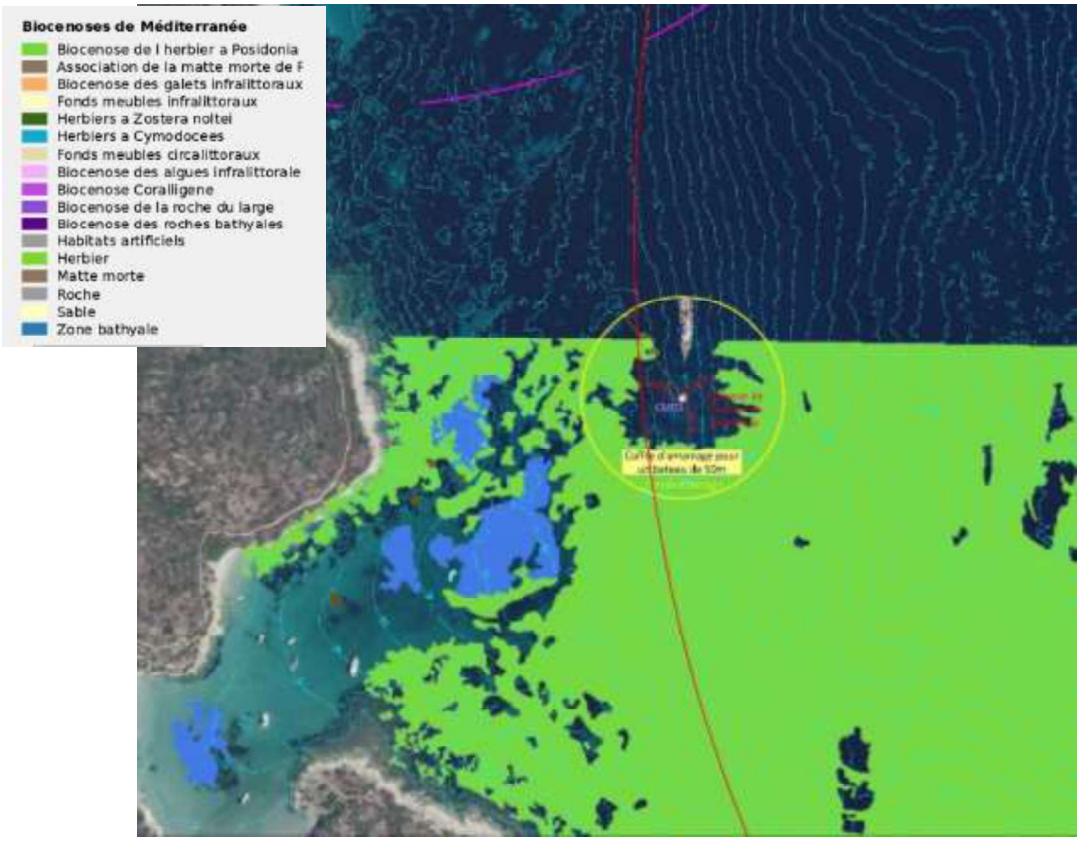


Figure 21 : Positionnement du coffre d'amarrage en zone 02 Arinella di Fiume Santu – Extrait du plan FAI VP014

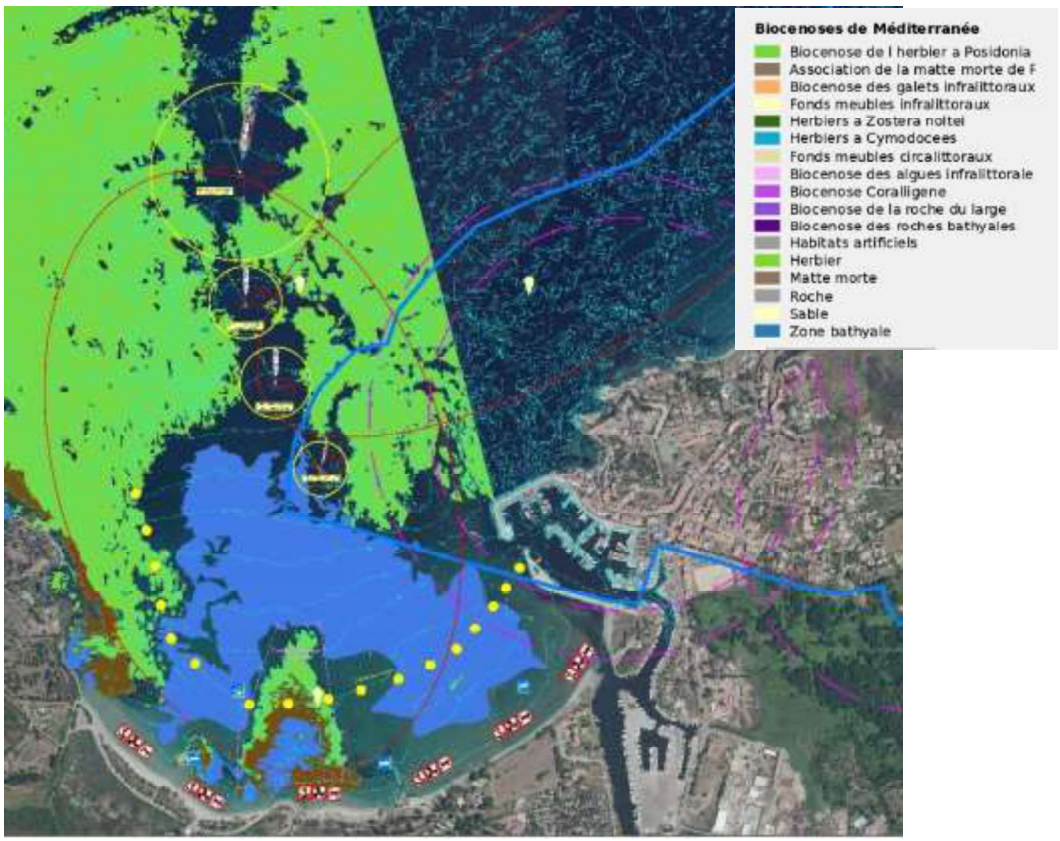


Figure 22 : Positionnement des coffres d'amarrage en zone 04 Plage de Roya – Extrait du plan FAI VP016

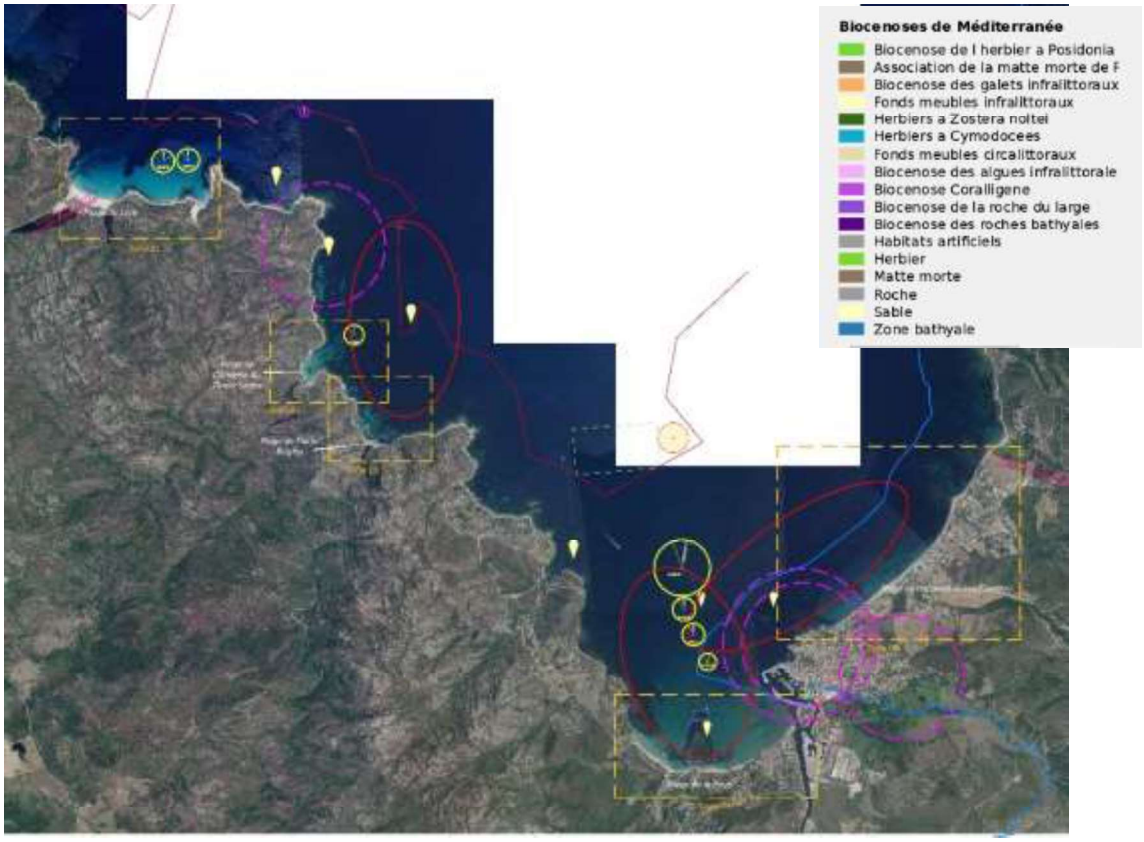


Figure 23 : Positionnement des 7 coffres d'amarrage dans le Golfe de Saint-Florent – Extrait du plan FAI VP018

Le tableau ci-dessous renseigne sur la profondeur des mouillages selon la répartition proposée ci-dessus.

Zone	Zone 01 Plage du Lotu		Zone 02 Plage de l'Arinella di Fiume Santu	Zone 04 Plage de Roya			
Taille bateau	**70 m**		**50 m**	**50m**	**70m**		**190 m**
Profondeur (en m NGC)	11	11	11	9	10	11	15

Tableau 9 : Synthèse des profondeurs dans les différentes ZMEL

3.3.2. Résultats des dimensionnements

Les dimensionnements ont été réalisés pour un mouillage à l'évitage pour des bateaux de 50, 70 et 190 m en fonction des conditions BEAUFORT 4 pour des angles d'amarrage de 50° et 55°.

Après différents tests, les valeurs dimensionnantes pour ce mouillage sont définies dans le cas de conditions climatiques :

- Pour la zone 01, plage de Lotu : vent, courant et clapot de direction 90°N et houle de direction 0°N pour des bateaux de 70 m.
- Pour la zone 02, plage de l'Arinella di Fiume Santu : vent, courant et clapot de direction 90°N et houle de direction 0°N pour des bateaux de 50m.
- Pour la zone 04, plage de la Roya :
  - Vent, courant et clapot de direction 90°N et houle de direction 0°N pour les bateaux de 50m.
  - Vent, courant et clapot de direction 90°N et houle de direction 0°N pour les bateaux de 70m.
  - Vent et courant de direction 80°N, houle de direction 0°N et absence de clapot pour les bateaux de 190m.

Le résultat de ces dimensionnements est transmis dans le tableau « Récapitulatif des ouvrages pour les mouillages à l'évitage » en annexe. Des valeurs pour des conditions de vent BEAUFORT 4 pour des angles de 55° et 50° variant selon la position du mouillage sont données ci-après :

Zone 01 : Plage du Lotu	
Mouillage	**CM01 / CM02**
Longueur du bateau	**70 m**
Profondeur	**11 m**
Efforts sur le bateau en surface (ELU en kN)	**145.11**
Efforts sur l'ancrage pour angle de 50° (en kN)	194.665

Tableau 10 : Efforts pour les bateaux PROJET pour la zone 01, plage de Lotu avec un angle de 50° en conditions de beaufort 4

Zone 02 : Plage de l'Arinella di Fiume Santu	
Mouillage	**CM03**
Longueur du bateau	**50 m**
Profondeur	**11 m**
Efforts sur le bateau en surface (ELU en kN)	**71.17**
Efforts sur l'ancrage pour angle de 50° (en kN)	95.67

Tableau 11 : Efforts pour les bateaux PROJET pour la zone 02, plage de l'Arinella di Fiume Santu avec un angle de 50° en conditions de beaufort 4

Zone 04 : Plage de la Roya / fond du Golfe				
Mouillage	**CM04**	**CM05**	**CM06**	**CM07**
Longueur du bateau	**190 m**	**70 m**	**70 m**	**50 m**
Profondeur	**15 m**	**12 m**	**10 m**	**09 m**
Angle maximal d'amarrage (°)	55°	50°	50°	50°
Efforts sur le bateau en surface (ELU en kN)	**195.83**	**148.42**	**147.54**	**78.88**
Efforts sur l'ancrage (en kN)	251.32	200.04	198.02	105.76

Tableau 12 : Efforts pour les bateaux PROJET pour la zone 04, plage de la Roya en conditions de beaufort 4

Ces efforts sont des efforts calculés simplement mathématiquement en fonction des conditions climatiques définies. Il convient souvent de les ajuster en fonction des caractéristiques du site : si par exemple des bouées de subsurface sont mises en place pour éviter le ragage de la chaine sur le fond, il faut alors rajouter une composante verticale due à la flottabilité de cette bouée.

3.3.3. Descriptif du mouillage

Vu la configuration du site, le mouillage à l'évitage pour 1 seul navire se composera des éléments suivants :

- Un système d'ancrage sur le fond marin : corps-mort éco-conçu, multiples ancres à vis avec barres de liaisonnement
- Une chaîne-mère d'amarrage avec accessoires : manilles, émerillons, plaques d'affourche, (cosses), … reliant l'ancrage sur le fond marin et la chaine fille au niveau de la bouée de subsurface,
- Une bouée de subsurface positionnée à une certaine profondeur permettant de tendre la chaine-mère et d'éviter que les chaines-mères et filles ne raguent sur le fond

- Une chaîne-fille d'amarrage avec accessoires : manilles, émerillons, plaques d'affourche, (cosses), … reliant la chaine-mère au niveau de la bouée de subsurface jusqu'à la bouée d'amarrage en surface,
- Un coffre en surface permettant l'amarrage du bateau à l'avant.

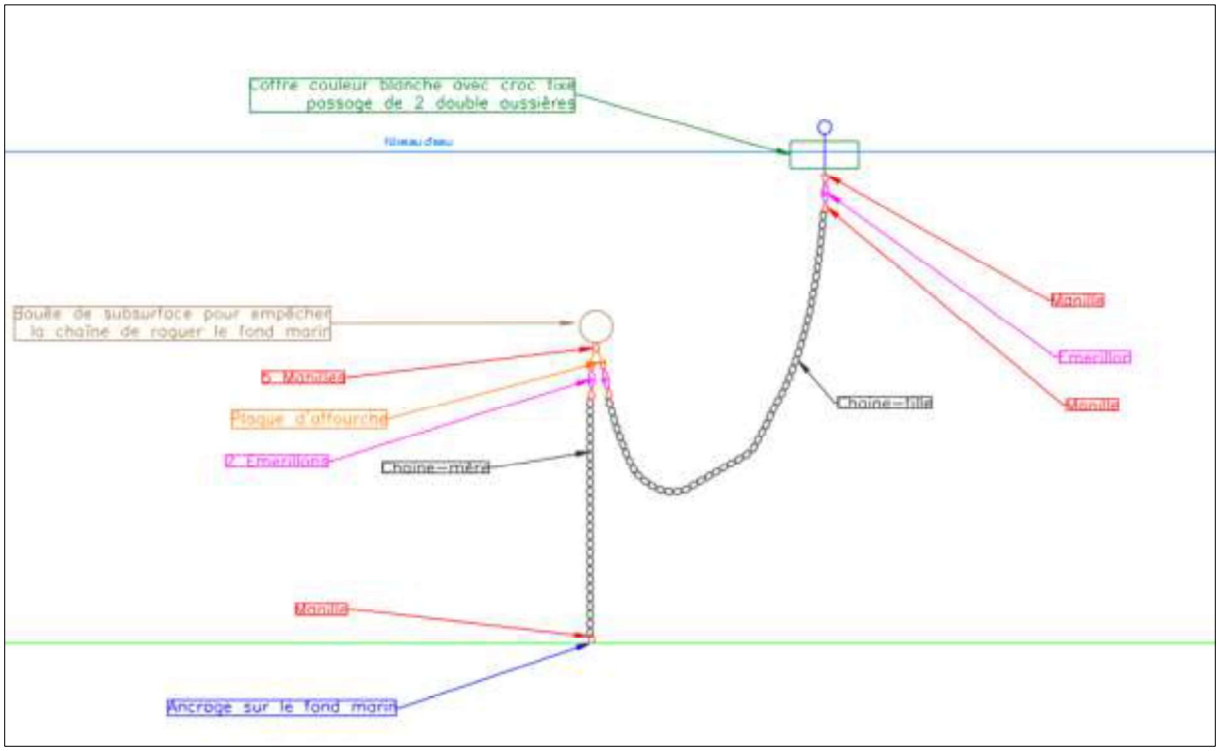


Figure 24 : Coupe type de principe du mouillage à l'évitage

Les caractéristiques de sol prises en compte dans le calcul du système d'ancrage ont tendance à augmenter les valeurs de dimensionnement.

Les lignes de mouillages sont définies en fonction de certains paramètres : Chaines à étais de grade Q3 (Bureau Veritas) ou U3 (Lloyd's Register) suivant normes ISO 4565 et DIN 766,

3.3.4. Type d'ancrage

Il existe plusieurs types de d'ancrages pour réaliser un mouillage :

- Ancre à vis
- Ancre hélicoïdale

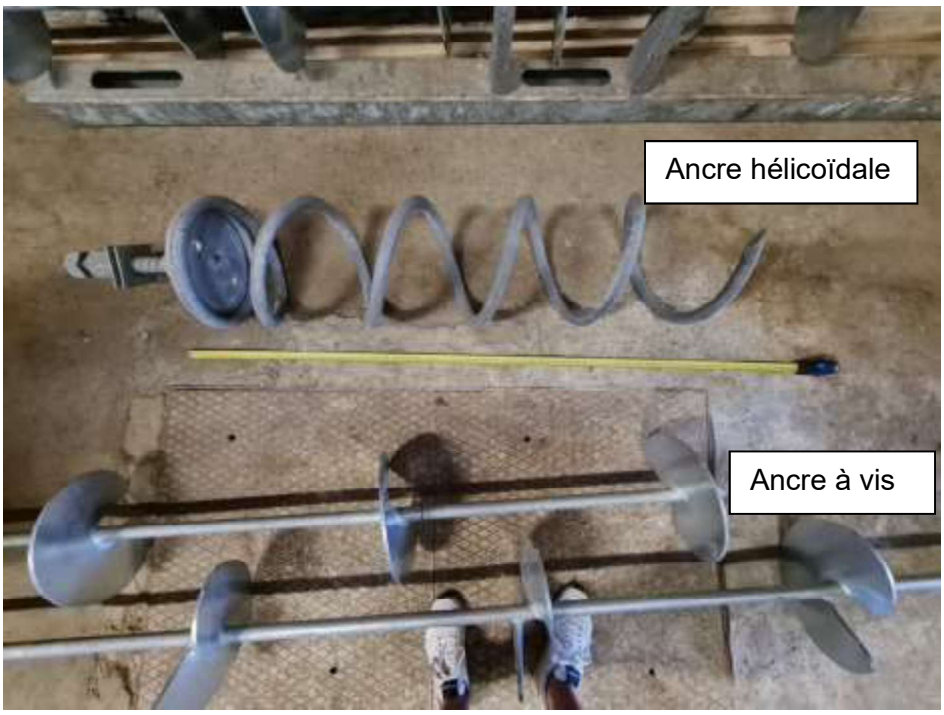


Figure 25 : Photographie d'ancres à vis et d'ancre hélicoïdale

- Scellement dans roche
- Ancre à bascule

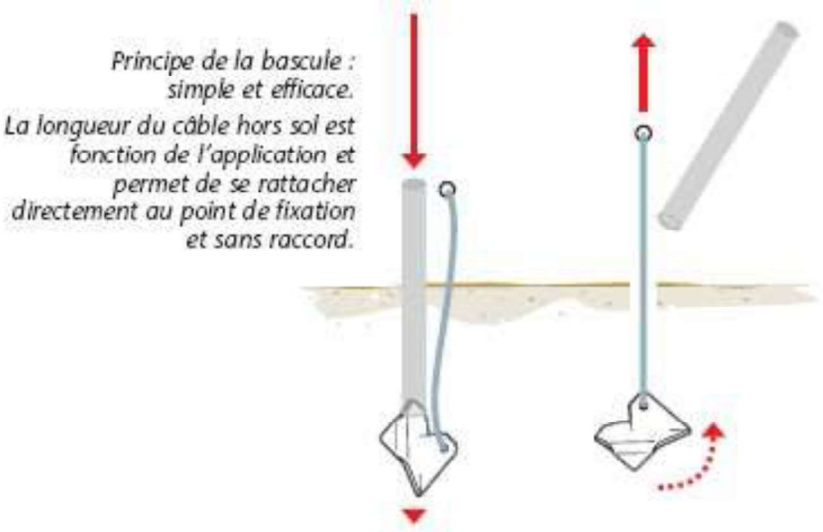


Figure 26 : Schéma descriptif d'ancre à bascule

- Corps-morts

Au vu de la taille des navires projet et des efforts sur l'ancrage, la mise en place d'ancre à vis, d'héliocoïdale ou à bascule s'avère compliquée. En effet afin de reprendre les efforts demandés sur l'ancrage, il faudrait multiplier le nombre d'ancres pour un seul mouillage, ce qui étendra l'emprise au sol du système d'ancrage (grand nombre d'ancres et de barre de liaisons). De plus, nous ne pouvons garantir la tenue des ancres, dépendant des caractéristiques intrinsèques du sol. Ces trois types d'ancres ne sont donc pas adaptés pour ce projet et à la taille des navires.

Les ancres à scellement dans la roche ne semblent pas non plus adaptées puisque les points retenus pour l'implantation des coffres se situent a priori sur du sable et non de la roche.

Pour garantir la reprise des efforts et une stabilité de l'ancrage, la meilleure solution envisageable semble être la mise en place d'un poids mort sur le fond marin. Afin d'apporter à ces ouvrages une caractéristique environnementale ils pourront être éco-conçus c'est-à-dire pensé comme un récif artificiel afin de développer la vie sous-marine autour de l'ouvrage et de favoriser son intégration.

3.4. Mouillages réalisables

En fonction des efforts préalables, il a pu être établi des caractéristiques des mouillages.
Les caractéristiques de ces mouillages pour des conditions de vent BEAUFORT 4 avec un angle de 55° ou 50° sont données ci-après :

BEAUFORT 4	Zone 01 Plage de Lotu	Zone 02 Plage de l'Arinella di Fiume Santu	Zone 04 Plage de la Roya			
Mouillage	**CM01 / CM02**	**CM03**	**CM04**	**CM05**	**CM06**	**CM07**
Longueur du bateau	**70 m**	**50 m**	**190 m**	**70 m**	**70 m**	**50 m**
Profondeur du mouillage	**11 m**	**11 m**	**14 m**	**12 m**	**10 m**	**9 m**
Angle maximal d'amarrage (°)	**50°**	**50°**	**55°**	**50°**	**50°**	**50°**
Effort sur l'ancrage (kN)	194,67 kN	95,67 kN	251,32 kN	200,04 kN	198.02 kN	105,76 kN
Poids minimal de corps-morts (t)	82 t	41 t	108 t	85 t	84 t	45 t
Diamètre minimal chaines-mères (mm)	Chaines DN36mm	Chaines DN26mm	Chaines DN42mm	Chaines DN38mm	Chaines DN38mm	Chaines DN28mm
Diamètre minimal chaines-filles (mm)	Chaines DN36mm	Chaines DN26mm	Chaines DN42mm	Chaines DN38mm	Chaines DN38mm	Chaines DN28mm
Flottabilité minimale de la bouée de subsurface (kg)	343 kg	181	717 kg	413 kg	355 kg	182 kg
Profondeur de la bouée de subsurface (m)	4,5 m	4,5 m	5,5 m	5 m	4 m	3,3 m
Flottabilité minimale de la bouée d'amarrage (kg)	471 kg	248 kg	965 kg	573 kg	481 kg	232 kg

Tableau 13 : Récapitulatif des caractéristiques des mouillages pour les bateaux PROJET dans des conditions de BEAUFORT 4 pour un mouillage à l'évitage

3.5. Modules écologiques

Dans le but d'apporter un aspect écologique, et de favoriser le développement de la vie sous-marine autour de ces ouvrages, les corps morts seront éco-conçus.

Une solution pour inclure des abris ou modules écologiques au corps-mort serait de repenser complètement la conception même du corps-mort. Celui-ci peut être aménagé différemment pour laisser des espaces libres entre les différents éléments qu'il est possible d'aménager. Sur l'élément de base (socle et cheminée incluant la chaine), sont posés 2 plateaux en béton sur pieds aux 4 coins, servant de lest, mais laissant également un vide interne pouvant être aménagé à l'intérieur. La configuration du corps mort et des modules écologiques varie selon la taille du corps-mort et des espèces présentes sur site.

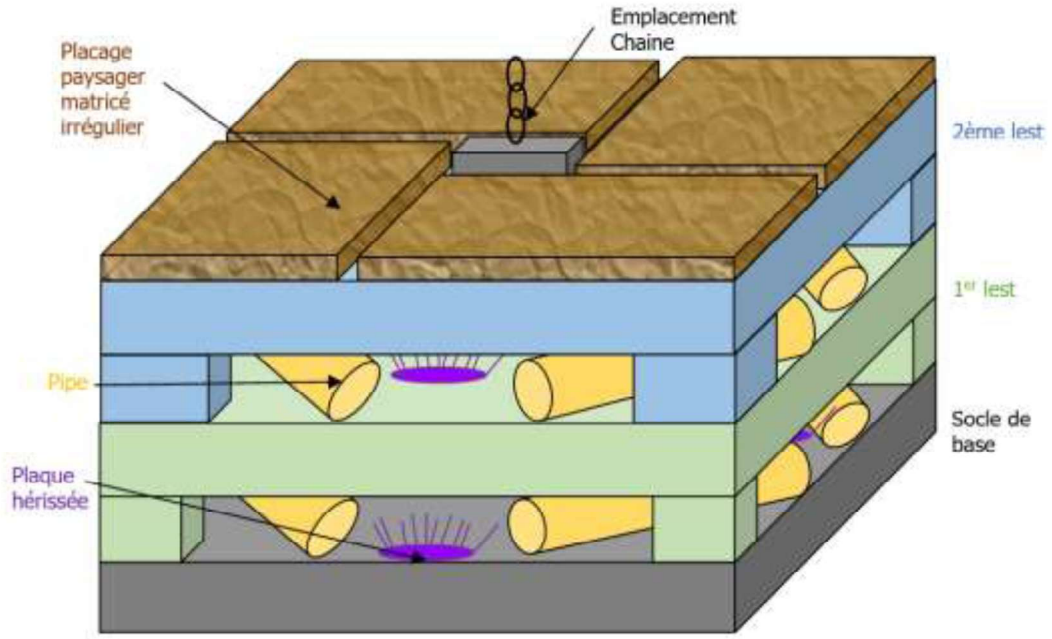


Figure 27 : Schéma de principe d'un corps-mort éco-conçu – OTEIS / ICTP, CCI Corse 2018

Enfin, une autre solution est d'ajouter des modules sur la surface du corps-mort. Ces modules peuvent varier selon les espèces présentes sur site.
Les dispositifs d'écoconstructions envisageables peuvent être définis comme suit (liste non exhaustive) :

- Utilisation de laitier de type Ecocem pour la construction béton du corps-mort,
- Modules écologiques semi-biodégradables de type Ecocéan fixées sur le corps mort
- Modules écologiques souples fixés sur la ligne de mouillage de type P2AD

Figure 28 : Exemple de module pour le corps-mort (source Ecocean) Biohut Kelp à gauche et Biohut Digue à droite

Figure 29 : Exemple de module pour la ligne de mouillage (source P2AD)

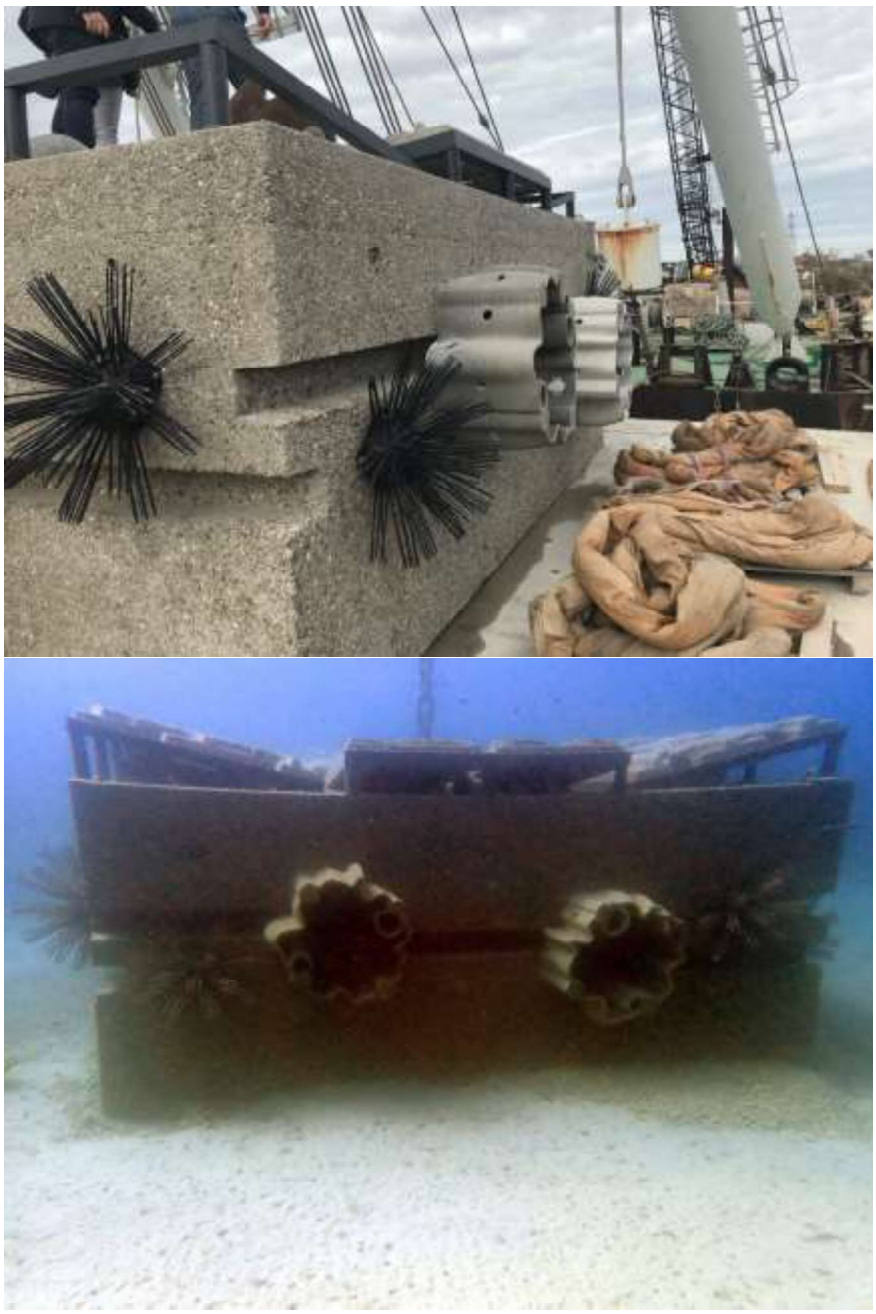


Figure 30 : Exemple de module écologiques externes mis en place sur le coffre d'amarrage de Sanary-Sur-Mer – ICTP/OTEIS 2021

3.6. Description des travaux

3.6.1. Consistance des travaux

3.6.1.1. Installation de chantier et travaux préparatoires

- Installation de chantier
- Amenée et repli du matériel de chantier terrestre et maritime dont matériel nautique de travail y compris barge
- Constat d'huissier, études d'exécution et Plan de récolement