

Submerged Stone Structures in the Far West of Europe During the Mesolithic/Neolithic Transition (Sein Island, Brittany, France)

Yves Fouquet, Jean Michel Keroullé, Pierre Stéphane, Yvan Pailler, Philippe Bodénès, François Pernot, Thierry Normant, Philippe Corre, William Legrand, Christophe Lebranchu, Jean Roullot, Julien Dubreuil, Géraldine Gaillère, Xavier Poncet

Résumé

L'analyse morpho-tectonique des données LIDAR au grs de l'île de Sein (France) a révélé 11 structures submergées à des profondeurs significatives. Les plongées menées entre 2022 et 2024 ont confirmé qu'il s'agissait de structures en granite construites par l'homme, le plus grand mur mesurant 120 m de long. Certaines structures semblent être des écluses à poissons, d'autres peut-être protectrices. Sur la base des données relatives du niveau de la mer, la datation de ces structures a été estimée à 5800 à 5300 avant notre ère. Ces vestiges, uniques à une telle profondeur, montrent la présence humaine mésolithique et les compétences avancées en construction, précédant le mégalithisme néolithique en Bretagne de 500 ans. Ils offrent un aperçu précieux des sociétés de chasseurs-cueilleurs maritimes pendant la transition mésolithique-néolithique.

Mots-clés : structures de pierre submergées, pêcheries, mégalithes, transition mésolithique-néolithique, Bretagne, île de Sein

Introduction

Les écluses à poissons étaient l'un des principaux moyens d'approvisionnement alimentaire des populations mésolithiques maritimes en Europe. Leur construction implique une forte coopération collective et leur entretien régulier suppose un mode de vie relativement sédentaire. Les pièges à poissons en bois datés de 6150 à 5750 cal. BCE ont été trouvés en Irlande (McQuade & O'Donnell, 2007), tandis que d'autres sites ont été signalés au Danemark (Pedersen, 1995 ; Pickard & Bonsall, 2007) et en Allemagne (Geersen et al., 2024).

Dans l'ouest de la France, le niveau relatif de la mer (RSL) a augmenté d'environ 25 m depuis 8000 cal. BCE (García-Artola et al., 2018 ; Goslin et al., 2013 ; Stéphane et al., 2015). Entre 8000 et 6000 cal. BCE, le taux d'augmentation du RSL était compris entre 8,4 et 5,2 mm.yr-1. À partir de 4500 cal. BCE, le RSL a ralenti (1,7 mm.yr-1) et s'est stabilisé à partir de 4000 cal. BCE à des taux d'environ 1 mm.yr-1. La transgression marine post-glaciaire a conduit à l'immersion de grandes surfaces de terres. Dans la mer d'Iroise, les parties supérieures des plateaux rocheux subtidaux ont subi d'importants changements paléogéographiques au cours des 8 000 dernières années, en particulier dans l'archipel de Molène (Pailler et al., 2014) et l'île de Sein (Stéphane & Tissot, 2022).

La transition entre les populations mésolithiques de chasseurs-cueilleurs maritimes et les premières populations sédentaires néolithiques s'est produite en même temps que le ralentissement de la hausse de la RSL. Cette transition culturelle est datée entre 5500 et 5000 cal. BCE en Bretagne (Cassen et al., 1999 ; Marchand, 2014 ; Marchand & Schulting, 2019 ; Pailler et al., 2007). Le littoral était alors situé à quelques kilomètres au large du rivage actuel et la preuve de l'occupation humaine le long du littoral à cette époque est maintenant submergée entre des profondeurs de -9 m (5600 cal. BCE) à -7,2 m (5000 cal. BCE). En raison des difficultés d'accès à ces sites (forts courants de marée, conditions hydrodynamiques élevées, couverture d'algues), peu de travaux archéologiques ont été effectués dans les zones profondes de la côte bretonne (Billard et al., 2016, 2020 ; Daire & Langouët, 2010 ; Gandois, 2019 ; Gandois et al., 2018). La faible résolution des cartes nautiques explique également l'absence virtuelle de connaissances archéologiques pour ces périodes (Baltzer et al., 2015 ; Gandois et al., 2018 ; Stéphane et al., 2019). Cependant, quelques coquilles mésolithiques tardives sont connues en Bretagne le long du littoral actuel (par exemple, les sites de Beg er Vil, 6250-6000 cal. BCE ; Beg an Dorchenn, 5700-5400 cal. BCE ; Téviec, 5400-5200 cal. BCE ; Hoëdic, 5400-4800 cal. BCE ; (voir Dupont et al., 2009 ;

Dupont & Marchand, 2021 ; Kayser, 1985 ; Marchand, 2021, 2003 ; Marchand & Schulting, 2019 ; Péquart et al., 1937 ; Péquart & Péquart, 1934 ; Simões et al., 2024). Dans le golfe du Morbihan (sud de la Bretagne), les données du sonar et de la plongée ont révélé des alignements de mégalithes actuellement submergés jusqu'à des profondeurs de -5 m (Baltzer et al., 2015, 2010 ; Cassen et al., 2019a, 2010). Cependant, les données RSL pour la Bretagne (García-Artola et al., 2018) suggèrent que la plupart des traces d'occupation humaine au bord de mer à l'époque mésolithique sont inférieures au niveau actuel des marées basses et n'ont pas encore été découvertes, à moins qu'elles n'aient déjà été détruites par l'action des vagues (Billard et al., 2016, 2020).

Le long des côtes de la Bretagne et de la Normandie, de nombreux pièges à poissons préhistoriques ont été découverts sur la base de l'observation de photographies aériennes et d'images satellites (Bernard et al., 2016 ; Billard et al., 2016, 2020 ; Daire & Langouët, 2011, 2010). La plupart des écluses à poissons connus sont situés dans la zone intertidale actuelle, au-dessus des marées astronomiques les plus basses (LAT) (Gandois et al., 2018 ; Pailler et al., 2011 ; Stéphan et al., 2019). La hauteur moyenne de ces structures en pierre est de 0,7 m, les longueurs sont comprises entre 40 et 550 m et les largeurs sont de 1,5 à 8 m (Billard et al., 2016 ; Stéphan et al., 2019). Sur l'archipel de Molène, des écluses à poissons ont été situés jusqu'à une profondeur de 7 m sous le niveau moyen de la mer sur la base de données bathymétriques à haute résolution (Gandois et al., 2018 ; Pailler et al., 2011 ; Stéphan et al., 2019).

L'inventaire des sites préhistoriques submergés le long de la côte française n'indique aucun site archéologique autour de l'île de Sein ou sur les rives continentales voisines (Billard et al., 2016, 2020). Aucun site d'avant le néolithique moyen n'est actuellement connu sur la partie terrestre de l'île. Sur le continent (Cap Sizun) situé à 8 km à l'est de l'île du Sein (Figure 1), plusieurs sites mésolithiques sont notés le long du bord des falaises côtières actuelles (Arbousse-Bastide, 2001 ; Gouletquer et al., 1996 ; Marchand, 2005). Cependant, l'accès gratuit aux données bathymétriques LIDAR du programme Litto3D® offre désormais une vue haute résolution sans précédent du relief marin entre 0 et -30 m de profondeur. Ces données aident à détecter les structures artificielles situées dans les zones subtidales. Le recalage de ces données avec les anciennes positions de la RSL (García-Artola et al., 2018 ; Goslin et al., 2013 ; Stéphan et al., 2015) permet de modéliser les changements paléogéographiques.

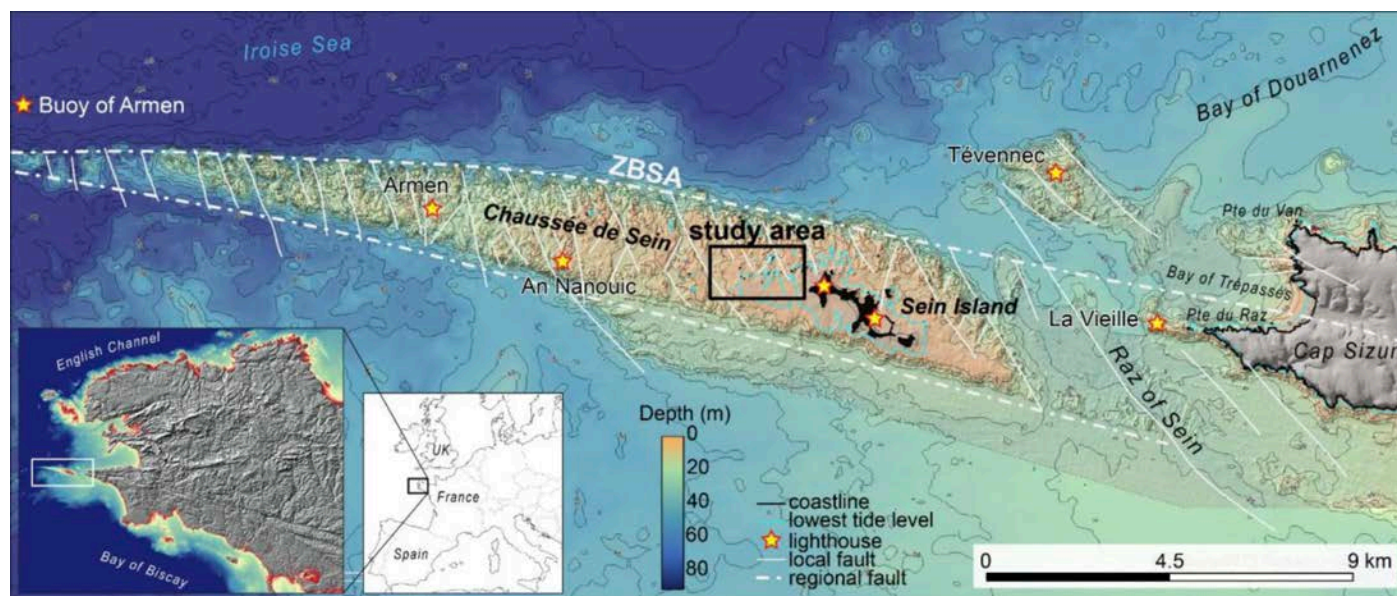


Figure 1. Carte morphologique de la zone d'étude basée sur la combinaison de données LIDAR (Litto3D®) et bathymétriques (EMO-DNet). Les lignes blanches pointillées et pointillées représentent les principales failles hercyniennes régionales (ZBSA = Zone Broyée Sud Armoricaïne). Les lignes blanches continues montrent les failles hercyniennes les plus importantes, orientées NW-SE et NE-SW, traversant le long plateau granitique (Chaussée de Sein) et à travers la zone la plus profonde avec de forts courants (Raz of Sein). La terre émergée est en gris (noir pour l'île de Sein). La courbe noire montre le littoral actuel. La courbe bleu turquoise indique le niveau des niveaux de marée les plus bas actuels. Le rectangle noir montre la zone de travail de Toul ar Fot en 2022, 2023 et 2024 (Auteurs).

Notre étude est basée sur une approche géoarchéologique intégrant l'observation de structures submergées provenant de plongées, l'analyse pétrographique des pierres et une contextualisation des restes dans leur en-

vironnement d'origine à l'aide de données bathymétriques LIDAR. La transparence de l'eau autour de l'île de Sein offre des résolutions métriques jusqu'à une profondeur d'environ 30 m. Les analyses morpho-tectoniques révèlent des structures linéaires à une profondeur comprise entre -7 et -9 m, dont la nature anthropique a été confirmée par des observations de plongée effectuées par le SAMM (Société d'Archéologie et de Mémoire Maritime) en 2022, 2023 et 2024. Ces structures et les conséquences archéologiques de leur découverte sont présentées et discutées dans ce document.

Contexte environnemental

L'île de Sein est la partie émergente d'un plateau sous-marin en granite de forme triangulaire connu sous le nom de « Chaussée de Sein », qui s'étend sur 22 km d'est en ouest (Fouquet et al., 1985). Sa largeur varie de 3 km à l'est à quelques centaines de mètres à l'ouest (*Figure 1*). Au nord et au sud, les bords du plateau sont droits et délimités par des failles qui vont d'est en ouest et légèrement obliques les unes aux autres. Cette configuration définit un relief sous-marin, de 10 à 15 m de profondeur, qui surplombe de 50 à 80 m les plaines environnantes, qui sont composées de roches sédimentaires et métamorphiques plus douces (calcaire, grès, schiste, schiste de mica). Ce relief est apparu plusieurs fois au cours des bas niveaux de la mer lors des 500 000 dernières années. La structure interne du plateau rocheux est matérialisée par des failles orientées NW-SE et NE-SW. Les failles NW-SE, qui sont les plus prononcées (*Figure 1*), se traduisent par des vallées droites étroites pendant les périodes d'émersion ou dans des creux de marée qui canalisent les courants de reflux et de flux pendant les hauteurs au niveau de la mer. Les failles NE-SW sont visibles à une échelle plus fine. La combinaison de ces failles et de la diversité des granites explique l'intense fragmentation de la Chaussée de Sein. Cette fragmentation génère divers habitats marins dans lesquels les nutriments profonds, développés par le mélange des courants dans la mer d'Iroise, favorisent une productivité biologique exceptionnelle et des concentrations élevées de poissons et de crustacés (Lemonnier et al., 2020 ; Schultes et al., 2013 ; Raffin, 2003 ; Stéphane & Tissot, 2022). Les courants de marée atteignent 7 nœuds pendant les marées printanières. Autour de l'île Sein, les vents dominants proviennent d'un large secteur ouest, avec des vents plus forts se produisant plus fréquemment dans le sud-ouest. La houle provient principalement de l'ouest et du sud-ouest et des hauteurs importantes peuvent atteindre 15 m lors de fortes tempêtes. Ainsi, le nord du plateau sous-marin est moins exposé au vent et les houles les plus fortes que le sud. Les vallées les plus étroites peuvent être facilement bloquées pour piéger les poissons. L'amplitude de marée maximale est de 6,8 m, et de grandes zones intertidales sont exposées à marée basse, où une variété de nourriture est accessible à pied.

Méthodologie

Des mesures topo-bathymétriques LIDAR ont été utilisées pour générer des modèles d'élévation numérique (DEM) avec une résolution de 1 x 1 m. Ces données ont été intégrées dans un SIG et analysées avec différents filtres à l'aide du logiciel QGIS (pente, ombrage) pour détecter les structures. Une série de cartes a également été générée pour représenter spatialement le littoral, les niveaux de marée et leurs positions à différentes périodes. Les niveaux de marée fournis par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) dans le rapport hydrographique ont été convertis en référence topographique français (exprimé en m asl pour « mètre au-dessus du niveau de la mer ») en utilisant les Références Altimétriques Maritimes (RAM, 2022). La position du littoral a été estimée pour différentes périodes en utilisant les données RSL de Garcia-Artola et al. (2018). Le littoral a été défini comme le niveau de marée astronomique le plus élevé (HAT).

À partir des DEM et des données dérivées, les coordonnées géographiques des structures identifiées ont été utilisées pour définir précisément l'emplacement des plongées. Sur la plus grande structure (TAF1), une ligne pondérée de 110 m de long a été posée pour faciliter les mesures et l'identification. Chaque plongée a été filmée en vidéo HD, à partir de laquelle des images fixes ont été extraites. Tous les 2 m, un flotteur était positionné à 80 cm au-dessus de la ligne pour faciliter les mesures et la visualisation vidéo. Un modèle photogrammétrique 3D d'un monolithe a été créé à l'aide du logiciel Agisoft Metashape. Les positions précises des éléments remarquables ont été enregistrées à l'aide d'un flotteur équipé d'un GPS déclenché manuellement à partir du bas par une connexion filaire. Les positions géographiques ont été corrigées pour la dérive (entre 2 et 4 m) du flotteur vers le sud à marée basse et vers le nord à marée de crue.

Au total, huit opérations de terrain ont été réalisées entre 2022 et 2024, représentant 59 plongées individuelles effectuées par dix plongeurs SAMM. Les plongées ont été effectuées à la fois pendant la période estivale pour profiter des conditions météorologiques et pendant la période automne-hiver pour profiter de l'absence de couverture d'algues. La durée moyenne de chaque plongée était de 35 minutes. Les contraintes locales (courants forts, houle, vent et abondance d'algues en été, température de l'eau en hiver, nombreux récifs émergents et submergés) ont exigé que l'équipe de plongée soit très réactive afin de s'adapter à l'évolution rapide du temps et des conditions océaniques dans ce secteur. Les plongées ont été effectuées principalement pendant les marées de morte-eau lorsque les courants de flux et de reflux sont à leur minimum.

Résultats

Analyse morphologique des DEM

Quatre structures (nommées TAF1, TAF2A, TAF2B et TAF3) ont été identifiées sur la base de l'analyse des DEM dans le secteur de Toul ar Fot (TAF). Elles sont situées à 1,9 km à l'ouest de l'île de Sein et à mi-chemin entre les bords nord et sud du plateau sous-marin (*Figure 1*). Elles sont réparties sur une zone d'environ 600 m de long (*Figures 2 et 6*) et correspondent à des anomalies de relief locales, sans lien direct avec l'orientation des structures géologiques. Elles forment ainsi une série de crêtes linéaires perpendiculaires à l'axe des vallées qui perturbent le plateau granitique.

Toul ar Fot 1 (TAF1)

Le mur TAF1 est le mieux conservé des structures détectées. Il forme un relief linéaire orienté E-W de 120 m de long qui ferme la partie supérieure d'une vallée orientée NW-SE (*Figures 1 et 2*). TAF1 est délimité à l'ouest par les récifs d'Ar Fot Bras et d'Ar Fot Blad (*Figure 3*). Vers l'est, il se termine sur le haut fond de TAF. La largeur moyenne de la structure est de 20,9 m. Les sections transversales (*Figure 4*) montrent une asymétrie claire sur toute sa longueur. Sur le flanc sud, la pente est raide et la rupture dans la pente, qui est clairement marquée, est en moyenne de 7,2 m du sommet. Sur le flanc nord, la pente est régulière jusqu'à environ 20 m de la crête. Les sections transversales montrent une hauteur moyenne de 1,7 m au nord (max. 2,1 m) et 1,4 m au sud. La partie plate du sommet mesure 1 à 5 m de large (moyenne de 2,6 m) (*Figure 4*).

La section longitudinale (*Figure 9*) montre que ce mur est composé de deux parties, nommées TAF1A et TAF1B. La partie inférieure au centre (TAF1A) s'étend sur 90 m et forme une barrière continue entre les deux côtés de la vallée. Les profondeurs au sommet de TAF1A varient entre -6,5 et -7,1 m asl. La partie supérieure à l'ouest (TAF1B) s'étend sur environ 40 m et s'élargit vers la fin de la structure. TAF1B est situé à des profondeurs comprises entre -5,7 et -6 m asl. Compte tenu des profondeurs moyennes du sommet, TAF1A (-6,8 m d'altitude) et TAF1B (-5,8 m d'altitude) ont une différence de hauteur de 1 m.

Toul ar Fot 2 (TAF2)

Les structures de TAF2A et TAF2B sont situées à 90 m au nord-est de TAF1 à l'extrémité sud d'une vallée de 100 m de large, orientée NW-SE (*Figure 2*). TAF2A, orienté à N52°E, barre partiellement la vallée sur près de 50 m. Le sommet est à une profondeur moyenne de -6,2 m als. La hauteur est comprise entre 0,8 et 2 m. En section transversale (*Figure 4*), le relief de TAF2A est légèrement asymétrique. Les pentes sont régulières, sans rupture marquée du côté nord, alors qu'elle est clairement visible à une profondeur de -8,2 m als du côté sud. La largeur de la base varie entre 6 et 16 m. La partie plate en haut a une largeur d'environ 3 m. La structure TAF2B s'étend sur environ 50 m vers le SW, orientée N23°E, elle forme un angle de 29° avec TAF2A. Son extrémité est séparée d'environ 50 m de l'extrémité de TAF2A. Comme TAF2A, TAF2B ne barre que partiellement la vallée. Son sommet est situé à une profondeur moyenne de -6,6 m als. En section transversale (*Figure 4*), le relief est asymétrique. Les pentes sont régulières et la rupture dans la pente est claire à la base. La largeur de la base varie entre 14 m et 17 m. TAF2B se distingue par un plateau de sommet de 4 m à 8 m de large. La hauteur au nord (1,6 à 2,2 m) est plus élevée que la hauteur au sud (1 à 1,7 m). TAF2B est en fait un petit horst naturel entre deux



Figure 2. Secteurs Toul ar Fot et Yan Ar Gall. A : Carte bathymétrique et position des structures Toul ar Fot (TAF) et Yann ar Gall (YAG). Voir la figure 1 pour l'emplacement de la carte. Les contours d'élévation noirs sont espacés de 0,5 m. Les profondeurs sur les courbes sont données en mètres au-dessus du niveau de la mer (asl). Le littoral actuel (courbe blanche épaisse) et le niveau de marée astronomique le plus bas (courbe rouge) sont également affichés. Les noms soulignés en bleu turquoise indiquent les murs qui ont été explorés par les plongées. B : Vue panoramique prise du haut du phare de l'île de la Sein, montrant la ligne de récif de Sein (voir figure 1) à marée basse. Les limites nord et sud de ce plateau granitique sont indiquées par les lignes pointillées grises. La position des structures explorées pendant les plongées est indiquée par leur nom et par les lignes pointillées blanches. Les noms des phares et des tours de navigation sont indiqués en noir (Auteurs).

failles NE-SW parallèles. La structure TAF2A masque localement ces failles, qui se poursuivent sur plusieurs centaines de mètres vers le SW (Figure 5).

Toul ar Fot 3 (TAF3)

La structure TAF3 est située à 330 m à l'est de TAF1 (Figures 2 et 6). Orienté E-W, elle fait 80 m de long et barre une petite dépression allongée dont le bord ouest est formé par une longue faille NE-SW. Le sommet est à une profondeur de -6,9 m asl (min. 6,2 m) et la base du côté sud est de -8,2 m asl de profondeur (max. -8,8 m asl). La hauteur moyenne est de 1 m (0,3 à 1,7 m). En coupe transversale (Figure 4), la structure de la pierre est symétrique et la pente est irrégulière de chaque côté. La largeur de la base varie de 10 à 23 m (moyenne de 16,6 m). Ce fait, associé à la grande variation de hauteur, donne l'impression d'une structure plus érodée et étalée

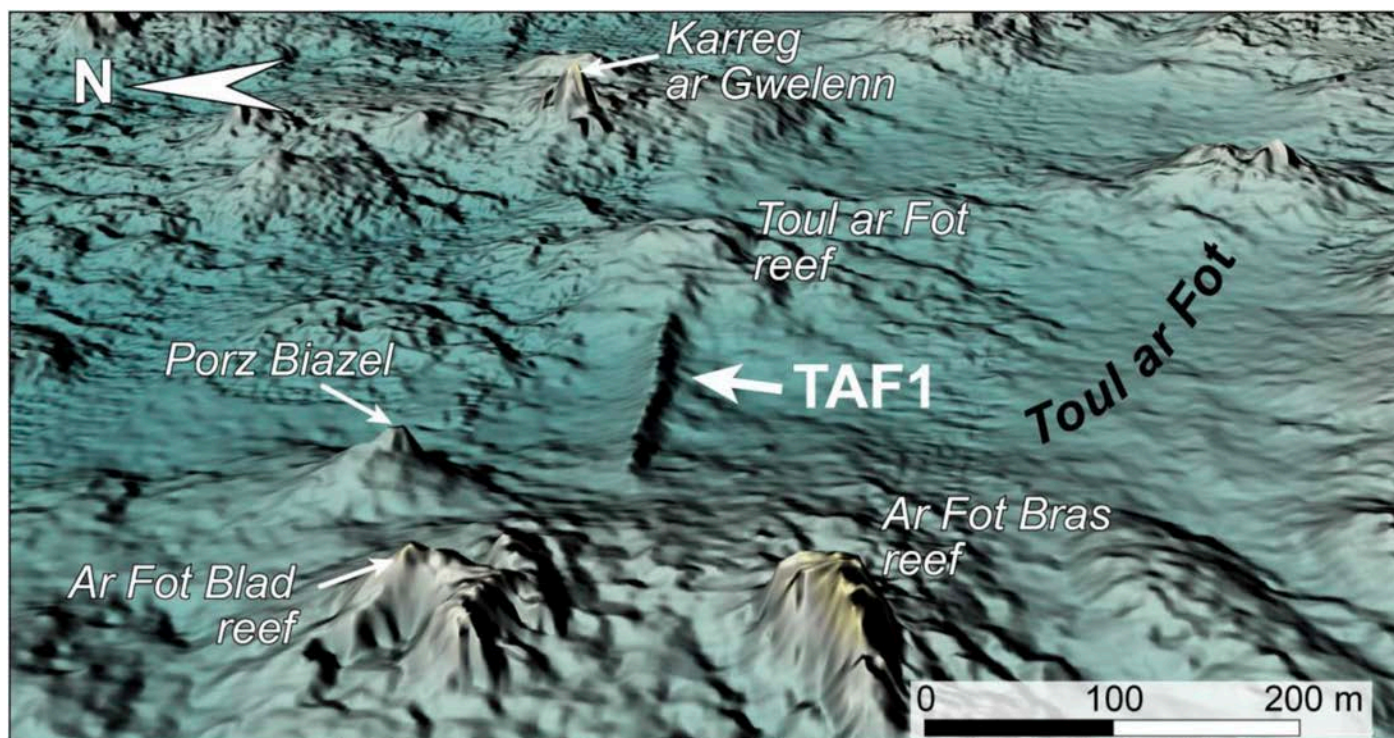


Figure 3. Vue 3D des structures TAF1. Vue à l'est montrant la linéarité des structures et la disymétrie des flancs nord (gauche) et sud (droite). Exagération verticale = 3. La couleur brune visualise les récifs qui émergent en permanence au-dessus du niveau actuel de la mer (Auteurs).

que les autres murs. La partie plate en haut a une largeur moyenne de 3,3 m.

Structures en pierre de la zone YAG

À environ 300 m à l'est de TAF3, près de la tour de navigation Yann Ar Gall (YAG), il y a cinq structures en pierre nommées YAG1, YAG2, YAG3A, YAG3B et YAG3C (*Figures 2 et 6 ; Tableau 1*). Les structures YAG1 et YAG2 sont situées respectivement sur les bords ouest et est d'une vallée NW-SE. Ils sont soutenus par les récifs qui bordent la vallée. YAG2 a une forme incurvée adaptée au relief sur lequel il est construit. YAG3A et YAG3B forment deux reliefs linéaires apparents, à des profondeurs différentes, la même vallée orientée NW-SE. YAG3B forme un barrage de 48 m de long et d'environ 10 m de large. Le sommet est à une profondeur de -5,4 m asl et la base à -6,5 m asl. YAG3C, à environ 40 m à l'ouest de YAG3B, est une structure en pierre orientée E-W perpendiculaire à la pente sur le flanc ouest de la vallée (*Figure 6*). À l'exception de YAG3B, les faibles hauteurs et largeurs de ces murs (*Tableau 1*) par rapport à ceux de TAF suggèrent qu'il s'agit d'anciennes pêcheries.

Observations de plongée

Les plongées organisées par le SAMM en 2022 (été), 2023 (hiver) et 2024 (automne) ont confirmé l'origine anthropique des structures TAF1, TAF2A, TAF3, YAG1, YAG2, YAG3B et YAG3C.

Structure de TAF1, TAF2a et TAF3

TAF1 est composé de blocs de pierre empilés mesurant quelques décimètres. Ces blocs facilitent la fixation d'algues annuelles, les *Saccorhiza polysides*, qui masquent complètement la structure de la pierre en été. Au sud et au nord, le mur est bordé d'une plaine de gravier et de petits cailloux recouverts d'algues calcaires incrustées. Sur le côté ouest, la largeur est de 10 à 12 m et la hauteur atteint jusqu'à 2 m. Pendant l'hiver 2023, l'absence d'algues a permis d'observer TAF1 et TAF2A sur toute leur longueur et de confirmer la continuité et la linéarité des structures. Aucune écluse n'a été observée. Le bord est de TAF1 se termine sur le granite in situ, dont les formes arrondies indiquent une érosion naturelle.

La découverte la plus remarquable est la présence de nombreux monolithes verticaux et dalles érigées sur les sommets de TAF1 et TAF2A (*Figures 7 et 10*). Sur TAF1, les monolithes, qui dépassent localement 1,7 m de

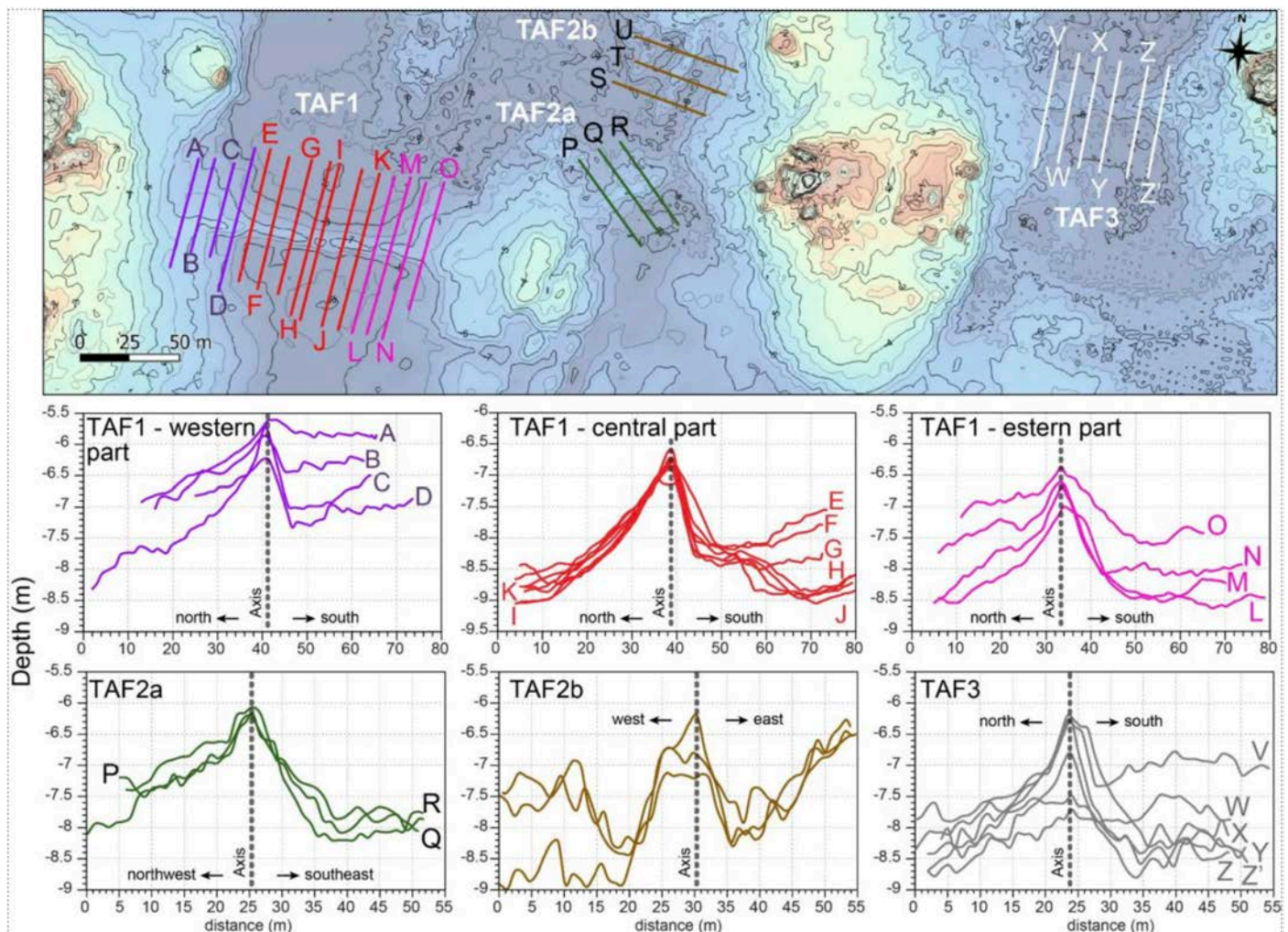


Figure 4. Sections transversales des quatre principales structures de Toul ar Fot (TAF1, TAF2 et TAF3). La position des sections sur la carte est indiquée par des lignes de couleur et des lettres (Auteur).

Sites	Length m	Elevation of the top (m asl)	Elevation of the base (m asl)	Maximum height m	width at the base m	Width at the top m
YAG1	66	6.5	7.2	0.8	< 5	-
YAG2	100	8.1	9.4	1.3	8	2.0
YAG3a	55	6.9	8.0	1.1	15	4.0
YAG3b	48	5.4	6.5	1.1	<10	2.5
YAG3c	50	4.9	5.7	0.8	<3	2.0

Tableau 1. Données morphométriques des structures en pierre de Toul ar Fot (TAF) et Yan Ar Gall (YAG).

hauteur, sont alignés parallèlement à l'axe des structures de pierre. La position de 62 monolithes et de grandes dalles a été identifiée par GPS. Dans les zones les mieux conservées, les monolithes forment deux lignes parallèles espacées d'environ 1,5 m d'intervalle. Certains monolithes sont inclinés, ou, plus rarement, posés par l'action de la houle. Les grandes dalles, de moins de 1 m de haut, sont disposées verticalement entre les monolithes (Figure 10-B). De nombreuses petites dalles verticales peuvent être vues dans la partie supérieure de la structure (Figure 11-A et B). L'espace entre les monolithes et les dalles est rempli de blocs angulaires (Figure 11-C). Les cailloux sont généralement rares, mais parfois abondants dans la partie occidentale. La densité la plus élevée de monolithes et de dalles se trouve à l'ouest sur TAF1B. Les monolithes les plus hauts (>1,5 m) sont également situés dans cette zone. À l'extrémité ouest de TAF1B, il y a une plus grande abondance de dalles

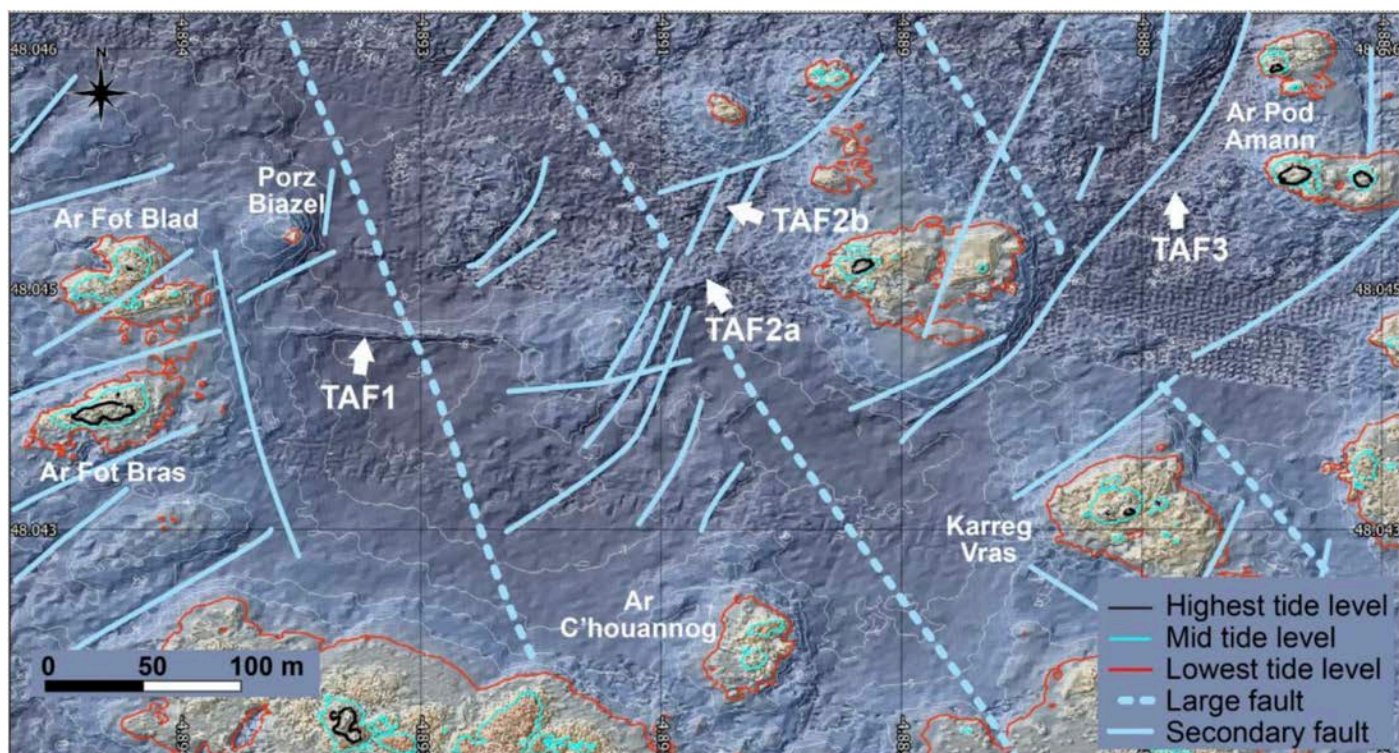


Figure 5. Cassures présentes dans le secteur Toul ar Fot. Les lignes pointillées bleu clair représentent de grandes failles régionales NW-SE sur l'ensemble du plateau granitique (voir la figure 1 pour l'emplacement). Ces failles forment des dépressions plus ou moins droites qui créent les canaux entre le nord et le sud de la crête granitique. Les lignes bleues continues correspondent à des défauts NE-SW secondaires. Les directions de TAF1, TAF2A et TAF3 sont obliques par rapport à ces structures. TAF2B est parallèle et en continuité avec une série de 3 failles NE-SW situées entre TAF1 et TAF2A. TAF2A chevauche et masque le chemin de ces défauts (Auteurs).

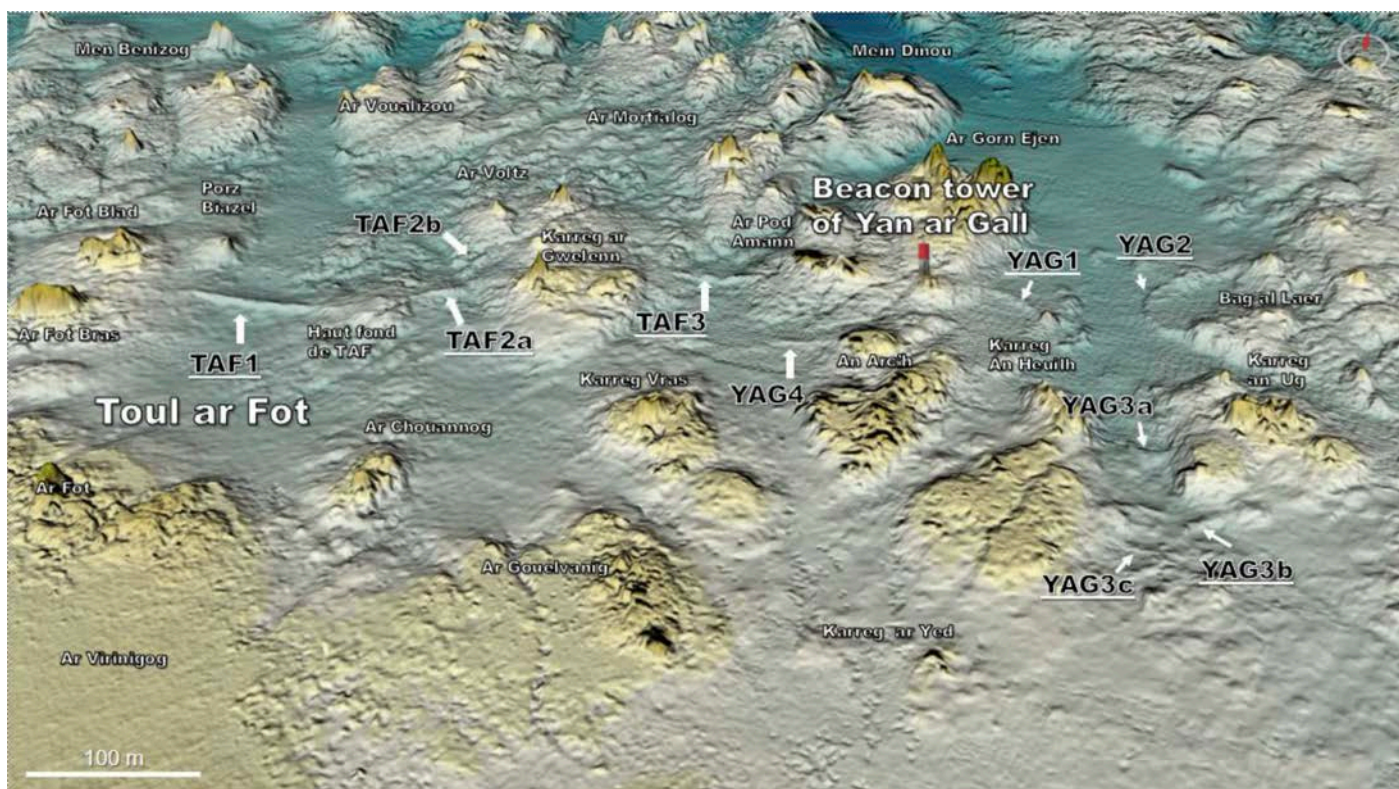


Figure 6. Vue 3D de toute la zone TAF et YAG. Emplacement des structures de pêcheries (YAG1, YAG2, YAG3 a, b et c) à l'est et de la structure Toul ar Fot (TAF1, TAF2, TAF3) à l'ouest. Les couleurs jaunes correspondent aux hauts fonds actuel. Les noms soulignés indiquent les structures explorées par la plongée (Auteurs).

horizontales. Dans cette zone, le mur se termine par s'élargir en un plateau perpendiculaire à la pente naturelle du terrain.

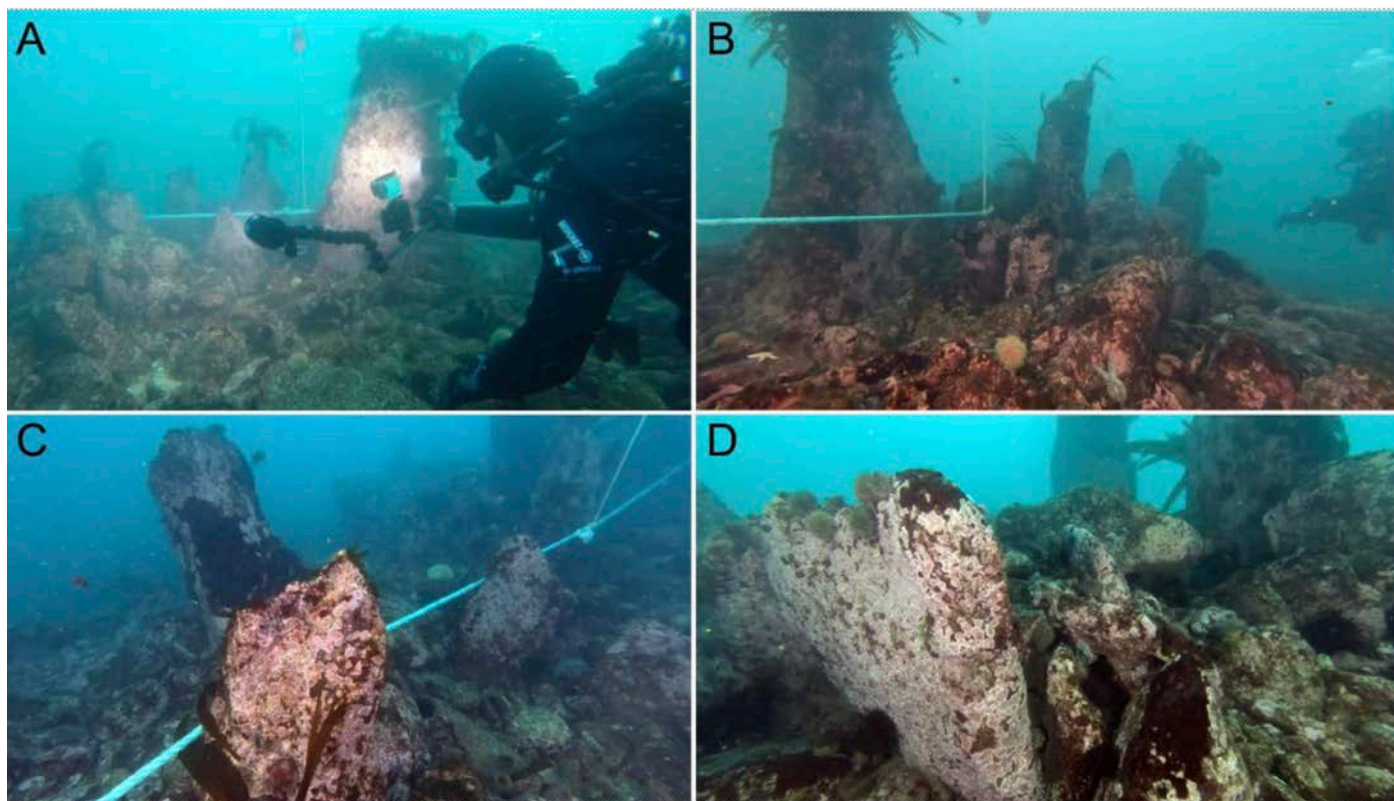


Figure 7. Photos prises sur la structure TAF1 pendant l'hiver 2023. Notez l'absence totale d'algues par rapport à la période estivale. La corde verte, déployée le long de l'orientation E-W de la structure, permet de visualiser le sommet ainsi que l'orientation des monolithes et des dalles. A et B : vue générale des rangées de monolithes au sommet de la structure. C et D : double rangée de monolithes au sommet de la structure TAF1. Les deux rangées parallèles à l'axe de la structure sont à environ 1,5 m l'une de l'autre. Sur la photo C, la corde est placée entre les deux rangées (crédits photo : SAMM, 2023).

Deux plongées hivernales ont révélé que TAF2A a une architecture similaire à celle de TAF1 et consiste en une accumulation de blocs renforcés par des monolithes émergeant à un maximum de 1 m du sommet. TAF2A ne bloque pas complètement la vallée, les plongées ont révélé un arrêt brutal de la structure en son centre. TAF2B n'a pas encore été exploré par la plongée pour vérifier si le petit horst naturel est complété par un afflux de blocs. Sur TAF3, une seule plongée exploratoire, réalisée en été, a confirmé la nature construite du mur, consistant en une accumulation linéaire de blocs.

Structure de YAG1, YAG2, YAG3B et YAG3C

Les plongées entreprises en septembre 2024 ont confirmé que YAG1 et YAG2 sont des alignements de blocs à l'écart de la fin des petites dépressions. Les algues de type laminaria, uniquement attachées aux blocs et absentes des accumulations de sable et de gravier à la base des structures, établissent leur position. Les hauteurs mesurées pendant les plongées varient entre 0,6 m et 1 m sur YAG1 et entre 0,4 et 1,1 m sur YAG2. Ces mesures in situ sont cohérentes avec les hauteurs mesurées à partir des DEM. La hauteur variable reflète un aplatissement de certaines parties des barrages, ce qui explique la largeur de près de 10 m dans certaines zones. Nous considérons que les hauteurs maximales mesurées sont proches de la hauteur initiale des structures en pierre. Les blocs sont de taille décimétrique, quelques petits monolithes (~70 cm de haut) debout ou couchés sont observés sur YAG2 ; tandis que d'autre part, YAG1 est entièrement constitué d'une accumulation de blocs de la taille d'un décimètre sans dalles ni monolithes.

Les structures de YAG3B et YAG3C ont été explorées lors de plongées en novembre 2024. Sur YAG3B, les mesures prises pendant les plongées révèlent des hauteurs actuelles comprises entre 0,9 et 1,5 m. La zone centrale est relativement étendue et aplatie sous la forme d'un tas de blocs. Les bases sont constituées d'une accumulation de gravier et de petits cailloux. YAG3B est plus fortement affecté par les vagues parce qu'il est plus exposé aux grandes houles du sud que les structures TAF. La nature anthropique est mise en évidence par la linéarité du relief qui éloigne la vallée, ainsi que par la présence de petits monolithes droits (<1 m de haut) avec de petites dalles verticales au centre et quelques grandes dalles inclinées au bord (Figure 8).



Figure 8. Photos prises sur les structures de YAG3c (A à F) et YAG3c (G à I) en novembre 2024. A : Vue générale de la structure YAG3c depuis le côté nord, montrant l'alignement de petits monolithes (flèches blanches). Notez que la forme complexe du sommet des monolithes est due aux bulbes de base des algues annuelles du type de *Saccorhiza polyshides*. B : Alignement des monolithes (flèches) dans l'axe de la structure, visualisés par la ligne blanche. Remarquez, à droite, l'accumulation de sable au pied du mur. C et D : Monolithes et dalles verticales espacées régulièrement le long de la structure. E : Zone plus complexe montrant au moins deux lignes de monolithes. F : Mur étroit et non perturbé, d'environ 70 cm de haut. Dans cette zone, les monolithes ne sont pas visibles, probablement parce qu'ils n'ont pas été exposés par l'érosion. La base est mise en évidence par une accumulation de sable. G : Dalles verticales dans l'axe de la structure YAG3c. H : Alignement des monolithes et des dalles verticales. I : Dalles adjacentes appuyées sur le bord du mur. Notez l'accumulation de sable et de gravier à la base à gauche de la structure. (Crédits photo : SAMM, 2024).

Sur la structure du YAG3C, les mesures prises pendant les plongées révèlent une longueur de 50 m, une hauteur maximale de 0,7 m et une largeur de quelques mètres seulement. Cette structure en pierre, qui est relativement bien préservée, se compose d'une ligne de nombreux petits monolithes d'une hauteur maximale de 70 cm et d'un espacement d'environ 1 m (Figure 8). Par endroits, ces monolithes semblent être organisés en deux ou trois lignes parallèles. Dans les zones les mieux conservées, les monolithes ne sont pas visibles à la surface, ce qui suggère qu'ils forment le cadre central d'un mur composé d'une accumulation de blocs. Par endroits, les monolithes sont remplacés par de petites dalles plantées verticalement sur leur bord.

Classification morphologique des blocs de la paroi TAF1

Sur la base des observations lors des plongées, quatre principaux types de blocs rocheux ont été identifiés sur la structure TAF1 : monolithes, grandes dalles, petites dalles et rochers.

Monolithes

Les blocs verticalement dressés au sommet des structures que nous avons appelés « monolithes » ; dont la hauteur est supérieure à leur largeur. Sur TAF1, ils sont faits de pierre brute naturellement formés de dalles grossières le long des plans des articulations ou de la compression. Ils peuvent avoir près de 2 m de haut et presque 1 m de large. L'épaisseur, contrôlée par l'espacement des articulations, est estimée entre 0,2 et 0,4 m. Pour plusieurs monolithes, la partie supérieure est plus étroite que la base (Figure 10-A). Leur plus grande largeur est allongée le long de l'axe de la structure. Certains monolithes ont la forme de parallélépipèdes (Figure 10-C, D,

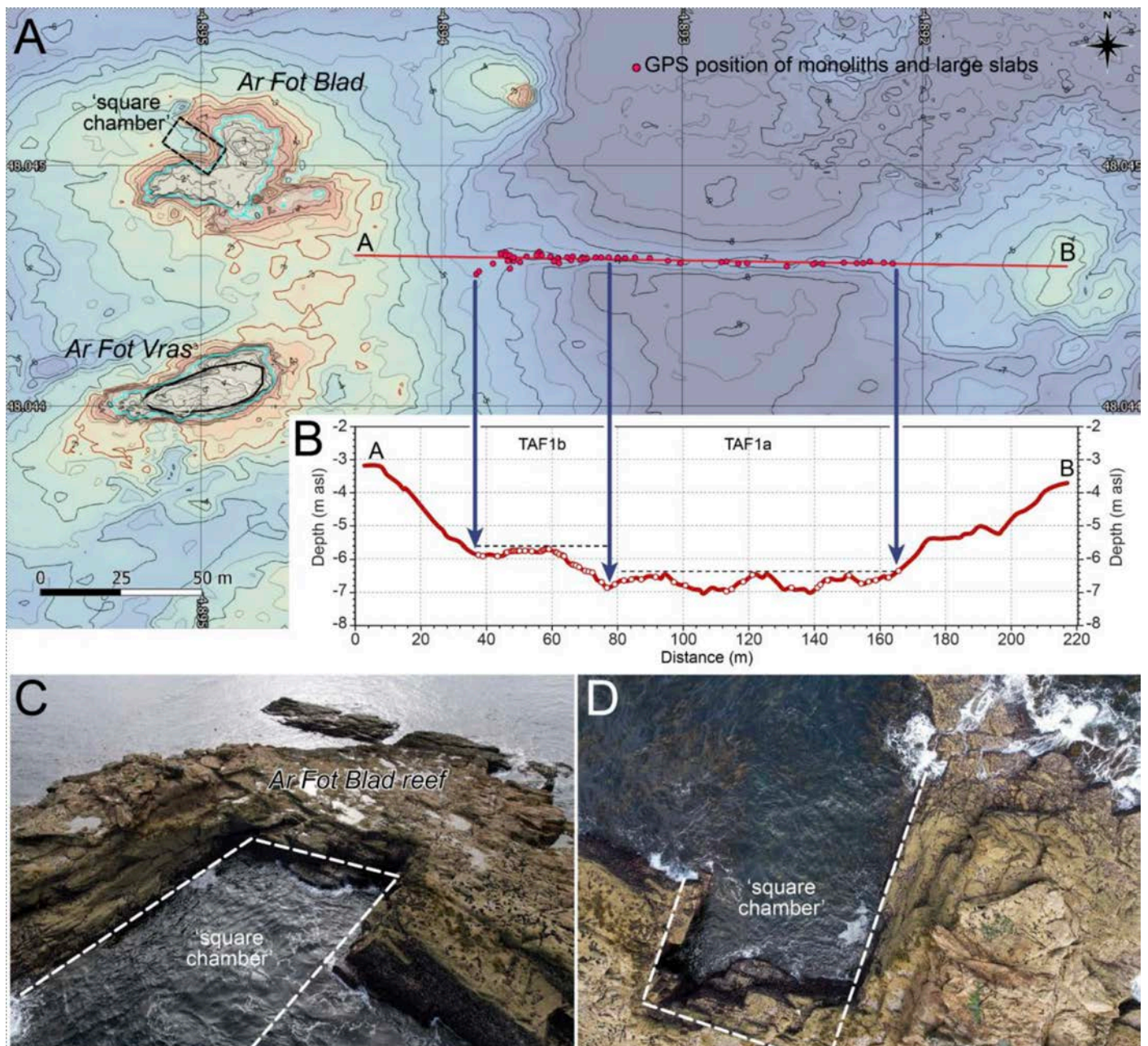


Figure 9. Position des monolithes et des grandes dalles le long de la structure TAF1. A : Carte bathymétrique de TAF1 avec des contours d'élévation espacés de 0,5 m. B : profil topographique longitudinal de la structure le long de la ligne A-B. Notez l'existence de deux plateaux, marqués par leurs points élevés à -6,5 et -5,7 m asl, sur lesquels se trouvent les monolithes. Sur le côté ouest du récif d'Ar Fot Blad (50 x 50 m), il y a une indentation rectangulaire de 25 x 10 m et 7 m de profondeur (rectangle noir sur la figure). Les bords angulaires de cette cavité n'ont pas les formes arrondies caractéristiques de la longue érosion des récifs (voir les deux images de drones), ce qui en fait une structure anormale que certains plongeurs ont appelée la « chambre carrée ». Dans cette zone, les joints serrés permettent un fractionnement naturel en dalles et en blocs parallélipédiques. Cette fosse rectangulaire n'est pas non plus remplie de blocs arrachés aux structures. Ces caractéristiques suggèrent qu'il pourrait s'agir d'une extraction à seulement 100 m de l'extrémité ouest du TAF1. C et D : Vue aérienne de la chambre carrée correspondant à une éventuelle zone d'extraction de dalles et de monolithes sur le récif Ar Fot Blad (Crédits photo : SAMM, P. Corre, 2024).

E). Le plus grand a une forme régulière à section rectangulaire ($\sim 0,5 \times 0,3$ m), et les quatre bords sont à angle droit sur toute la hauteur, estimée à 1,5 m.

Grandes dalles

Les grandes dalles sont définies comme des blocs dont la largeur (>1 m) est supérieure à leur hauteur (Figure 10-B) et dont l'épaisseur est de quelques dizaines de centimètres. Comme les monolithes, les grandes dalles sont divisées le long des fractures naturelles qui contrôlent leur épaisseur. Plusieurs grandes dalles verticales sont alignées et jointes entre les monolithes (Figure 10).

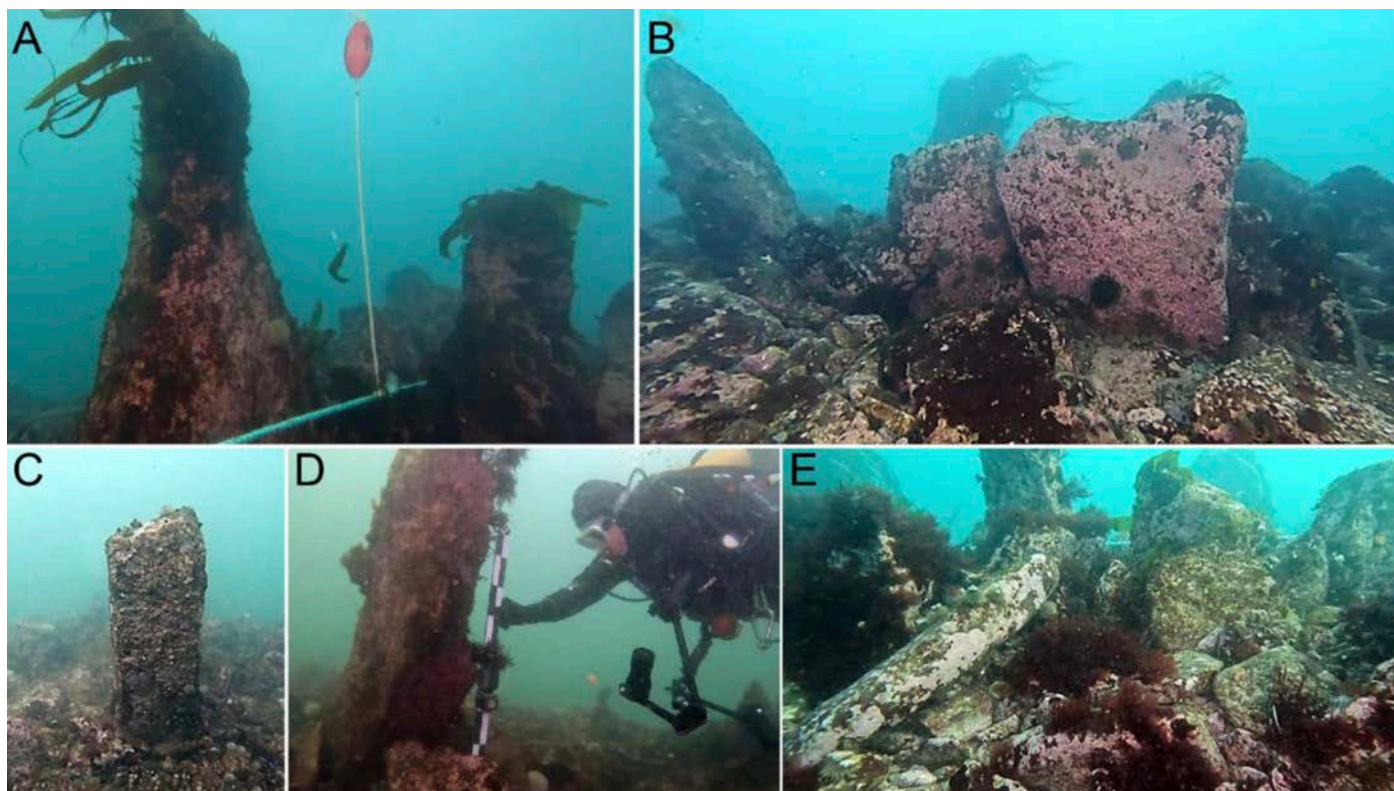


Figure 10. Photos prises sur TAF1 pendant l'hiver 2023. Monolithes au sommet de la structure TAF1. A : au premier plan à gauche, un monolithe avec des bords parallèles dans sa partie supérieure et une base élargie. Arrière-plan à droite : monolithe avec bords parallèles. B : deux grandes dalles verticales jointes et alignées le long de l'axe du mur et avec le monolithe à gauche. Le monolithe en arrière-plan, au centre de la photo, correspond au deuxième alignement. C : Monolithe en forme de parallélépipède au sommet du mur, 1,5 m de haut. D : mesure de la hauteur d'un monolithe, la tige maintenue par le plongeur mesure 1 m de long. E : à gauche, un monolithe couché en forme de broche, montrant une largeur régulière de haut en bas (crédits photo : SAMM, 2023).

Rochers

Les blocs mesurant quelques dizaines de centimètres forment le volume principal des murs. Ils remplissent l'espace entre les deux rangées de monolithes et forment les pentes asymétriques externes. Ils n'ont pas d'organisation particulière au sein de la structure de la pierre (*Figure 11-C*). Les blocs sont de forme angulaire avec des bords légèrement arrondis. Leur forme angulaire minimise le mouvement et donne à l'ensemble du mur une plus grande cohésion. Leurs dimensions signifient qu'ils peuvent être mobilisés par de fortes houles et qu'ils pourraient être partiellement répartis de chaque côté des structures. Les blocs tirés de TAF1 et TAF2A (*Figure 12*) sont composés de deux types de granite : I) un granite beige clair avec des grains grossiers, identique au granite porphyroïde formant les récifs, et II) un granite gris à grains fins et enrichi en biotite. Le deuxième type représente 80 % des échantillons étudiés. Ce type de granite forme les zones basses autour de l'île et les récifs.

Discussion

Aspects architecturaux

Les structures en pierre de Toul ar Fot sont de grande taille et représentent des constructions complexes qui n'ont pas d'équivalent connu à ces profondeurs dans l'ouest de la France (**Billard et al., 2016, 2020**). Les bar-rages TAF1 et TAF3, reliés à leurs extrémités à des affleurements rocheux, correspondent aux types A et B tels que définis par **Langouët et Daire (2009)** (*Figure 13*). Pour TAF2A et TAF2B, une seule extrémité est soutenue par une roche naturelle. Dans la typologie de **Langouët et Daire (2009)**, ce type (type D) n'est mentionné que pour les environnements sédimentaires, ce qui n'est pas le cas chez TAF.

Il existe des similitudes architecturales entre ces structures et les pêcheries décrites dans l'archipel de Molène, à 40 km au nord de l'île de Sein (**Gandois et al., 2018**). Cependant, leurs dimensions (35 à 400 m de long, 0,4 à 1,25 m de haut et 0,5 à 1,5 m de large) sont petites par rapport aux plus grandes structures TAF. Dans l'archipel de Molène, les pièges à poissons sont principalement composés de dalles verticales. Ils sont construits en une

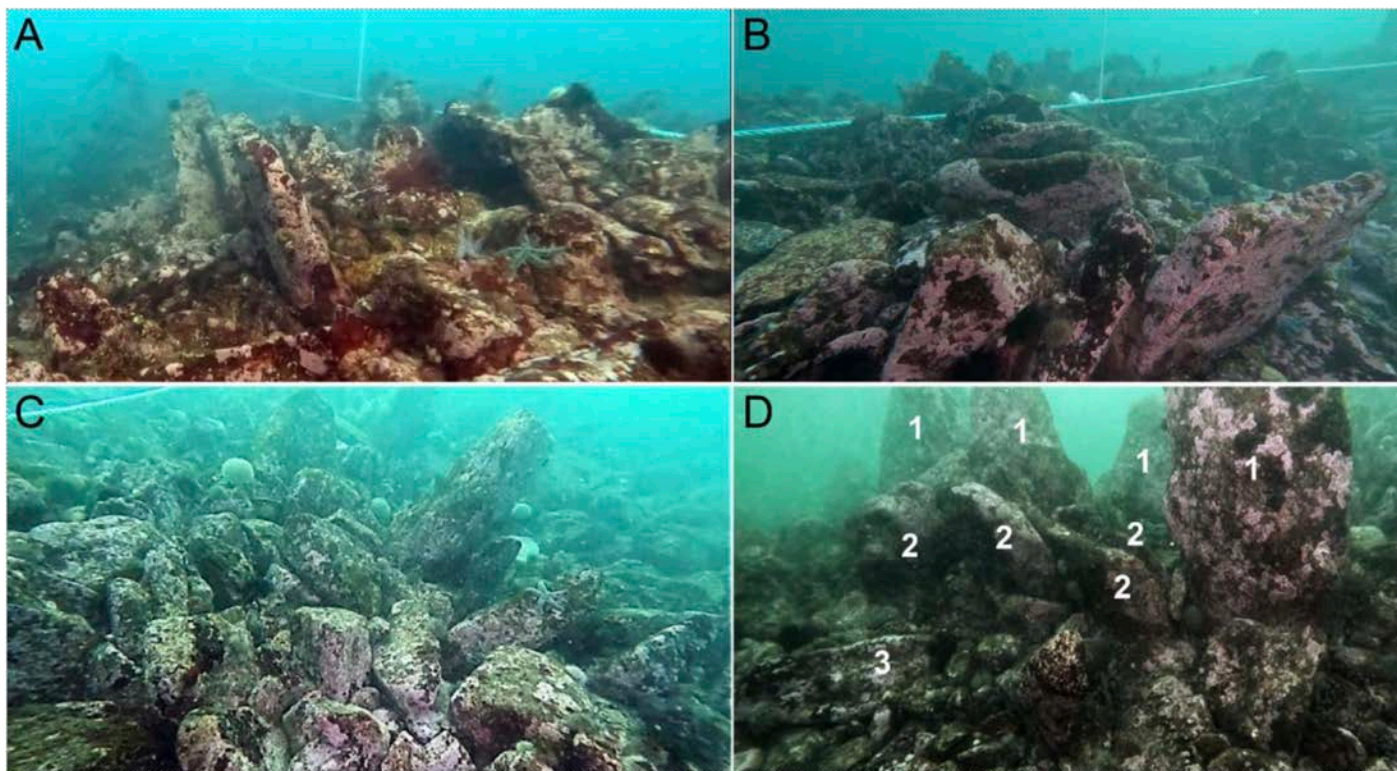


Figure 11. Photos prises sur TAF1 pendant l'hiver 2023. A et B : petites dalles verticales placées côte à côte et parallèles à l'axe. Observé en haut et sur les côtés supérieurs de la structure TAF1. Sur les côtés, les dalles sont perpendiculaires à la pente et, par conséquent, sont inclinées vers le nord du côté nord et vers le sud du côté sud du mur. La corde verte, placée sur le sommet, montre l'axe du mur. C : accumulation de blocs angulaires et légèrement contondants, mesurant quelques dizaines de centimètres et débordant de la majeure partie du mur. D : (1) rangée de monolithes verticaux ; (2) dalles verticales, entre les monolithes ; (3) blocs composés du mur (Crédits photo : SAMM, 2023).

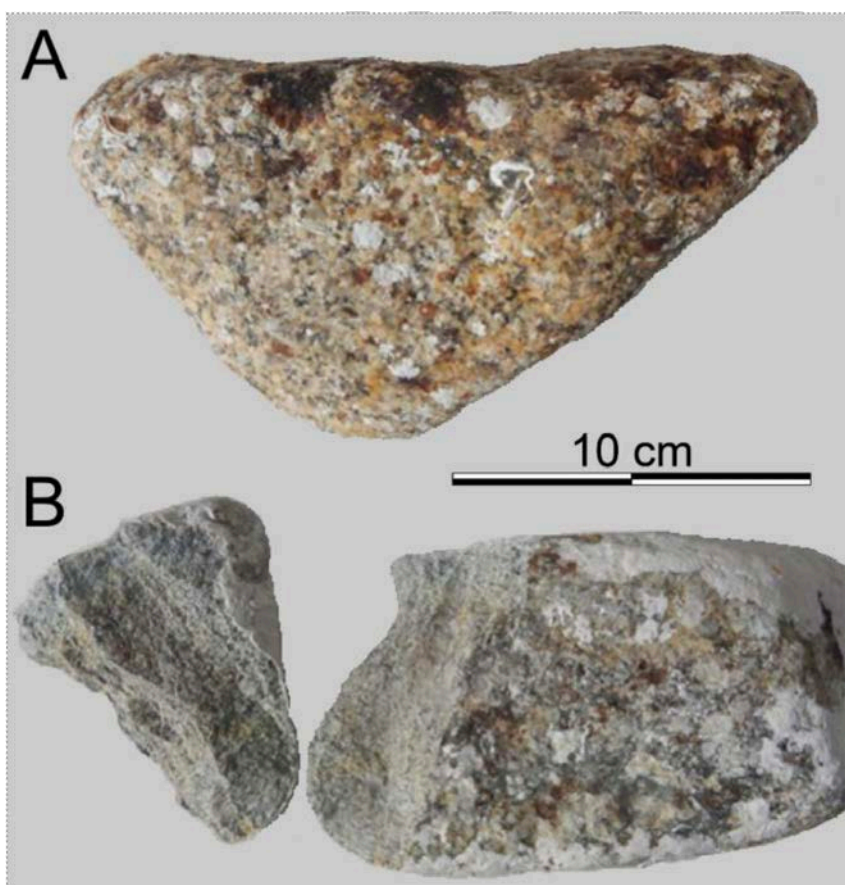


Figure 12. Rochers prélevés sur le mur TAF1. A : bloc de granite porphyroïde grossier avec des bords légèrement arrondis. Cette façade de granite correspond aux roches les plus résistantes qui forment les récifs émergents. B : Bloc brisé de granite gris à grain fin enrichi de micas noirs (biotite). Cet aspect plus doux et plus fracturé caractérise les zones plates et basses de la rive de l'île de Sein. Les plongées SAMM montrent que ce faciès s'étend vers l'ouest entre les récifs (crédits photo : Y. Fouquet).

ou deux rangées de grandes dalles parallèles à l'axe de la structure. Dans certains cas, de petites dalles verticales adjacentes entourent et protègent le remplissage du bloc. Les plus grandes pierres se trouvent dans les barrages les plus profonds. Les blocs de remplissage peuvent être coincés en place avec des cailloux. La plus ancienne pêcherie (Pen Ven Vihan) est située à une profondeur de -8,4 m asl et on estime qu'elle a été construite entre

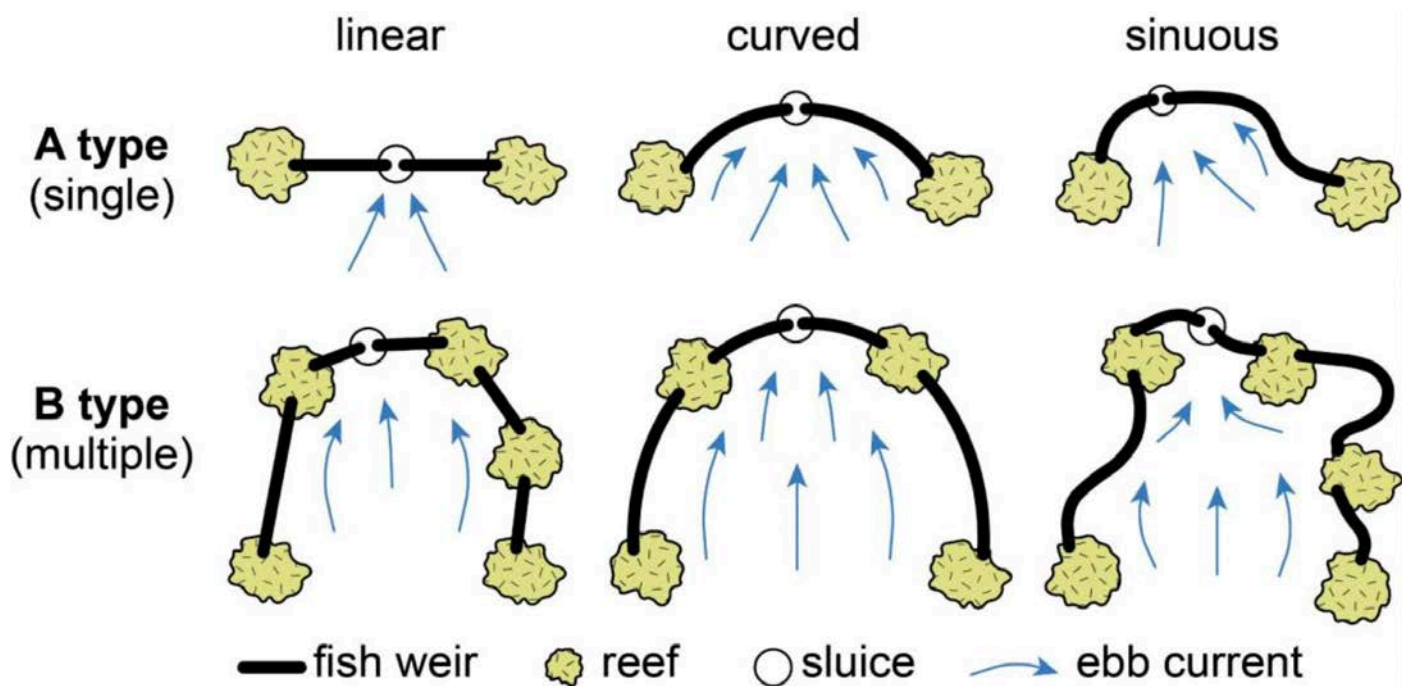


Figure 13. Pêcheries de type A et B construits dans des zones rocheuses et des formes principales (modifiés après Langouët & Daire, 2009).

5750 et 5300 cal. BCE (âge médian de 5450 cal. BCE) (Gandois et al., 2018 ; Stéphane et al., 2019).

Dans la zone TAF, les mêmes techniques de construction semblent avoir été utilisées, mais de manière plus élaborée. La présence de monolithes est remarquable et n'a été décrite dans aucun autre barrage de Bretagne, où seules de grandes dalles constituent le principal renforcement des pièges à poissons. Dans le cas de TAF1, TAF2 et YAG3C, la partie interne de la structure est consolidée par une série de monolithes verticaux espacés de quelques mètres. Sur TAF1, les monolithes sont disposés en deux lignes parallèles à 1,5 m d'intervalle. De grandes dalles verticales complètent le renforcement entre deux monolithes (Figure 10). Dans TAF 1 et 2, les petits blocs constituent la majeure partie des structures. Ils remplissent l'espace entre les deux lignes de monolithes et de grandes dalles. Cependant, le plus grand volume de blocs est disposé à l'extérieur pour former une structure large et asymétrique. Les petites dalles adjacentes posées verticalement au sommet rappellent le style architectural que l'on trouve dans l'archipel de Bréhat sur la côte nord de la Bretagne, où un revêtement de grandes pierres verticales bloque le remplissage des blocs (Daire et al., 2009). La complexité architecturale observée à TAF ne se trouve pas dans les pêcheries de Bretagne. La disymétrie et la largeur du TAF1 suggèrent que la pierre a été délibérément ajoutée pour renforcer la résistance de la structure à l'hydrodynamique du côté nord, qui est exposé à la houle.

Les constructions de TAF ont résisté à l'érosion marine et à de fortes conditions hydrodynamiques, même pendant les tempêtes violentes. Le fait que les monolithes soient restés en position verticale après plusieurs milliers d'années implique un ancrage profond à l'intérieur des structures, peut-être jusqu'à leur base. Dans une telle configuration, les plus grands monolithes pouvaient atteindre 3 m de hauteur. Les dalles verticales, d'autre part, semblent être ancrées moins profondément et sont souvent observées dans une position inclinée ou horizontale. Sur TAF1, la disposition des blocs est suffisamment claire pour suggérer une interprétation des étapes de la construction (Figure 14). Le cadre initial des monolithes aurait été placé verticalement sur le substrat rocheux afin de structurer les constructions en pierre. Ensuite, l'ajout de blocs aurait commencé à former la forme asymétrique générale de la structure avant que les grandes dalles verticales ne soient posées. Enfin, les petites dalles verticales ont été placées côte à côte sur la surface au sommet pour renforcer la résistance aux vagues.

Nature et origine des roches

Monolithes et grandes dalles

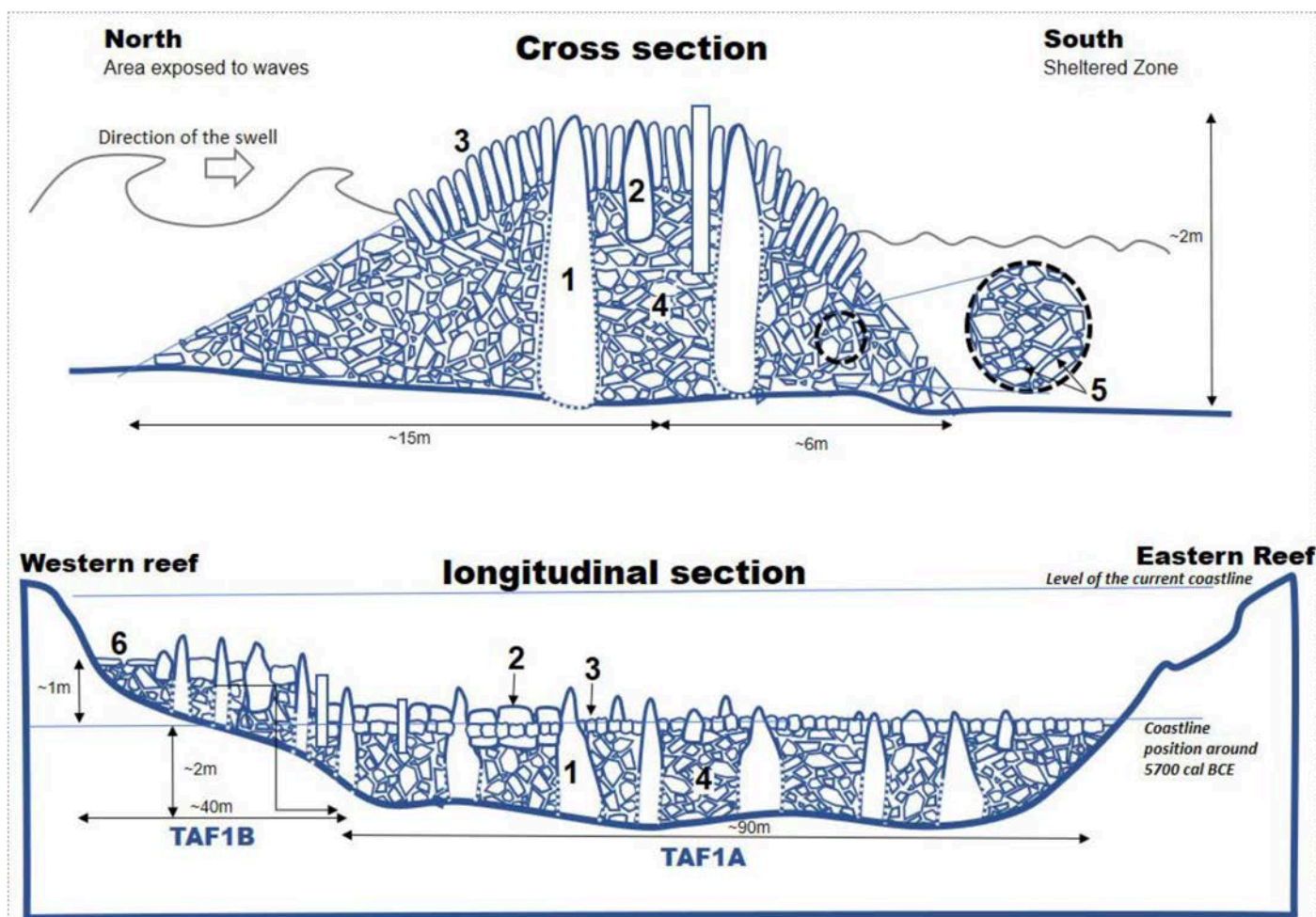


Figure 14. Diagrammes d'interprétation du mur TAF1 basés sur des observations de plongée et des sections sur les DEM. En haut : section transversale montrant la dysymétrie du mur et l'ancrage profond des monolithes. En bas : section longitudinale (voir aussi la figure 9) montrant l'organisation en deux niveaux (TAF1A et TAF1B). Exagération verticale = 3. 1 : monolithes ; 2 : grandes dalles verticales ; 3 : petites dalles verticales ; 4 : blocs angulaires ; 5 : cailloux utilisés pour stabiliser les blocs ; 6 : dalles horizontales (Auteurs).

En l'absence d'échantillonnage, il est difficile de déterminer concrètement la nature pétrographique des monolithes et des grandes dalles. Cependant, leur morphologie montre de fortes similitudes avec les mégalithes de l'île de Sein et suggère qu'ils sont également faits de granite porphyroïde. Ce type de granite forme les récifs du plateau rocheux marin (Fouquet et al., 1985). Le noyau des récifs de granite porphyroïde montre des joints espacés de quelques mètres et constitue une roche massive, résistante à l'érosion et difficile à extraire. Cependant, ce granite présente souvent des joints plus serrés à la périphérie des récifs. En outre, la proximité de grandes failles régionales induit un écrasement mylonitique E-W (Fouquet et al., 1985). Ces deux caractéristiques favorisent le fractionnement naturel des dalles. Ainsi, les monolithes et les dalles peuvent venir de récifs situés à quelques centaines de mètres des murs. Sur le côté ouest du récif Ar Fot Blad (50 x 50 m), situé à seulement 100 m de l'extrémité ouest de TAF1, il y a une indentation rectangulaire de 25 x 10 m et de 7 m de profondeur (Figure 9). Dans cette zone, les joints serrés permettent un fractionnement naturel en dalles et en blocs parallélipédiques. Les bords angulaires de cette cavité n'ont pas les formes arrondies caractéristiques de la longue érosion des récifs, ce qui en fait une structure anormale que certains plongeurs ont appelée la « chambre carrée ». Cette fosse rectangulaire n'est pas non plus remplie de blocs arrachés des murs. Ces caractéristiques suggèrent qu'il pourrait s'agir d'une zone d'extraction pour les dalles et les monolithes à seulement 100 m du mur TAF1.

Blocs de remplissage

Le granite à grain fin constitue la majorité des blocs prélevés sur les murs TAF. Ce faciès est densément fracturé par des articulations serrées et a été fortement fragmenté par l'action de gel-dégel pendant les périodes froides du Quaternaire. Ce processus explique le caractère angulaire des blocs. Leur faible degré d'émoussement indique que les blocs n'ont pas été transportés sur de longues distances. Les blocs ont d'abord été enfermés dans une matrice argileuse-sable et incorporés dans les dépôts de pente périglaciaire qui remplissaient partiellement les vallées et les dépressions de la Chaussée de Sein. Ces formations de surface, de moins d'un mètre d'épais-

seur, sont encore clairement visibles dans le sud de l'île de Sein, où elles couvrent de grandes zones de la zone intertidale. Ainsi, l'abondance de rochers en granite locaux déjà fragmentés sur le site a facilité leur utilisation comme matériaux de construction pour l'érection des structures en pierre.

Fonction des murs

Les structures TAF sont significativement plus grandes que la plupart des barrages de pêche en Bretagne, dont la hauteur et la largeur moyennes sont respectivement de $1 \pm 0,2$ m et 3-4 m (**Billard et al., 2016 ; Daire & Langouët, 2011**). Pour TAF1A, la hauteur actuelle est de 1,7 m en moyenne avec un maximum de 2,1 m. Pour déterminer si TAF1 correspond aux « normes architecturales » des pièges à poissons en pierre de Bretagne, nous avons testé les règles établies entre la hauteur de la structure et les marées locales (**Daire & Langouët, 2011, 2010 ; Langouët & Daire, 2009**). Selon ces règles, la hauteur, h , d'une pêcherie dépend fortement du battement de marée locale et peut être estimée à l'aide de la formule :

$$H \leq 0,167 * MM$$

où MM est la plage de marée maximale. Appliquée à notre zone d'étude, cette formule donne une hauteur maximale pour les murs de 1,13 m, ce qui est beaucoup plus bas que la hauteur de TAF1. Considérant que certains secteurs ont subi une érosion ondulatoire depuis leur construction, **Daire et Langouët (2010)** ont également proposé une méthode pour évaluer la hauteur initiale, h , d'un mur de pêcherie, selon la formule suivante :

$$h = S / \text{largeur initiale}$$

Où S est la section transversale des blocs de propagation. Parce que le mur TAF1 ne semble pas avoir perdu beaucoup de hauteur depuis sa construction, cette formule n'a pas été utilisée pour estimer la hauteur initiale.

La taille inhabituelle des structures TAF nous amène à considérer deux interprétations différentes de leur fonction. La première interprétation suggère que le grand volume de blocs accumulés sur TAF1 est le résultat de plusieurs étapes de construction et d'entretien d'un piège à poissons en pierre dans le contexte d'une hausse du RSL. L'utilisation continue ou intermittente se serait répandue sur plusieurs siècles. Le maintien des fonctions de pêche aurait nécessité une contribution de blocs pour élever la structure. Cela expliquerait l'architecture composite de TAF1. Les murs de la zone YAG montrent une approche différente, impliquant la construction d'un nouveau piège à poissons plus haut sur le rivage pour s'adapter à un RSL plus élevé.

La deuxième interprétation suggère que ces structures ont joué un rôle protecteur. Dans ce cas, pour que ces structures durent dans le temps, les constructeurs ont dû trouver des astuces architecturales pour les rendre résistantes aux houles et aux courants. Le fait que les monolithes, situés dans un environnement particulièrement exposé aux houles, soient toujours en position verticale après plusieurs millénaires implique un ancrage profond. Les monolithes simplement placés sur le dessus pour élever le mur n'auraient pas résisté aux vagues de tempête et aux forts courants de marée. Le rôle protecteur expliquerait les dimensions inhabituelles et les techniques utilisées pour créer des structures particulièrement solides. La dysymétrie du TAF1 et sa largeur sont trop régulières pour être le résultat de l'érosion, ce qui suggère que cet arrangement était délibéré dès le début de la construction. La plus grande largeur du côté exposé renforce le rôle protecteur en favorisant l'amortissement de la houle venant du nord. Ce type d'architecture n'est pas connu pour les pièges à poissons (**Billard et al., 2016 ; Daire & Langouët, 2010**).

Les deux structures de TAF2A et TAF2B ne ferment pas complètement la vallée sur laquelle elles sont construites. L'écart de 50 m entre ces deux structures est trop large pour être considéré comme une écluse ; cependant, c'est la seule qui permet d'accéder au plan d'eau protégé situé à l'arrière.

Estimation de l'âge

L'absence d'éléments organiques à la surface des structures empêche l'utilisation du radiocarbone pour la

datation directe. Les données précises de l'élévation du RSL récemment produites pour l'ouest de la France (García-Artola et al., 2018 ; Goslin et al., 2013 ; Stéphan et al., 2015) ont été utilisées pour estimer les périodes de construction de barrages selon les deux hypothèses concernant la fonction des structures. La première hypothèse considère ces structures comme des pièges à poissons, tandis que la seconde considère les plus grandes structures TAF comme des murs de protection. La grande profondeur des murs situe leur construction dans des périodes où la montée du RSL était encore rapide (de 5,2 à 2,6 mm/an entre 6000 et 5000 cal. BCE), ce qui minimise l'incertitude quant à leur âge estimé.

Hypothèse du piège à poissons

Plusieurs études ont utilisé les anciennes positions du RSL pour estimer la période de construction des pièges à poissons sur les côtes nord-ouest de la Bretagne (Daire et Langouët, 2011) et dans l'archipel de Molène (Gandois et al., 2018). Ces estimations sont basées sur un principe simple. Les murs ont été installés à des élévations stratégiques sur le rivage afin d'optimiser les captures et l'accès régulier au site de pêche. Selon les observations des pièges à poissons actuellement en fonctionnement, l'emplacement des murs doit systématiquement répondre à deux conditions (Daire & Langouët, 2011, 2010 ; Langouët & Daire, 2009). La première condition exige que la partie la plus basse du mur (Nb) soit construite au-dessus de la moyenne des eaux basses (Nb > MLWN) afin de pouvoir pêcher quel que soit le coefficient de marée. La deuxième condition suppose que le haut du mur (Nh) ne dépasse pas les niveaux moyens en haute eau (Nh < MHWN) pour permettre aux poissons d'entrer dans le piège à chaque marée. Ces principes peuvent être appliqués aux périodes préhistoriques, en tenant compte des sources potentielles d'erreur telles que les variations de l'amplitude des marées au fil du temps et la sédimentation, ce qui peut fausser les estimations chronologiques. Ces deux biais sont exclus dans notre domaine d'étude. Le modèle paléotidal proposé par Neill et al. (2010) ne montre aucun changement significatif dans l'amplitude des marées dans l'ouest de la Bretagne au cours des 8 000 dernières années. De plus, l'absence de sédimentation de l'Holocène dans ce secteur permet de déterminer l'élévation initiale des structures.

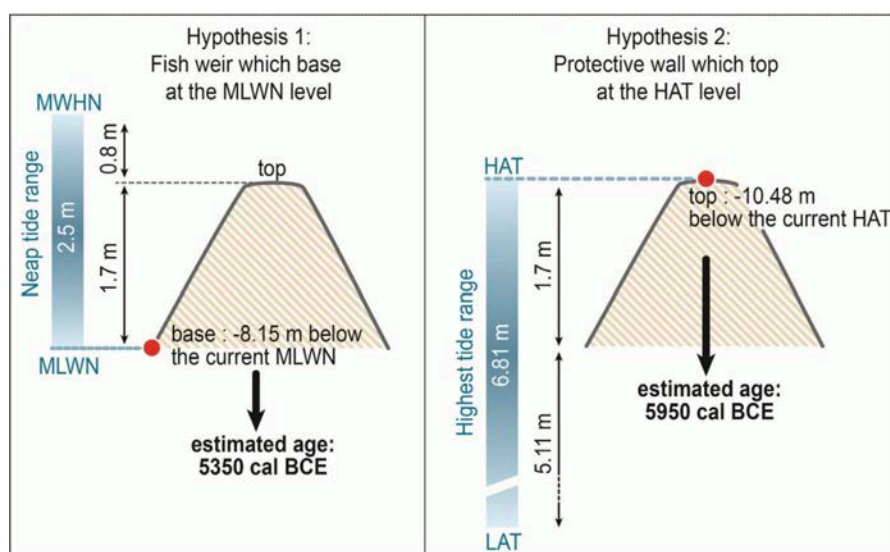


Figure 15. Âge estimé de la structure TAF1A selon les deux hypothèses concernant leur fonction. L'hypothèse 1 suppose que la structure correspond à un piège à poisson. Sur l'île de Sein, la marée de morte-eau est de 2,5 m. La hauteur moyenne du mur est de 1,7 m. Ainsi, à marée haute (MHWN - Mean High Water Neaps), le mur est recouvert de 0,8 m d'eau. La figure présente donc une configuration dans laquelle la base de la structure est construite au niveau du MLWN (Mean Low Water Neap). La profondeur maximale (Nb) de la base du mur est actuellement de -8,15 m en dessous du MLWN actuel. Cette valeur est tracée sur les données RSL (voir figure 16), ce qui donne un âge médian de 5350 cal. BCE pour avoir la base au niveau de MLWN et donc pour la construction du piège à poissons. L'hypothèse 2 suppose que la construction en pierre correspond à une structure protectrice. La marée printanière sur l'île de Sein est de 6,81 m. La figure montre une configuration dans laquelle le sommet est au niveau de la HAT (marée astronomique la plus élevée). La partie la plus haute du sommet de TAF1A est actuellement à -10,48 m en dessous du HAT actuel. Cette valeur tracée sur la courbe relative du niveau de la mer donne un âge médian de 5950 cal. BCE pour avoir le sommet au niveau du HAT et donc pour la construction de la structure de protection (voir aussi le tableau 2). LAT = Marée astronomique plus basse (Auteurs).

Pour définir Nb, nous avons calculé la différence d'élévation entre le MLWN actuel et la profondeur maximale de la base des structures. Dans le cas de TAF1, la base est à une profondeur maximale de -8,8 m asl, c'est-à-dire -8,15 m en dessous du niveau du MLWN actuel. La période avec un RSL de -8,15 m est estimée à 5350 cal. BCE (**García-Artola et al., 2018**), qui correspond à l'âge approximatif de la construction du piège à poissons (*Figure 16*). En intégrant les incertitudes avec 2σ dans la courbe RSL modélisée (c'est-à-dire $\pm 0,9$ m), la période de construction du mur TAF1A est estimée à l'ordre de 5050 à 5600 cal. BCE (*Figures 15 et 16*).

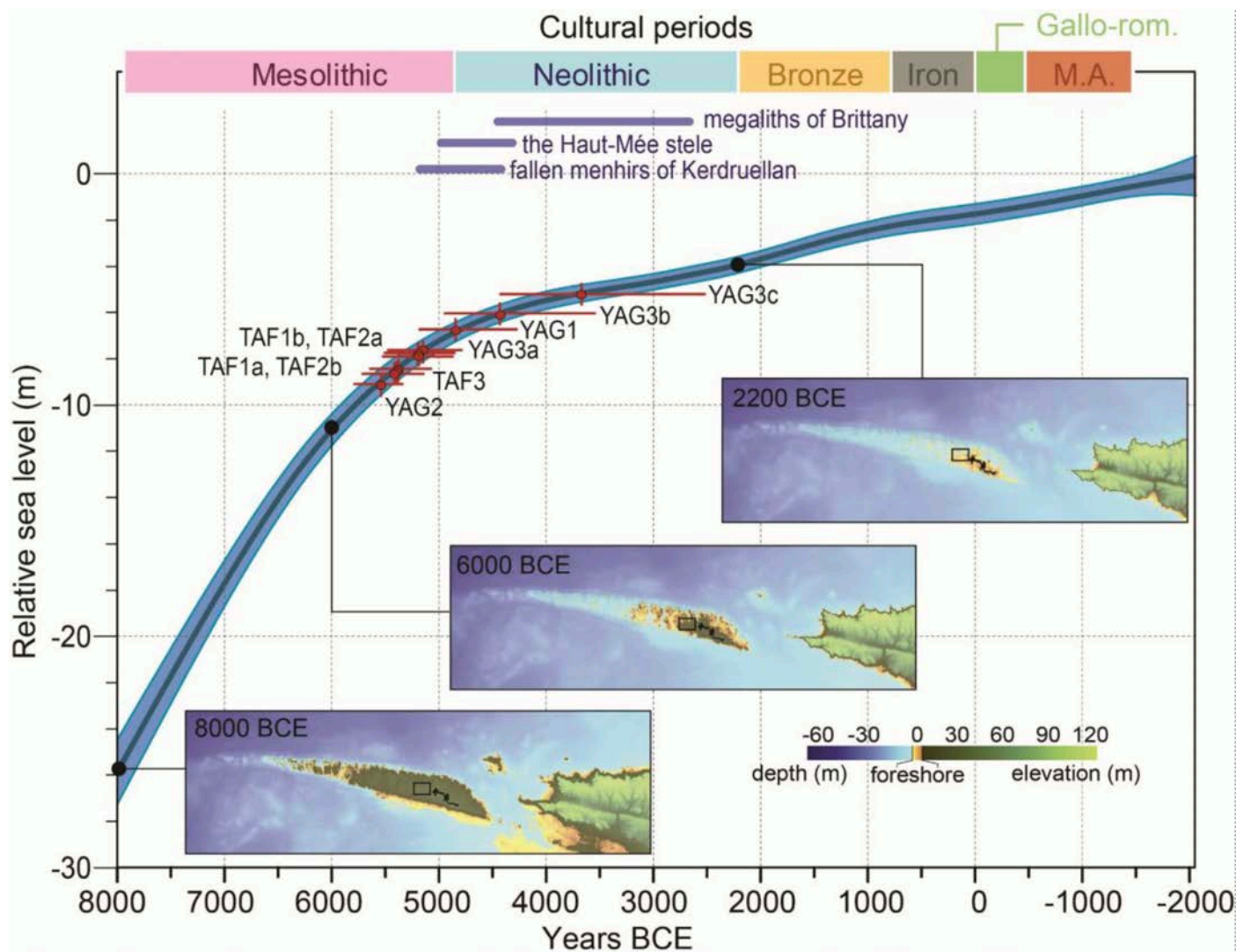


Figure 16 : Âges médians (points rouges) estimés pour l'hypothèse du piège à poissons. Les barres rouges indiquent l'incertitude avec 2σ pour la courbe RSL. Notez que lorsque le taux d'élévation du niveau de la mer se stabilise après 4500 cal. Avant notre ère, les incertitudes concernant l'âge deviennent très importantes (YAG3c et YAG3b). Les plus profonds et les plus grands barrages ont été construits pendant une période où le niveau de la mer montait encore rapidement, ce qui minimise l'incertitude quant à leur âge. Compte tenu de cette incertitude, ces pêcheries ont été construites à la fin de la période mésolithique pendant la transition vers le néolithique. Voir le tableau 2 pour plus de détails sur les valeurs. L'extension des différentes périodes préhistoriques et du mégalithisme pour la Bretagne est indiquée en haut du diagramme. Les âges estimés pour l'érection des premiers menhirs en Bretagne (Haut Mée, Kerduellan) sont également précisés. Les différentes cartes montrent l'extension de l'île de Sein (vert foncé) à différentes périodes (Auteurs).

Pour définir Nh, nous avons considéré que les points les plus élevés des murs n'ont pas subi d'érosion significative. Pour TAF1A et TAF1B, les profondeurs sont respectivement de -6,5 et -5,7 m asl. La différence d'altitude par rapport au MHWN actuel est de -8,35 m et -7,55 m, respectivement. La période de construction est estimée à 5650–5150 et 5450–4800 cal. BCE pour TAF1A et TAF1B, respectivement. Les âges estimés en considérant Nb et Nh sont très proches. C'est en rapport avec les conclusions de **Daire et Langouët (2011)** pour le sud de la Bretagne. Dans ce cas, l'âge peut être estimé uniquement sur la base de Nb. Cette approche a été appliquée aux autres structures submergées et les âges de construction estimés sont donnés dans le tableau 2.

Hypothèse de la structure protectrice

Les plus grandes structures TAF sont nettement plus grandes que les pièges à poissons. Ces dimensions inhabituelles pourraient s'expliquer par un rôle protecteur. Dans ce cas, pour estimer l'âge des murs, on suppose que le sommet des structures a été initialement construit au-dessus des marées astronomiques les plus élevées (HAT). Comme le sommet du TAF1A est à une profondeur de -6,5 m NGE, la position du sommet au niveau du HAT est obtenue avec un RSL de -10,48 m. Dans ce cas, la structure aurait été construite entre 6100 et 5750 cal. BCE (âge médian de 5950 cal. BCE, voir les figures 15 et 16). De la même manière, nous pouvons estimer la construction de la structure TAF1B à environ 5950-5550 cal. BCE (âge médian de 5750 cal. BCE). En appliquant la même méthode, les âges ont été estimés pour TAF2A, TAF2B et TAF3 (*Tableau 2*).

YAG Fish Weirs à l'est de TAF

L'hypothèse des pièges à poissons a été favorisée pour interpréter la fonction des structures YAG, compte tenu de leur faible hauteur et de leur architecture plus simple. Les attributions chronologiques sont basées sur cette interprétation. Cependant, il convient de noter que lorsque le taux d'élévation du niveau de la mer se stabilise après 4500 cal. BCE, les incertitudes concernant l'âge deviennent très importantes (pêcheries à YAG3C et YAG3B) (*Tableau 2, Figure 16*). Pour YAG1, YAG2, YAG3A, YAG3B et YAG3C, les âges médians sont de 4800, 5500, 5100, 4400 et 3650 cal. BCE, respectivement. YAG2 (5500 cal. BCE) peut avoir fonctionné en même temps que les structures de protection TAF. La construction de YAG3A et YAG3B à des profondeurs différentes le long de la même vallée reflète une adaptation à la montée de la RSL, avec le barrage le plus profond construit environ 700 ans avant la seconde. Des arrangements similaires de paires de barrages se trouvent dans l'archipel de Molène et correspondent à des structures construites plusieurs siècles l'une de l'autre (**Gandois et al., 2018**).

	Fish Weir (calculation from the base of the wall Nb)				Protective wall (calculation from the top of the wall Nh)			
	Nb	Nb - 0.65m	Median age	Age interval	Nh	Nh + 3.98m	Median age	Age interval
	Depth of the lowest point of the base of the wall relative to the current height datum	Elevation difference of the base of the wall (Nb) relative to the current MLWN	Years cal BC	For a 2 σ uncertainty of $\pm$ 0.9m	Depth of the highest point of the wall relative to the current height datum	Elevation difference of the top of the wall (Nh) relative to the current HAT	Years cal BC	For a 2 σ uncertainty of $\pm$ 0.9m
TAF1A	-8.80	-8.15	5350	5600 to 5050	-6.50	-10.48	5950	6100 to 5750
TAF1B*	(-5.7)*	(-7.55)*	5150	5450 to 4800	-5.70	-9.68	5750	5950 to 5550
TAF2A	-8.20	-7.55	5150	5450 to 4800	-6.00	-9.98	5800	6000 to 5600
TAF2B	-8.80	-8.15	5350	5600 to 5050	-6.20	-10.18	5850	6050 to 5650
TAF3	-8.80	-8.15	5350	5600 to 5050	-6.20	-10.18	5850	6050 to 5650
YAG1	-7.20	-6.55	4800	5150 to 4250	-6.45	-	-	-
YAG2	-9.40	-8.75	5500	5750 to 5300	-8.10	-	-	-
YAG3A	-8.00	-7.35	5100	5400 to 4750	-6.90	-	-	-
YAG3B	-6.50	-5.85	4400	4900 to 3500	-5.40	-	-	-
YAG3C	-5.70	-5.05	3650	4400 to 2500	-4.90	-	-	-

Tableau 2. Âges estimés pour les différentes structures en fonction de la courbe relative du niveau de la mer (García-Artola et al., 2018). Dans le cas des pièges à poissons, les âges ont été estimés à partir de la base de la structure (Nb), à l'exception de TAF1B (*), pour lequel le haut de la structure (Nh) a été utilisé parce qu'il est construit sur TAF1A. En supposant un mur de protection, les âges ont été estimés à partir du sommet de la structure (Nh). Pour les structures YAG, seule l'hypothèse du piège à poissons est utilisée, compte tenu de leur petite taille. MLWN correspond au marée moyenne de morte-eau. HAT est la marée astronomique la plus élevée.

Cadre paléogéographique et durée potentielle pour l'utilisation des structures

Dans la section précédente, les âges de construction ont été proposés en fonction de la profondeur des structures et de l'ancien RSL. À plus grande échelle, la position de l'ancrage des structures sur les reliefs permet également, en conjonction avec l'élévation du RSL, de discuter de la durée pendant laquelle ces structures ont été opérationnelles (*Figure 17*). La position du littoral (niveau HAT) pour différentes périodes a été calculée en supposant que l'amplitude des marées n'a pas changé de manière significative au fil du temps.

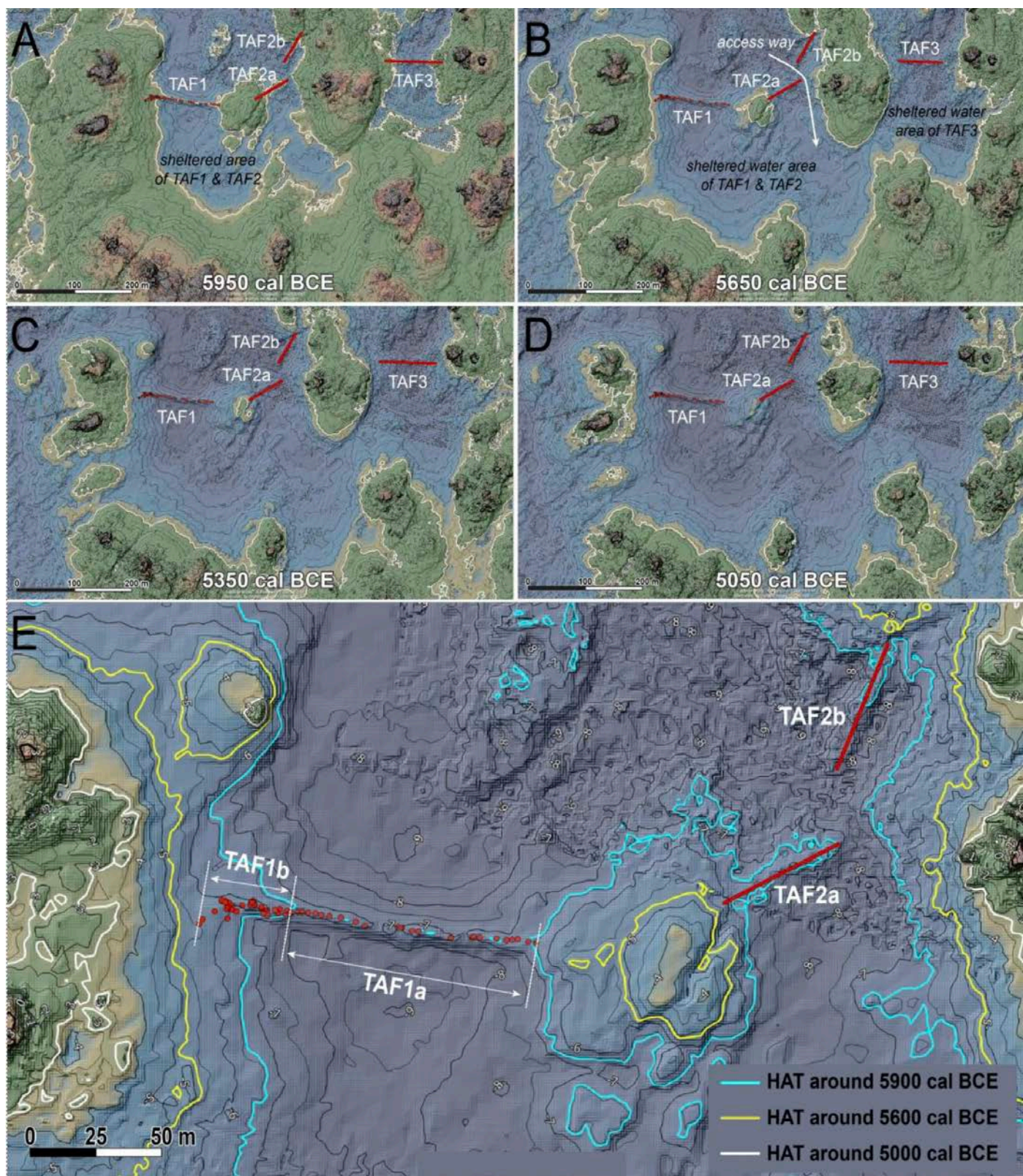


Figure 17. Position initiale des parois de TAF1, 2 et 3 dans la zone intertidale (A, B, C et D). La courbe blanche montre le littoral à différentes périodes (A : 5950, B : 5650, C : 5350, D : 5050 cal. Avant notre ère). Les contours d'élévation (lignes noires) sont espacés de 0,5 m. Sur TAF1, les points rouges montrent les monolithes et les grandes dalles positionnées par GPS pendant les plongées. Les lignes rouges montrent l'extension des autres structures. E Carte du bas : détail de l'emplacement de TAF1A et B et TAF2A et B par rapport au littoral 5900 (courbes bleues), 5600 (courbes jaunes) et 5000 (courbes blanches) cal. BCE (Auteurs).

Situation entre 5950 et 5650 cal. BCE

Environ 5950 cal. BCE, le sommet de TAF1A se trouvait sur le littoral (Figure 17-A). La terre au sud, à l'ouest et à l'est était constamment au-dessus de l'eau à l'époque et formait l'extrémité ouest de l'île de Sein (Figure 18). Entre 5950 et 5650 cal. BCE, aux deux extrémités de TAF1A, les lignes de pierres debout s'arrêtent au rivage (Figure 17-E). Cela suggère un mur construit en ligne avec le niveau des plus hautes mers de cette période. Pen-

nant cette période, les sommets de TAF2 et TAF3 sont également au niveau du littoral. TAF1B est alors situé au-dessus du littoral.

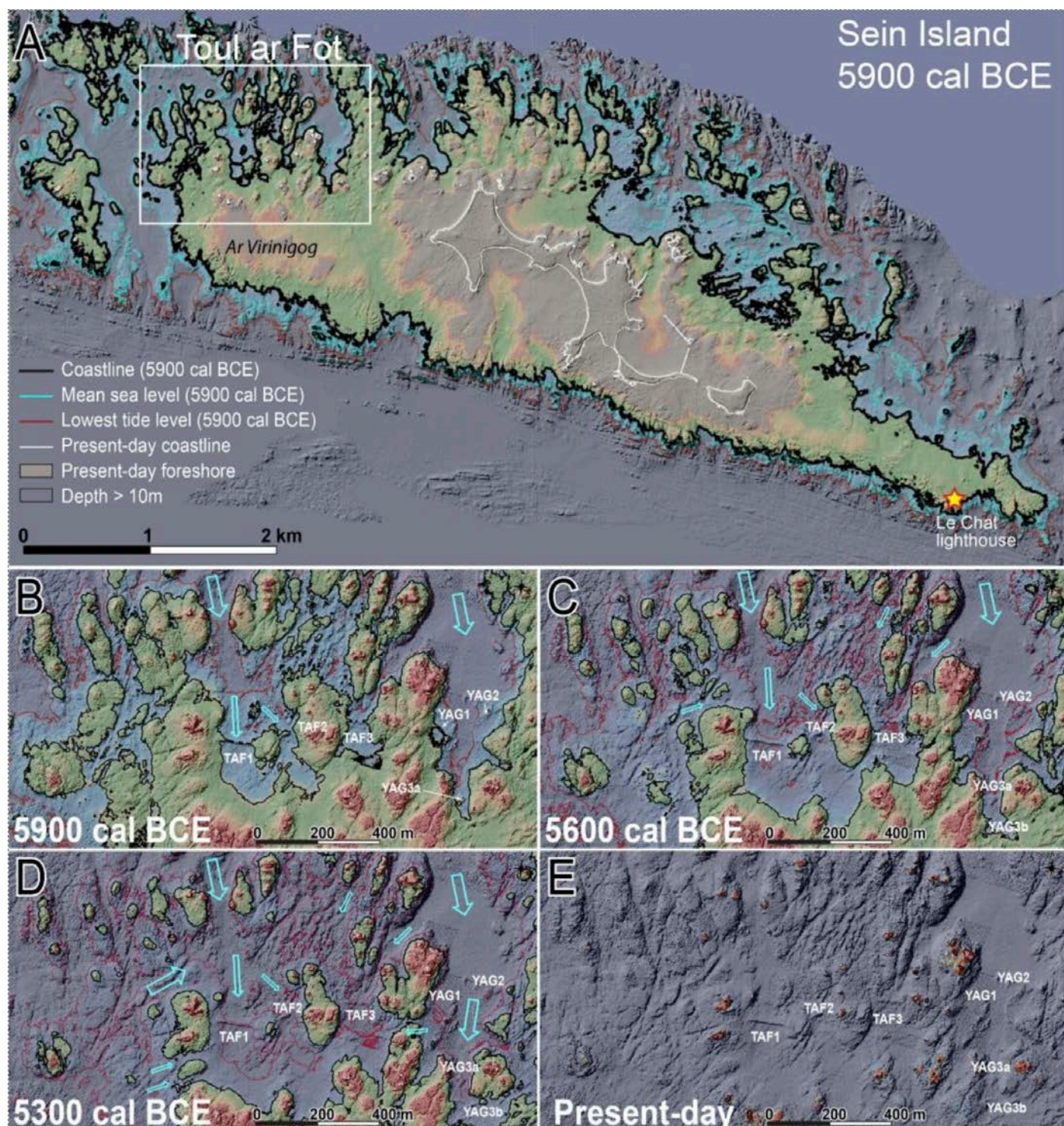


Figure 18. A : Configuration paléogéographique de l'île de Sein autour de 5900 cal. BCE. L'île actuelle (courbe blanche) mesure 2,8 km de long, 0,9 km à son point le plus large et couvre 0,65 km². À 5900 ans cal. BCE, l'île s'étendait de Toul ar Fot à l'ouest jusqu'au phare de Chat à l'est, et mesurait 7,5 km de long, 2,5 km à son point le plus large et couvrait 8,9 km². Notez la position particulièrement abritée naturellement de la zone de Toul ar Fot et l'importance du rivage aux marées printanières (courbe rouge) dans ce secteur. Rectangle blanc = Zone de Toul ar Fot agrandie sur les cartes inférieures (B, C, D, E) montrant l'évolution du littoral entre 5900 ans cal. BCE et le présent. Courbes noires : littoral. Courbes rouges : niveau moyen de la mer calculé pour 5900, 5600 et 5300 cal. Avant notre ère. Les flèches bleues indiquent la direction de la houle et, pour chaque période, les zones à travers lesquelles la mer pourrait atteindre le plan d'eau abrité du TAF. La taille des flèches indique l'atténuation de la houle par les récifs et les épaules avant d'atteindre les murs de Toul ar Fot. À partir de 5200 cal. Avant notre ère, la houle SW dominante pénètre directement dans le plan d'eau protégé au sud de TAF1. Couleurs bleues et grises = zones marines. Couleurs vertes = zones basses qui ont émergé en permanence. Couleurs orange = zones de haute hauteur qui ont émergé en permanence. Notez qu'actuellement, seule la base des récifs (en rouge) est découverte à marée haute. Les âges indiqués sont des âges médians basés sur la courbe d'élévation du niveau de la mer dans l'ouest de la Bretagne (García-Artola et al., 2018 ; Goslin et al., 2013 ; Stéphan et al., 2015) (Auteurs).

Après 5650 cal. BCE, en raison de l'élévation du niveau de la mer, les plans d'eau protégés au sud de TAF1-2 et TAF3 se connectent (*Figure 17-B*). Le littoral est situé à l'extrémité ouest du TAF1B, ce qui suggère une augmentation du TAF1A. Pendant cette période, les marées hautes passent sur les murs précédemment construits (TAF1A, TAF2 et TAF3 voir la *Figure 17-E*), qui perdent ensuite leur rôle protecteur potentiel. À l'est de TAF, les parois YAG sont de taille similaire à celle des pièges à poissons connus dans la zone intertidale actuelle (<1 m de haut). Sur ces sites, la montée du RSL a conduit ces populations à ne pas élever les barrages existants, mais plutôt à construire de nouveaux barrages à une altitude plus élevée dans la même vallée (YAG3A et YAG3B).

Situation après 5350 cal. BCE

Après 5350 cal. Avant notre ère, le littoral autour de TAF est devenu discontinu et l'extrémité ouest de l'île de Sein s'est brisée en plusieurs îlots (*Figure 18*). Les brèches ont donné un accès direct à la houle à l'ouest, à l'est et au sud de TAF1. Le plan d'eau n'était plus protégé des tempêtes. Les murs du TAF auraient donc été opérationnels pendant environ 700 ans. Au cours de cette période, l'élévation du niveau de la mer a ralenti de +4,6 mm/a autour de 5850 cal. BCE à +3 mm/j autour de 5250 cal. BCE.

Implications pour l'organisation sociale pendant la transition mésolithique/néolithique

Les pièges à poissons en pierre représentent une évolution technique distinctive pendant la néolithisation (**Marchand, 2017**). La construction de structures en pierre massives pendant la transition mésolithique/néolithique implique une forte dynamique coopérative et leur exploitation fournirait des ressources qui dépasseraient les besoins simples et les capacités techniques d'un petit groupe. En outre, l'entretien et l'utilisation des structures impliquent une forme de mode de vie sédentaire (**Billard & Bernard, 2016**). De telles constructions ont été d'une importance considérable pour les systèmes économiques, en termes de rentabilité de la prédation, de stabilité des colonies, de contrôle des territoires, de mobilisation d'énergies collectives, de connaissance intime du domaine maritime, de techniques de construction et de techniques de stockage (**Marchand, 2017**).

En Bretagne, les premières preuves des agriculteurs du début de la période néolithique remontent au tout début du 5^e millénaire (**Cassen et al., 2009**). Les plus récents sites du Mésolithique final, telles que Beg an Dorchenn (5700-5400 cal. BCE), Téviec (5400-5200 cal. BCE), et Hoëdic (5400-4800 cal. BCE) (**Dupont & Marchand, 2021 ; Marchand, 2021a, 2003 ; Marchand & Schulting, 2019 ; Simões et al., 2024**) sont très proches en âge des premiers habitats néolithiques en Bretagne, tels que Pluvignon (Ile et Vilaine) (5300-4700 cal. BCE) (**Tinevez, 2022**). La présence de ces habitats jusqu'au Finistère (site de Kervouyec à Quimper, 5000 à 4700 cal. BCE) confirme que le processus néolithique s'est répandu jusqu'à la pointe ouest de la Bretagne à partir du début du 5^e millénaire (**Tinevez, 2022**). Cependant, il n'y a pas d'amas coquilliers connus en Bretagne datant du Néolithique ancien ou moyen. Des travaux récents (**Dupont et al., 2010 ; Dupont & Marchand, 2021**) sur les amas mésolithiques dans le sud de la Bretagne révèlent qu'ils ont été créés par des populations de pêcheurs chasseurs-cueilleurs dont la connaissance du biotope marin est révélée par la diversité des animaux marins utilisés pour se nourrir. Il est donc probable que la rencontre entre les peuples néolithiques arrivant de l'est et les chasseurs-cueilleurs locaux ait eu lieu à l'ouest de la Bretagne à la fin du 6^e millénaire.

Le plateau sous-marin de l'île de Sein abrite actuellement divers habitats riches en biomasse (**Stéphan & Tissot, 2022**). Dans la dernière période mésolithique, l'accès aux ressources marines était facilité par un platier, parsemé de récifs et de petites vallées transversales créant de nombreux abris naturels. Environ 5950 cal. BCE, l'île mesurait 7,5 km de long et 2,5 km à son point le plus large. La superficie de la terre couvrait 10,2 km², soit 14 fois la surface actuelle (*Figure 18*). La superficie des zones intertidales environnantes était de 12,2 km² (par rapport à 3,3 km² aujourd'hui). À l'époque mésolithique, le littoral était très linéaire dans la partie sud exposée de l'île (*Figure 18*) et n'offrait aucun abri naturel. D'autre part, il était beaucoup plus découpé dans la partie nord de l'île en raison de la présence de nombreuses vallées longues et étroites qui canalisait les courants d'inondation et de reflux. Cette configuration topographique et bathymétrique a fourni un environnement favorable à la construction de pièges à poissons dans des zones abritées.

Environ 5900 cal. BCE, la zone la plus abritée se trouvait au bout de la vallée de Toul ar Fot, naturellement bien protégée sur les côtés sud, est et ouest (*Figure 18*). Cette zone montre une fragmentation extrême. Environ 5500 cal. BCE, en seulement 2 km², 58 îlots et récifs totalisaient une superficie de 0,87 km², un littoral de 26,9 km et une zone intertidale de 1 km² disponible pour la pêche à pied. Cette configuration morphologique et l'abondance des ressources marines ont été des facteurs clés pour l'établissement humain pendant la transition mésolithique/néolithique.

La taille des plus grandes structures montre que l'extraction et le transport des monolithes étaient très bien organisés. Leur assemblage nécessitait des connaissances techniques pour anticiper et mener à bien les différentes phases de la construction. Enfin, pour ériger de telles structures, cette population devait être suffisamment nombreuse. Nos découvertes témoignent de la présence d'une population faisant un usage significatif des ressources marines abondantes dans la région entre 5900 et 5200 cal. Avant notre ère. Ces résultats sont cohérents avec les analyses isotopiques des os humains de l'île de Hoëdic, qui révèlent un apport élevé en protéines marines dans l'alimentation (**Schulting & Richards, 2001**) des populations vivant sur les îles du sud de la Bretagne à la fin de la période mésolithique. C'est une tendance dans tout le nord-ouest de l'Europe pour les restes d'individus découverts sur les sites côtiers (**Schulting et al., 2004**). Par la suite, la transition vers la période néolithique s'est accompagnée d'une diminution significative des ressources marines dans l'alimentation humaine (**Schulting et al., 2004**).

Ainsi, une forte organisation sociale dans une population qui peut être devenue sédentaire, est suggérée par (I) la taille des structures, (II) les volumes de roche déplacés (4300 tonnes pour TAF1+ TAF2A), (III) la taille des plus grands blocs, (IV) les compétences techniques impliquées, et (V) le besoin de travaux d'entretien et de surveillance. Ces résultats soulèvent de nombreuses questions sur l'installation et la colonisation de chasseurs-cueilleurs maritimes sur les îles à l'extrémité ouest de la Bretagne pendant la transition mésolithique/néolithique.

Aucun site mésolithique avec une industrie à trapèzes n'a été identifié sur l'île de Sein à ce jour. Les amas coquilliers mésolithiques connus dans le sud de la Bretagne ne sont situés qu'à quelques centaines de mètres du littoral de cette période (**Dupont, 2003**). Par analogie, comme le site du TAF est situé à 1,8 km du rivage actuel de l'île, on peut supposer que les traces de colonies humaines de cette période sont maintenant submergées. Cependant, de nombreuses traces d'occupation humaine de la fin de la période mésolithique sont connues sur plusieurs sites sur le continent près de l'île de Sein, à la pointe du Raz, dans la baie d'Audierne (Ty Lann, Ty Nancien à Plovan) et à sa pointe sud-ouest (Pointe de La Torche et Pointe de Pors Carn), située entre 6 et 40 km de l'île de Sein (**Arbousse-Bastide, 2001 ; Berrou & Gouletquer, 1973 ; Dupont & Marchand, 2021 ; Gouletquer et al., 1996 ; Marchand, 2021**). L'accès humain à cette île implique une connaissance importante de la navigation.

À propos de la navigation

Dans la période mésolithique, il n'y a pas de preuve directe d'embarcations, donc la navigation maritime est considérée par déduction (**Philippe, 2018**). Les preuves indirectes de certains bateaux gravés sur des stèles du néolithique moyen (~4500 cal. BCE) doit également être pris en compte (**Cassen, 2007 ; Cassen et al., 2019b ; Philippe, 2018**). Les hypothèses concernent les canoës et les bateaux légers en bois et en peaux. Les premiers canoës fluviaux remontent au 8e millénaire, tandis que ceux qui permettent l'accès à la mer datent du 5e millénaire (**Philippe, 2019**). Les premiers navires navigables sont connus de l'âge du bronze, tels que les bateaux à planches Ferriby datant de 2030-1780 cal. BCE (**Wright et al., 2001**) et les bateaux de Douvres datant de 1550 cal. BCE (**Clark, 2004**). L'île de Sein s'est déconnectée du continent vers 8000 cal. BCE. Ainsi, à la fin de la période mésolithique, l'accès à l'île nécessitait des compétences de navigation. Comme c'est le cas aujourd'hui, la Chaussée de Sein était un environnement dangereux, exposé quotidiennement à de forts courants et à des houles. Traverser le Raz de Sein (*Figure 1*) nécessitait une expertise en matière de techniques de navigation et une connaissance des courants. La distance entre l'île et la Baie des Trépassés (point de départ probable pour les bateaux) était de 7,5 km (*Figure 1*). À une vitesse de 2 nœuds pour un canoë utilisé en mer (**Philippe, 2018**), il

faut environ deux heures pour atteindre l'île de Sein, ce qui n'a pas permis un passage pendant l'optimum des marées basses et hautes, qui dure moins de 30 minutes. Cela suggère une population qui a été installée sur l'île pendant de longues périodes.

Outre l'île de Sein, les occupations des îles du sud de la Bretagne à la deuxième période mésolithique sont bien connues pour les îles Glénan, Groix, Belle Île et Hoëdic (**Hauguel-Bleuven et al., 2021 ; Marchand, 2014 ; Marchand & Musch, 2013 ; Marchand & Schulting, 2019**). **Marchand (2019)** souligne que la mobilité maritime est évidente, car les caractéristiques techniques et stylistiques développées sur les îles et sur le continent sont identiques. C'est la preuve d'un contact fréquent et d'une maîtrise de la construction navale et de la navigation (**Marchand, 2019**). Cela est également cohérent avec la présence de nombreux sites mésolithiques dans le sud-est de la Bretagne (**Arbousse-Bastide, 2001 ; Dupont et al., 2009 ; Gouletquer et al., 1996 ; Hauguel-Bleuven et al., 2021 ; Marchand, 2005**). La découverte d'énormes structures en pierre submergées sur l'île de Sein conduit ainsi à l'intégration de l'extrême sud-ouest de la Bretagne dans le réseau d'échanges maritimes qui existaient à la fin de la période mésolithique entre le continent et les îles du sud de la Bretagne. D'autre part, malgré de nombreuses enquêtes et plusieurs fouilles archéologiques, aucune preuve de la période mésolithique finale n'est actuellement connue plus au nord de l'archipel d'Ouessant-Molène (**Pailler & Nicolas, 2022**), ce qui, comme pour l'île de Sein, peut s'expliquer par la montée du RSL et les inondations marines des implantations humaines passées.

Liens avec le mégalithisme

En Bretagne, le mégalithisme apparaît dans les régions où les derniers chasseurs-cueilleurs maritimes indigènes mésolithiques ont rencontré les populations agropastorales néolithiques arrivant de l'est (**Marchand, 2014**). Les plus anciennes structures mégalithiques de Bretagne sont les menhirs couchés de Belz (Morbihan) érigés entre 5220 et 4440 cal. BCE (**Hinguant & Boujot, 2010**) et la stèle néolithique de Haut-Mée (Ille-et-Vilaine) érigée entre 5000 et 4700 cal. BCE (**Cassen et al., 1998**). Le tumulus de Saint Michel et les plus anciens mégalithes de la région de Carnac dans le Morbihan marquent le début du mégalithisme atlantique autour de 4700 cal. BCE (**Cassen et al., 2009 ; Marchand, 2014 ; Schulz Paulsson, 2019**). La question de l'origine et du début du mégalithisme en Bretagne n'est pas claire, cependant, le lien possible avec les dernières sociétés de chasseurs-cueilleurs est parfois mentionné (**Large & Mens, 2015**). **G. Marchand (2017)** souligne que pour proposer un lien entre le mégalithisme et les environnements marins, il est nécessaire de démontrer que les plus anciens monuments étaient situés sur la côte de la période en question. Il est donc possible que des preuves submergées d'une « période de construction majeure » datant de la fin de la période mésolithique en Bretagne se trouvent un jour (**Marchand, 2017**). **Large et Mens (2015)** suggèrent que les premiers alignements de pierres debout en Bretagne ont peut-être commencé dès la fin de la période mésolithique et que certains de ces alignements avaient des fonctions autres que exclusivement symboliques. À partir de cette période, les carrières d'où provenaient les pierres étaient soigneusement choisies, souvent situées à proximité des sites (**Large & Mens, 2015**).

Les dimensions inhabituelles et la nature technique des constructions de Toul ar Fot témoignent d'un niveau d'expertise mal documenté à l'époque mésolithique. Certaines structures sur les récifs les plus proches des barages TAF suggèrent des zones d'extraction. Les plus grands monolithes TAF ont une masse d'environ 2 tonnes pour la partie au-dessus du mur (1,5 x 1 x 0,5 m). S'ils étaient ancrés à la base des murs, leur masse (3,2 x 1 x 0,5 m) serait proche de 5 tonnes. Compte tenu d'un vide de 20 % entre les blocs et d'une densité de 2,7 pour le granit, la masse estimée est d'environ 3300 t pour le TAF1 (120 m de long, 15 m de large à la base, 2 m de large au sommet et 1,5 m de haut) et de 1000 t pour le TAF2A (50 m de long, 9 de large à la base, 3 m de large au sommet et 1,5 m de haut), pour un total de 4300 t, ce qui représente une quantité considérable de matériau à transporter. À titre de comparaison, la masse des plus grands pièges à poissons en France est estimée à quelques centaines de tonnes (entre 90 et 560 t) (**Billard et al., 2016**). La masse des murs TAF1 et TAF2A est intermédiaire entre celle des plus grands pièges à poissons et celle du grand cairn de Barnenez (~12 000 t) dans le nord de la Bretagne, datant du néolithique moyen 2.

Ainsi, les structures TAF démontrent une capacité technique et une organisation sociale suffisante pour ex-

traire, déplacer et ériger des blocs pesant plusieurs tonnes avec des masses similaires à celles de nombreux mégalithes en Bretagne. Notre étude suggère que ce savoir-faire existait dans l'extrémité occidentale de la France dès le 6^e millénaire, avant le début du mégalithisme continental en Bretagne et en Europe au 5^e millénaire (**Schulz Paulsson, 2019**). L'hypothèse d'un lien entre les connaissances acquises pour construire des murs particulièrement solides de dimensions inhabituelles de la fin de la période mésolithique et le mégalithisme côtier de la période néolithique peut donc être discutée. L'expertise technique dans la construction de mégalithes utiles pour l'alimentation et la protection peut avoir été progressivement transposée à la construction de tombes et de mégalithes plus symboliques.

Lien avec les légendes locales

La tradition orale est à l'origine de plusieurs légendes de villes englouties en Europe et en Bretagne (**Hascoët, 2016 ; Marchand, 2019 ; Nunn et al., 2022**). L'analyse d'une quinzaine de légendes européennes sur les villes englouties, par rapport aux données récentes sur l'élévation du niveau de la mer, montre que les histoires d'anciennes submersions, transmises par la tradition orale, pourraient remonter à 5 000 à 15 000 ans (**Nunn et al., 2022**). Cela suggère que les traditions orales qui peuvent avoir préservé des événements significatifs dans la mémoire qui pourraient bien être dignes d'un examen scientifique (**Nunn et al., 2022**). Ces colonies décrites dans la légende révèlent la profonde signification symbolique de la préhistoire maritime, qui ne doit pas être négligée (**Marchand, 2019**). En Bretagne, la légende de la ville d'Ys est la plus célèbre. Elle a fait l'objet de nombreuses publications et interprétations (voir **Hascoët, 2016**). Cette légende place une ville engloutie dans la partie ouest de la baie de Douarnenez (10 km à l'est de l'île de Sein, voir *Figure 1*). Les différentes versions découlent de l'absence de restes engloutis et de la recontextualisation de cette légende au V^e siècle de notre ère à travers une lentille chrétienne moralisatrice. Une étude remarquable de H. Le Carguet (**Le Carguet, 1920**) ne tient pas compte des ajouts du christianisme et de la morale pour extraire les faits qui permettent une discussion plus réaliste de l'emplacement de la ville d'Ys. L'une des options est de localiser la ville au sud-ouest de l'île de Sein dans une zone où une crête de galets s'est cassée.

La présence de structures en pierre fabriquées par l'homme et d'anciennes crêtes de galets, maintenant aplaties (voir la zone de Virinigog sur les *Figures 6 et 18*) à Toul ar Fot soulève des questions sur l'origine préhistorique potentielle de la légende. Il est probable que l'abandon d'un territoire développé par une société hautement structurée soit profondément enraciné dans la mémoire des gens. L'immersion causée par l'élévation rapide du niveau de la mer, suivie de l'abandon des structures de pêche, des ouvrages de protection et des sites d'habitation, a dû laisser une impression durable. Cette population possédait un haut niveau de savoir-faire technique et était peut-être sédentaire en raison de la sécurité alimentaire fournie par un accès facile à la nourriture marine abondante. Au cours du sixième millénaire, la zone émergée d'Ar-Virinigog / Toul ar Fot, située entre 5 et 12 m plus bas que l'île actuelle, pourrait être décrite comme un village bas (nommé « Ker Is » en langue bretonne). Ainsi, les découvertes de TAF nous permettent de remettre en question l'origine de l'histoire de la ville d'Ys, non pas à partir des légendes historiques et de leurs nombreux ajouts, mais à partir de découvertes scientifiques qui peuvent être à l'origine de cette légende. Nous pouvons ainsi comparer la légende aux observations sur le terrain sur la base de cartes précises et d'une connaissance détaillée de l'élévation du niveau de la mer dans l'ouest de la Bretagne.

Conclusion

Les structures de pierre submergées découvertes sur l'île de Sein sont sans aucun doute liées. Les plus petites structures sont de la taille de pièges à poissons. Les plus grandes structures, beaucoup plus grandes que les dimensions actuellement connues pour les pièges à poissons, ont peut-être également eu un rôle de protection. La taille et la nature technique des plus grandes structures n'ont pas d'équivalent connu en France pour cette période. Leur construction implique un savoir-faire et une organisation sociale qui n'auraient été présents que pour une population importante. Nos résultats témoignent du possible mode de vie sédentaire des chasseurs-cueilleurs maritimes sur la côte de l'extrême ouest de la France à partir du 6^e millénaire. Le savoir-faire technique pour extraire, transporter et ériger des monolithes et de grandes dalles pendant la transition mésolithique/néolithique précède d'environ 500 ans les constructions mégalithiques dans l'ouest de la France au 5^e

millénaire. Cela soulève la question de savoir comment ces connaissances ont été transmises, facilitant peut-être la discussion de l'origine du mégalithisme côtier continental dans une nature plus symbolique ou religieuse. Cette découverte dans un environnement hautement hydrodynamique ouvre de nouvelles perspectives pour la recherche de traces de peuplement humain en Bretagne le long du littoral submergé de la période 6000-5000 ans cal. BCE. Les résultats de cette enquête initiale bénéficieront d'une étude plus détaillée pour affiner leur âge, mieux comprendre le savoir-faire technique et déterminer avec précision le rôle des différentes structures.

Plus largement, cette recherche met en évidence la qualité de l'information qui peut maintenant être obtenue grâce à l'étude sous-marine des paysages submergés (**Bailey et al., 2020**). Il fait également écho à des découvertes récentes dans d'autres parties du monde qui fournissent des preuves sous-marines de la construction de structures mégalithiques dans des contextes de chasseurs-cueilleurs préhistoriques et pré-agriculteurs - notamment le « blinkerwall » récemment signalé dans la baie du Mecklembourg, mer Baltique (**Geersen et al. 2024**), et les constructions submergées sous le lac Huron (**O'Shea et al. 2014**), toutes deux interprétées comme des voies de conduite construites pour canaliser les mouvements d'animaux de troupeaux migrateurs.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide financière fournie par le programme GEOPRAS financé par l'Agence nationale de recherche française (ANR-21-CE27-0024). Les auteurs sont reconnaissants à la plateforme française eLTSEr « Zone Atelier Brest Iroise » (CNRS-INEE) et au programme ArMeRIE financé par l'Université de Brest pour des échanges interdisciplinaires fructueux sur la dynamique humaine et les paléoenvironnements de l'Holocène. Ce travail a été soutenu par le projet ISblue (École supérieure interdisciplinaire pour la planète bleue, ANR-17-EURE-0015), cofinancé par une subvention du gouvernement français dans le cadre du programme 'Investissements d'Avenir'. Les actions menées et les résultats obtenus font partie d'une approche scientifique participative combinant une approche scientifique, un partenariat entre les plongeurs de la SAMM (Société d'archéologie et de mémoire maritime) et du parc naturel marin d'Iroise (PNMI), et d'une contribution (logistique/sécurité) des marins de l'île de Sein et de la SNSM (National Sea Rescue Society). Les plongées hivernales ont bénéficié aux marins de l'île de Sein (X. Guilcher, G. Kerloc'h, J.M. Guilcher) et leur disponibilité généreuse, leur curiosité, leur expertise et leur connaissance de la mer et de la sécurité des opérations par la SNSM (J. Fouquet, G. Fouquet). Nous leur présentons nos plus sincères remerciements et espérons continuer à travailler avec eux dans le cadre de futures enquêtes. Les auteurs aimeraient également remercier les deux évaluateurs anonymes pour leurs précieux commentaires et leurs suggestions constructives.

Déclaration d'autorisation

Ce travail a reçu l'autorisation et le financement du DRASSM (Département de la recherche archéologique sous-marine et sous-marine) en 2022 (autorisation no. OA 4958), 2023 (autorisation no. OA 5193) et 2024 (autorisation no. OA 5346) - Ministère de la Culture, France.

Divulgarion des conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent sur leur honneur qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts à signaler.

Déclaration d'approbation éthique

Les auteurs déclarent sur leur honneur qu'ils ont obtenu l'approbation éthique et le consentement éclairé de toutes les personnes et institutions qui ont contribué à cette étude.

Contribution

Yves Fouquet : Conceptualisation ; Enquête ; Analyse formelle ; Rédaction - brouillon original ; Visualisation

Jean Michel Keroullé : Coordination des plongées ; Enquêtes ; Analyse formelle ; Rédaction - projet original.

Pierre Stéphan : Conceptualisation ; Analyse formelle ; Rédaction - brouillon original ; Visualisation

Yvan Pailler : Conceptualisation ; Analyse formelle ; Rédaction - révision et édition.

Philippe Bodénès : Coordination des plongées ; Enquête ; Analyse formelle ; Rédaction - projet original

François Pernot : Rédaction - brouillon original

Thierry Normant : Enquêtes sur la plongée ; Mesures des fonds marins et vidéo

Philippe Corre : Enquêtes sur la plongée ; photogrammétrie des fonds marins

William Legrand : Enquêtes sur la plongée ; Mesures des fonds marins et vidéo

Christophe Lebranchu : Enquêtes sur la plongée ; Mesures du fond marin et vidéo

Jean Roulot : Enquêtes sur la plongée ; Mesures du fond marin et vidéo

Julien Dubreuil : Enquêtes sur la plongée ; Mesures des fonds marins et vidéo

Géraldine Gaillères : Enquêtes sur la plongée ; Mesures et vidéo du fond marin

Xavier Poncet : Enquêtes sur la plongée ; Mesures des fonds marins et vidéo

Bibliographie

Arbousse-Bastide, T. (2001). Industries lithiques en Cap-Sizun. *Bulletin de l'AMARAI*, 14, 45–65.

Bailey, G., Galanidou, N., Joens, H., Lueth, F. & Peeters, H. (2020). *The Archaeology of Europe Drowned Landscapes*, Springer, Coastal Research Library, 35.

Baltzer, A., Bonnot-Courtois, C., Cassen, S., Fournier, J., Lorin, A., Cagna, R. & Gillier, A. (2010). Reconnaissance de menhirs subtidaux par sonar latéral et bathymétrie fine en baie de Quiberon. *XIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Editions Paralia*, 439–448. doi:10.5150/jngcgc.2010.052-B

Baltzer, A., Cassen, S., Walter-Simonnet, A.-V., Clouet, H., Lorin, A. & Tessier, B. (2015). Variations du niveau marin Holocène en Baie de Quiberon (Bretagne sud) : marqueurs archéologiques et sédimentologiques. *Quaternaire*, 26(2), 105–115. doi:10.4000/quaternaire.7201

Bernard, V., Billard, C., Clavel, B., Ganne, A., Guillon, M., Herrscher, E., Jaouen, G., Oberlin, C. & Werthe, E. (2016). Approches globales et synthèse sur les pêcheries de la fin du Néolithique et du début de l'âge de Bronze. In C. Billard & V. Bernard (Eds.), *Pêcheries de Normandie - Archéologie et histoire des pêcheries littorales du département de la Manche* (pp. 357–404). Presses Universitaires de Rennes.

International Journal of Nautical Archaeology – In Press – December 2025

Berrou, P.-J. & Gouletquer, P. (1973). L'Épipaléolithique de la région de Plovan (Finistère) (note préliminaire). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 70, 166–172. doi:10.3406/bspf.1973.8243

Billard, C. & Bernard, V. (2016). Les barrages à poissons au Mésolithique. Une économie de prédation ou de production ? In C. Dupont & G. Marchand (Eds.), *Archéologie des chasseurs-cueilleurs maritimes. De la fonction des habitats à l'organisation de l'espace littoral / Archaeology of maritime hunter-gatherers. From settlement function to the organization of the coastal zone* (pp. 113–125). Société préhistorique française.

Billard, C., Daire, M.-Y., Martin, C., Billaud, Y., Bizien-Jaglin, C., Chancerel, A., Cliquet, D., Fourment, N., Gandois, H., Huet, B., Laforge, M., Langouet, L., Laporte, L., Large, J.-M., Leroy, F., Lopez-Romero, E., Monnier, J.-L., Ropars, A., Saint-Blancard, P.R., Stéphan, P. & Vallin, L. (2016). Un premier inventaire des sites préhistoriques submergés au large des côtes françaises. *Bulletin de l'AMARAI*, 29, 5–49.

Billard, C., Daire, M.-Y., Martin, C., Billaud, Y., Bizizn-Jaglin, C., Chancerel, A., Cliquet, D., Fourment, N., Gandois, H., Huet, B., Laforge, M., Langouët, L., Laporte, L., Large, J.-M., Leroy, F., Lopez-Romero, E., Mau-

- rel, L., Monnier, J.-L., Regaldo, P., Ropars, A., Stéphan, P. & Vallin, L. (2020). Chapter 12 - France: Submerged Prehistory on Atlantic and Mediterranean Coasts. In G. Bailey, N. Galanidou, H. Joens, F. Lueth & H. Peeters (Eds.), *The Archaeology of Europe Drowned Landscapes* (pp. 249–280). Springer.
- Cassen, S. (2007). Le Mané Lud en images: interprétations de signes gravés sur les parois de la tombe à couloir néolithique de Locmariaquer (Morbihan). *Gallia Préhistoire*, 49, 197–258. doi:10.3406/galip.2007.2455
- Cassen, S., Audren, C., Hinguant, S., Chancerel, G. & Marchand, G. (1998). L'habitat Villeneuve-Saint-Germain du Haut-Mée (Saint-Étienne-en-Coglès, Ille-et-Vilaine). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 95, 41–76. doi:10.3406/bspf.1998.10734
- Cassen, S., Baltzer, A., Lorin, A., Sellier, D., C., B., Menier, D. & Rousset, J.-M. (2010). Prospections archéologiques et géophysiques de stèles néolithiques submergées en baie de Quiberon (Morbihan). *Cahier d'Archéologie Subaquatique*, 18, 5–32.
- Cassen S., Lanos P., Dufresne P., Oberlin C., Delque-Količ, E. & Le Goffic M. (2009). Datations sur site (Tables des Marchands, alignement du Grand Menhir, Er Grah) et modélisation chronologique du néolithique morbihanais. In S. Cassen (Ed.), *Autour de la Table, explorations archéologiques et discours savants sur une architecture restaurée à Locmariaquer, Morbihan (Table des Marchands et Grand Menhir)* (pp. 737–768). LARA, CNRS, Université de Nantes.
- Cassen, S., Grimault, V. & Obeltz, C. (2019a). Architectures monumentales néolithiques submergées en Morbihan. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 156, 60–66. doi:10.4000/nda.7021
- Cassen, S., Marchand, G., Ménanteau, L., Poissonnier, B., Cadot, R. & Viau, Y. (1999). Néolithisation de la France de l'Ouest : témoignages Villeneuve-Saint-Germain, Cerny et Chambon sur la Loire angevine et atlantique. *Gallia Préhistoire*, 41, 223–248. doi:10.3406/galip.1999.2165
- Cassen, S., Rodríguez-Rellán, C., Fábregas Valcarce, R., Grimaud, V., Pailler, Y. & Schulz Paulsson, B. (2019b). Real and ideal European maritime transfers along the Atlantic coast during the Neolithic. *Documenta Praehistorica*, 46, 308–325. doi:10.4312/dp.46.19
- Clark, P. (2004). *The Dover Bronze Age Boat*. Liverpool University Press.
- Daire, M.-Y. & Langouët, L. (2011). Dater les anciennes pêcheries par les niveaux marins. Approche méthodologique et perspectives géoarchéologiques : le Bas Léon, nord Finistère, Bretagne. *Norois*, 220, 69–93. doi:10.4000/norois.3680
- Daire, M.-Y. & Langouët, L. (2010). *Les anciens pièges à poissons des côtes de Bretagne, un patrimoine au rythme des marées*. Les Dossiers du Centre Régional d'Archéologie d'Alet.
- Daire, M.-Y., Langouët, L., Le Pache, M. & Le-Pache, J.-L. (2009). Les anciens pièges à poissons de l'archipel de Bréhat (Côtes d'Armor). *Bulletin de l'AMARAI*, 93–105.
- Dupont, C. (2003). Les coquillages alimentaires des dépôts et amas coquilliers du Mésolithique récent/final de la façade atlantique de la France. *Préhistoires Méditerranéennes*, 12, 221–238. doi:10.4000/pm.345
- Dupont, C. & Marchand, G. (2021). New paradigms in the exploitation of Mesolithic shell middens in Atlantic France: The example of Beg-er-Vil, Brittany. *Quaternary International*, 584, 59–71. doi:10.1016/j.quaint.2020.09.043
- Dupont, C., Marchand, G., Carrión Marco, Y., Desse-Berset, N., Gaudin, L., Gruet, Y., Marguerie, D. & Oberlin, C. (2010). Beg-an-Dorchenn (Plomeur, Finistère): une fenêtre ouverte sur l'exploitation du littoral par les peuples mésolithiques du VI^e millénaire dans l'Ouest de la France. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 107, 227–290. doi:10.3406/bspf.2010.13929
- Dupont, C., Tresset, A., Desse-Berset, N., Gruet, Y., Marchand, G. & Schulting, R. (2009). Harvesting the Seashores in the Late Mesolithic of Northwestern Europe: A View From Brittany. *Journal of World Prehistory*, 22, 93–111. doi:10.1007/s10963-009-9017-3
- Fouquet, Y., Barrière, M., Chauris, L., Guilcher, A., Lefort, J.P. & Pelhate, A. (1985). *Carte géologique de la France. Pointe du Raz*. Orléans, Ed. BRGM.
- Gandois, H. (2019). Archéologie d'éstran en contexte insulaire : l'exemple de l'archipel de Molène. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 156. doi:10.4000/nda.6891
- Gandois, H., Stéphan, P., Cuisnier, D., Hulot, O., Ehrhold, A., Paul, M., Dantec, N.L. & Franzetti, M. (2018). The Stone Tidal Fish Weirs of the Molène Archipelago, Iroise Sea, Brittany, Western France: a long-term tradition with early megalithic origins. *International Journal of Nautical Archaeology*, 47, 5–27. doi:10.1111/1095-9270.12277
- García-Artola, A., Stéphan, P., Cearreta, A., Kopp, R.E., Khan, N.S. & Horton, B.P. (2018). Holocene sea-level

database from the Atlantic coast of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 196, 177–192. doi:10.1016/j.quascirev.2018.07.031

Geersen, J., Bradtmöller M., Schneider von Deimling, J., Feldens P., Auer, J., Held, P., Lohrberg, A., Supka, R., Hoffmann, J.J.L. Eriksen, B.V., Rabbel, W., Karlsen, H.-J., Krastel, S., Brandt D., Heuskin, D. & Lübke H. (2024). A submerged Stone Age hunting architecture from the Western Baltic Sea. *PNAS*, 121, 8, e2312008121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2312008121>

Goslin, J., Vliet-Lanoë, B.V., Stéphan, P., Delacourt, C., Fernane, A., Gandouin, E., Hénaff, A., Penaud, A. & Suanez, S. (2013). Holocene relative sea-level changes in western Brittany (France) between 7600 and 4000 cal. BP: Reconstitution from basal-peat deposits. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 19, 425–444. doi:10.4000/geomorphologie.10386

Gouletquer, P., Kayser, O., Le Goffic, M., Léopold, P., Marchand, G. & Moullec, J.-M. (1996). Où sont passés les Mésolithiques côtiers bretons? Bilan 1985-1995 des prospections de surface dans le Finistère. *Revue Archéologique de l'Ouest*, 13,, I 5–30. doi:10.3406/rao.1996.1037

Hascoët, J. (2016). Ker-Is ou la ville de l'Autre Monde. Historiographie d'une légende armoricaine. *Bulletin de la Société archéologique du Finistère*, 144, 167–183.

Hauguel-Bleuven, L., Bougio, Y., Duvollet, D. & Marchand, G. (2021). Le Mésolithique en Cornouaille (Finistère). *Revue Archéologique de l'Ouest*, 37, 7–39. doi:10.4000/rao.6458

Hinguant, S. & Boujot, C. (2010). Les pierres couchées de Belz ou la découverte d'un ensemble mégalithique. In J.-P. Demoule (Ed.), *La révolution néolithique dans le monde* (pp. 383–397). CNRS Éditions, Paris.. doi:10.4000/books.editions-cnrs.15749

Langouët, L. & Daire, M.-Y. (2009). Ancient Maritime Fish-Traps of Brittany (France): A Reappraisal of the Relationship Between Human and Coastal Environment During the Holocene. *Journal of Maritime Archaeology*, 4, 131–148. doi:10.1007/s11457-009-9053-2

Large, J.-M. & Mens, E. (2015). The stone rows of Hoedic (Morbihan) and the construction of alignments in western France. In L. Laporte & C. Scarre (Eds), *The Megalithic Architectures of Europe* (pp. 183–196). Oxbow Books. doi:10.2307/j.ctvh1dpw8.22

Le Carguet, H. (1920). La ville d'Is. *Bulletin de la Société archéologique du Finistère*, 47, 3–25.

Marchand, G. (2021). Degrés d'hydrosolubilité du Mésolithique en France. *Bulletin de la société archéologique Champenoise*, 113, 2–3, 333–357.

Marchand, G. (2019). Courbes et légendes autour de l'île mésolithique des Birvideaux. *Bulletin de l'AMARAI*, 32, 7–22.

Marchand, G. (2017). Les murs de l'Atlantique : aux origines du phénomène mégalithique dans l'Ouest de la France. In L. Manolakakis, N. Schlanger, & A. Coudart (Eds), *European Archaeology -Identities & Migrations* (pp. 387–408). Sidestone Press.

Marchand, G. (2014). *Préhistoire Atlantique, fonctionnement et évolution des sociétés du Paléolithique au Néolithique*. Éditions Errance.

Marchand, G. (2005). Le Mésolithique final en Bretagne: une combinaison des faits archéologiques. *Mémoires de la Société préhistorique française*, 36, 67–86.

Marchand, G. & Musch, G. (2013). Bordelann et le Mésolithique insulaire en Bretagne. *Revue Archéologique de l'Ouest*, 30, 7–36. doi:10.4000/rao.2030

Marchand, G. & Schulting, R.J. (2019). Chronologie du second Mésolithique dans le Nord-Ouest de la France. In R.-M. Arbogast, S. Grisel, C. Jeunesse, & F. Séara (Eds), *Le second Mésolithique, des Alpes à l'Atlantique (VII^e-V^e millénaire)*. Table ronde internationale, Strasbourg (pp. 109–125). Mémoire d'Archéologie du Grand-Est. ,

McQuade, M. & O'Donnell, L. (2007). Late Mesolithic fish traps from the Liffey estuary, Dublin, Ireland. *Antiquity*, 81, 569–584. doi:10.1017/S0003598X00095594

Neill, S.P., Scourse, J.D. & Uehara, K. (2010). Evolution of bed shear stress distribution over the northwest European shelf seas during the last 12,000 years. *Ocean Dynamics*, 60, 1139–1156. doi:10.1007/s10236-010-0313-3

Nunn, P.D., Créach, A., Gehrels, W.R., Bradley, S.L., Armit, I., Stéphan, P., Sturt, F. & Baltzer, A., 2022. Observations of postglacial sea-level rise in northwest European traditions. *Geoarchaeology*, 37, 577–593. doi:10.1002/gea.21898

O'Shea, J.M., Lemke, A.K., Sonnenburg, E.P., Reynolds, R.G. & Abbott, B.D. (2014). A 9,000-year-old caribou hunting structure beneath Lake Huron. *PNAS*, 111, 19, 6911–6915. doi: 10.1073/pnas.1404404111

- Pailler, Y., Marchand, G., Blanchet, S., Guyodo, J.-N. & Hamon, G. (2007). La place du Villeneuve-Saint-Germain dans la néolithisation de la péninsule Armoricaire: Les débuts d'une enquête. *Mémoire XLIV de la Société préhistorique française*, 91–111.
- Pailler, Y. & Nicolas, C. (2022). Archipel de Molène: un patrimoine archéologique sous pression. In P. Stéphan & C. Tissot (Eds.), *Atlas de la réserve de biosphère des îles et de la mer d'Iroise* (pp. 214–236). Châteaulin, Locust Solus.
- Pailler, Y., Stéphan, P., Gandois, H., Nicolas, C., Sparfel, Y., Tresset, A., Donnart, K., Dréano, Y., Fichaut, B., Suanez, S., Dupont, C., Audouard, L., Marcoux, N., Mougne, C., Salanova, L., Sellami, F., Dietsch-Sellami, M.-F. & By, W.C. (2014). Landscape Evolution and Human Settlement in the Iroise Sea (Brittany, France) during the Neolithic and Bronze Age. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 80, 105–139. doi:10.1017/ppr.2014.9
- Pailler, Y., Stéphan, P., Gandois, H., Nicolas, C., Sparfel, Y., Tresset, A., Donnart, K., Fichaut, B., Suanez, S., Dupont, C., Le Clézio, L., Marcoux, N., Pineau, A., Salanova, L., Sellami, F., Debue, K., Josselin, J. & Dietsch-Sellami, M.-F. (2011). Évolution des paysages et occupation humaine en mer d'Iroise (Finistère, Bretagne) du Néolithique à l'Âge du Bronze. *Noroi*, 220, 39–68. doi:10.4000/noroi.3662
- Pedersen, L. (1995). 7000 years of fishing: stationary fishing structures in the Mesolithic and afterwards. In A. Fischer (Ed.), *Man and Sea in the Mesolithic. Coastal Settlement Above and Below Present Sea Level* (pp. 75–86). Oxbow Monographs.
- Philippe, M. (2019). Un aperçu de la navigation néolithique sur les côtes du nord-ouest de l'Europe, en l'état actuel des sources documentaires. In Y. Pailler & C. Nicolas (Eds.), *Une Maison Sous Les Dunes: Beg Ar Loued, Île Molène, Finistère. Identité et Adaptation Des Groupes Humains En Mer d'Iroise à La Transition IIIe-IIe Millénaire Avant Notre Ère* (pp. 139–156). Sidestone Press.
- Philippe, M. (2018). Un état des connaissances sur la navigation préhistorique en Europe atlantique. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 115, 567–598.
- Pickard, C. & Bonsall, C. (2007). Late Mesolithic coastal fishing practices: The evidence from Tybrind Vig. In B. Hårdh, K. Jennbert & D. Olausson (Eds.), *On the Road. Studies in Honour of Lars Larsson* (pp. 176–183). Almqvist & Wiksell International.
- Raffin, C. (2003). *Bases biologiques et écologiques de la conservation du milieu marin en mer d'Iroise*. PhD Thesis. Université de Bretagne occidentale, Brest.
- Schulting, R., Tresset, A. & Dupont, C. (2004). From harvesting the sea to stock rearing along the Atlantic façade of north-west Europe. *Environmental Archaeology*, 9, 143–154. doi:10.1179/env.2004.9.2.143
- Schulting, R.J. & Richards, M.P. (2001). Dating women and becoming farmers: new palaeodietary and AMS dating evidence from the Breton Mesolithic cemeteries of Tévéc and Hoëdic. *Journal of Anthropological Archaeology*, 20, 314–344.
- Schulz Paulsson, B. (2019). Radiocarbon dates and Bayesian modeling support maritime diffusion model for megaliths in Europe. *PNAS*, 116, 3460–3465. doi:10.1073/pnas.1813268116
- Simões, L.G., Peyroteo-Stjerna, R., Marchand, G., Bernhardsson, C., Vialet, A., Chetty, D., Alaçamlı, E., Edlund, H., Bouquin, D., Dina, C., Garmond, N., Günther, T. & Jakobsson, M. (2024). Genomic ancestry and social dynamics of the last hunter-gatherers of Atlantic France. *PNAS*, 121, 10, e2310545121. doi: 10.1073/pnas.2310545121.
- Stéphan, P., Gandois, H., Ehrhold, A., Le Dantec, N., Franzetti, M., Pailler, Y., Baltzer, A. & Jouet, G. (2019). De l'usage de certaines pêcheries à l'âge du Bronze ancien dans l'archipel de Molène. In Y. Pailler & C. Nicolas (Eds.), *Une Maison Sous Les Dunes: Beg Ar Loued, Île Molène, Finistère. Identité et Adaptation Des Groupes Humains En Mer d'Iroise à La Transition IIIe-IIe Millénaire Avant Notre Ère* (pp. 109–123). Sidestone Press.
- Stéphan, P., Goslin, J., Pailler, Y., Manceau, R., Suanez, S., Van Vliet-Lanoë, B., Hénaff, A. & Delacourt, C. (2015). Holocene salt-marsh sedimentary infilling and relative sea-level changes in West Brittany (France) using foraminifera-based transfer functions. *Boreas*, 44, 153–177. doi:10.1111/bor.12092
- Stéphan, P. & Tissot, C. (2022). *Atlas de la réserve de biosphère des îles et de la mer d'Iroise*. Châteaulin, Locust Solus.
- Tinevez, J.-Y. (2022). L'habitat néolithique en Bretagne: un bilan des recherches, 1999–2018. *Revue Archéologique de l'Ouest*, 38. doi:10.4000/rao.8024
- Wright, E.V., Hedges, R.E.M., Bayliss, A. & van de Noort, R. (2001). New AMS radiocarbon dates for the North Ferriby boats – A contribution to dating prehistoric seafaring in northwestern Europe. *Antiquity*, 75, 726–34. doi:10.1017/S0003598X00089237

