

Gestion côtière :

guide pour utiliser les ressources archéologiques, paléoenvironnementales, historiques et artistiques



Archéologie, art et patrimoine côtier - des outils d'aide à la gestion côtière et à la planification des changements climatiques de part et d'autre de la Manche (Arch-Manche)

Ce projet a été mené par les organismes suivants:



Maritime Archaeology Trust



CRERS Centre de Recherche en Archéologie,
Centre National de la Recherche Scientifique



University of Ghent, Renard Centre of
Marine Geology, Department of Geology
and Soil Science



Deltares, Sub-surface and Groundwater
Systems Research Unit

Le projet a bénéficié d'un financement des fonds FEDER
à travers le programme Interreg IVA 2 Mers.



www.archmanche.hwtma.org.uk

www.archmanche-geoportal.eu

Images de couverture, du haut en bas : carte de l'île de Wight par A. Brannon 1862 (doc. R. McInnes). Photo ancienne de Ventnor Beach vers 1900 (Collection privée). Reculver Church, Kent par W. Daniell 1824 (doc. R. McInnes). Plongeurs fouillant l'épave du site de Alum Bay (doc. R. Brooks).

Le document reflète les vues des auteurs. Les dirigeants du programme INTERREG IVA 2 Mers ne sont pas responsables de l'utilisation qui peut être faite des informations contenues dans ce document.



Sommaire

Résumé

2

Le projet Arch-Manche

4

Apport de l'archéologie, du patrimoine et de l'art à la gestion côtière

6

Valeur des sources de données pour la compréhension des changements côtiers

16

Outils d'analyse des sources d'information sur les changements côtiers

20

Croiser les données pour l'analyse à long terme

48

Conclusions et recommandations

57

Contacts

58

Résumé

Les gestionnaires du littoral sont confrontés à un combat grandissant contre les effets de la mer, dans un contexte de changements climatiques, et contre ceux de la pression humaine sur la zone côtière. Ce document souligne la valeur d'indicateurs, jusqu'ici sous utilisés, mais qui sont utiles pour connaître les caractéristiques des changements côtiers sur le long terme. De plus, il fournit des outils de communication, sur les changements passés réels, de modélisation, sur les zones menacées et d'interprétation, sur les tendances de l'évolution côtière.

Pourquoi avoir initié ce projet ?

- Pour développer de nouveaux outils d'aide à la décision dans la gestion côtière. Lorsque, dans la gestion côtière, des décisions sont difficiles à prendre au regard de la détermination des niveaux de risques futurs, des bases scientifiques sont nécessaires à cette prise de décision. Le projet a traité les données scientifiques pour apporter des preuves de l'adaptation côtière sur le long terme.
- Pour extraire les données de sources sous-exploitées jusqu'ici : l'archéologie, l'art, les cartes, les graphiques et les photographies. Ces données fournissent des informations qualitatives et quantitatives sur l'évolution côtière et les réactions rétrospectives aux changements climatiques, à une échelle qui va de la dernière décennie à plusieurs millénaires. Ce potentiel n'avait pas encore été utilisé pour comprendre les changements côtiers sur le long terme.
- Pour démontrer la valeur des ressources archéologiques, historiques et artistiques dans la connaissance de l'évolution côtière sur le long terme, qui permet comprendre et de modéliser les changements passés et leurs interactions avec l'action humaine. Cette connaissance est utile pour planifier les changements actuels et futurs au regard de l'érosion côtière, des inondations et de l'instabilité littorale grandissante.

Quand le projet s'est-il déroulé et qui a-t-il impliqué ?

- Le projet s'est déroulé entre 2011 et 2014.
- Le projet a impliqué des partenaires du Royaume Uni, de France, de Belgique et des Pays-Bas, couvrant ainsi une grande partie du littoral de la Manche et du sud de la Mer du Nord.
- Le projet a été en partie financé par des fonds FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) à travers le programme Interreg IVA « 2 Mers ».

Comment le projet a-t-il été mené ?

- Les données scientifiques utilisées proviennent de sources d'information locales, régionales et nationales, sur la géologie, la géomorphologie, l'archéologie, l'histoire de l'art, les cartes et la photographie. L'utilisation de données préexistantes permet une exploitation optimale des ressources disponibles. Les sources utilisées couvrent le patrimoine, les bases de données environnementales et géologiques, les archives documentaires, les collections archéologiques, les ressources en ligne, les musées et galeries d'art, les collections privées et les publications.
- Le classement - Quatre méthodes complémentaires d'évaluation des sources, portant sur leur valeur informative sur les changements côtiers, ont été créées pour : 1) les données archéologiques et paléoenvironnementales ; 2) les représentations artistiques ; 3) les cartes et graphiques et 4) les photographies anciennes. Le classement permet d'identifier les sites présentant le plus fort potentiel et sur lesquels des investigations de terrain ont été ciblées. Il montre également quels sites ou quelles zones sont couverts par plusieurs types de données.
- Le terrain – une série d'approches archéologiques et paléoenvironnementales ont été menées sur le terrain, pour collecter des données sur les zones présentant le plus fort potentiel : des sites figurant sur des vues artistiques ont été visités pour recueillir des informations sur les conditions littorales actuelles. Le travail sur les zones intertidales et sous-marines, avec des méthodes appropriées, a permis de collecter des données sur les sites exposés ou enfouis et sur les vestiges paléo environnementaux. Les méthodes de prospections varient, depuis les classiques enregistrements sur estran ou ceux des plongeurs, jusqu'aux méthodes plus sophistiquées de cartographie sur des sites enfouis, à partir de bateaux. Des investigations plus intrusives incluent des forages destinés à collecter des échantillons mais aussi des fouilles archéologiques de plus grande ampleur. Les résultats de ces études de cas sont présentés dans le rapport.

• L'analyse utilise les bases de données et les outils SIG – pour extraire les informations de chaque série de données et les combiner ensuite. Une base de données commune, reliée à un SIG accessible en ligne, a permis aux partenaires de travailler sur la même plateforme avec un accès global aux données. Les analyses comprennent aussi bien des travaux spécifiques à chaque type de source, comme la comparaison entre tableaux et paysages actuels, que l'utilisation de séries de cartes pour déterminer les changements au fil du temps et l'analyse des données recueillies sur les sites archéologiques, ou encore la comparaison entre les résultats de campagnes de prospections et carottages géophysiques sur des paysages submergés. Ces résultats sont combinés pour fournir une analyse «multi-source» détaillée des changements, dans divers secteurs de part et d'autre de la Manche et du sud de la Mer du Nord. La modélisation en deux et trois dimensions a été réalisée grâce à l'utilisation de progiciels. En représentant une zone donnée à différentes périodes, une modélisation à «quatre dimensions» vient appuyer la démonstration des changements côtiers sur le long terme.

Quels sont les principaux résultats du projet?

- Une mise en évidence du potentiel des supports archéologiques, artistiques, cartographiques, photographiques pour comprendre les changements côtiers.
- Après identification des données, un système de classement a été appliqué :
 - 3150 sites archéologiques et contextes paléoenvironnementaux classés montrent que certains types de gisements atteignent des scores élevés, par leur capacité informative sur l'évolution côtière.
 - La classification de plus de 250 œuvres d'art révèle quels artistes ont produit les représentations les plus précises de la côte.
 - 101 cartes d'échelles variables, dont les plus anciennes remontent au 16^e s., ont été classées en fonction de leur précision topographique, géométrique et chronométrique.
 - 1115 photographies ont été évaluées de manière à identifier les vues côtières les plus significatives, et celles montrant des traits archéologiques et historiques.
- Les nouvelles données collectées sur les zones côtières, intertidales, et les petits fonds marins sont d'un apport significatif dans la compréhension de l'évolution des secteurs côtiers de la Manche et du sud de la mer du Nord.
- Les analyses et les modèles proposés fournissent des informations clés sur les processus affectant le littoral depuis au moins 10 000 ans, ce qui permet d'identifier les zones en évolution et celles qui sont plus stables.
- Les résultats et rapports détaillés sont fournis à travers le portail du projet, accessible à :

www.archmanche-geoportal.eu

Quelles sont les principales avancées du projet ?

- Le projet Arch-Manche invité à “regarder en arrière pour aller de l'avant” : la compréhension des changements passés permet de prévoir plus précisément les changements à venir et d'envisager leurs impacts potentiels.
- Les perspectives sur le long terme fournissent une solide base pour la planification côtière et le développement durable.
- Les zones littorales de la Manche- sud Mer du Nord sont particulièrement sujettes aux menaces naturelles, dont l'érosion côtière, les glissements de terrain et les submersions marines. Les données du projet permettent d'identifier les zones particulièrement vulnérables.
- Certaines zones côtières ont une plus grande stabilité physique dans le temps, et le projet permet donc d'identifier des zones de moindre risque.
- Même si les données d'observation du littoral sont généralement disponibles pour les dernières décennies, l'approche développée par Arch-Manche vient combler le grand “vide” pour les périodes plus anciennes, du Paléolithique au 20^e s.
- L'archéologie, le patrimoine côtier, l'art, les cartes et les photographies sont des sources de valeur, non seulement pour les scientifiques, les ingénieurs mais aussi les gestionnaires travaillant sur le littoral et prenant des décisions au quotidien.

Le projet Arch-Manche

Par le passé, les programmes de planification ont souffert d'un manque de connaissance des processus naturels qui façonnent actuellement nos zones côtières. En effet, de nombreux secteurs deviennent vulnérables car la fréquence des événements (érosion, submersion et instabilité côtière) s'accroît, tandis que la relation entre la terre et la mer évolue. Pendant la Préhistoire, la Manche n'existait pas et cette zone basse était peuplée par les premiers humains. De nombreuses traces archéologiques montrent que, dans cette zone, les anciennes populations se sont adaptées aux changements côtiers et à la montée du niveau marin. Les développements historiques qui ont suivi comprennent l'implantation d'infrastructures maritimes et d'industries côtières, illustrées par les témoignages archéologiques et artistiques. Ces derniers fournissent des données de haute résolution sur les changements côtiers au fil des millénaires.

Ce projet contribue donc à notre perception de l'évolution littorale et améliore notre appréciation des changements passés tout en proposant des outils d'aide à la prévision des futurs impacts sur les communautés littorales.

Le projet Arch-Manche visait le progrès de notre approche de l'échelle et du niveau d'évolution côtière sur le long terme en mobilisant diverses sources de données, y compris l'archéologie, les études paléoenvironnementales, les œuvres d'art, cartes, photographies ainsi que la littérature historique.

L'originalité du projet est de croiser les approches pour d'obtenir un maximum d'informations. En caractérisant les zones qui sont de longue date en érosion, les traits de côte soumis à une pression continue peuvent être identifiés. Certaines zones, où l'Homme est intervenu, ont été stabilisées tandis que d'autres ne l'ont pas été, et les effets des ouvrages défensifs peuvent être variables d'un secteur à l'autre. Les évaluations à long terme, sur de grandes étendues, sont nécessaires pour identifier les effets cumulés, tandis qu'une approche sur la durée peut fournir la continuité temporelle qui aidera à prédire les tendances futures.

L'évolution des niveaux marins et des côtes résulte de phénomènes qui échappent à notre contrôle. Ce fait doit être connu des populations vivant sur le littoral. Les archives interrogées dans le cadre de ce projet ont démontré que ces changements sont réels et que les hommes ont dû s'y adapter dans le passé. Cette étude est donc importante pour la gestion des zones marines et côtières dans la mesure où elle peut servir de base au développement de politiques durables en matière d'adaptation aux futurs changements climatiques et côtiers.

Financé par les fonds FEDER à travers le programme Interreg IVA «2 Mers», le projet a été dirigé par le Maritime Archaeology Trust (MAT) au Royaume Uni, en partenariat avec le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en France, l'université de Gand en Belgique et l'institut de recherche Deltares aux Pays-Bas. L'expérience scientifique des partenaires a permis une approche intégrée novatrice de l'utilisation des sources de données dans la région Manche-sud de la Mer du Nord.

Le projet a appliqué sa méthodologie à des zones d'études de cas qui présentent une série de conditions géomorphologiques différentes et des traits de côtes posant des problèmes de gestion variables.



▲ Grosses vagues battant la côte de Freshwater Bay pendant les tempêtes de janvier 2014, île de Wight, UK (cl. Anna Mustchin).



▲ Organisation du projet Arch-Manche et zones d'étude, voir p. 20 la carte de localisation détaillée.

Les résultats du projet comprennent :

- l'applicabilité des résultats à différentes situations de gestion côtière ;
- une meilleure vision des différentes échelles des changements côtiers ;
- une optimisation des sources de données sur l'évolution côtière à long terme ;
- des travaux de terrain ciblés visant la collecte de nouvelles informations sur les changements côtiers
- la hiérarchisation d'un grand nombre de données concernant l'archéologie, les paléoenvironnements, l'art et le patrimoine côtiers ;
- la réalisation d'une base de données dédiée, liée à une analyse SIG, comme support de la connaissance des changements côtiers ;
- l'ouverture d'un portail en ligne permettant un accès public complet aux résultats du projet.

A NOTER : Arch-Manche

But : montrer que l'archéologie, le patrimoine et les représentations artistiques peuvent fournir une vision inédite des changements côtiers à différentes échelles de temps.

Pourquoi : pour apporter des outils supplémentaires pour la gestion des zones côtières à travers des sources de données sous-utilisées jusqu'ici.

Où : dans la région de la Manche et du sud de la Mer du Nord, illustrée par les côtes d'Angleterre, de France, de Belgique et des Pays-Bas.

Comment : par des approches spécialisées dans la collecte, l'évaluation et l'analyse des données dans un certain nombre de zones d'étude, afin de cerner précisément les changements passés.

Apport de l'archéologie, du patrimoine et de l'art à la gestion côtière

Traditionnellement, les gestionnaires du littoral ont peu étudié les changements côtiers sur le long terme. Mais pour développer des stratégies durables, ou attribuer des fonds, il faut pouvoir identifier les principales causes de ces changements et leurs effets. L'origine de l'instabilité côtière est liée à une évolution géomorphologique progressive qui remonte à plusieurs milliers d'années. Cette situation répond aux fluctuations des conditions environnementales et aux effets des variations du niveau marin sur les couches géologiques.

Les impacts des changements côtiers et de la montée du niveau marin entraînant des prises de décisions, il est plus que jamais important d'appréhender globalement l'évolution des côtes sur le long terme afin de disposer de bases solides pour la prédiction des changements futurs. Dans la gestion côtière, des décisions peuvent être difficiles à prendre ou paraître impopulaires, ce qui renforce la valeur des données scientifiques sur les changements anciens et démontre la nécessité de renouveler les approches.

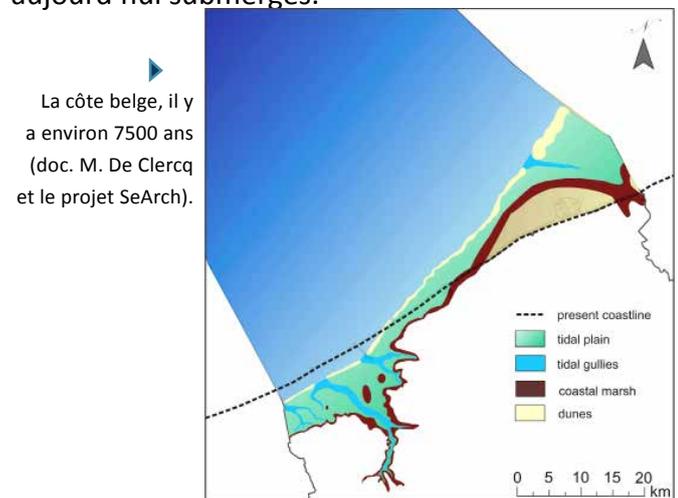
Les résultats d'études de sites archéologiques, de paysages anciens, de peintures, cartes et photographies anciennes peuvent être diversement utilisés. Arch-Manche a identifié, examiné et recherché des sites montrant des indicateurs de changements sur le long terme. Les résultats sont

Mesurer les changements

présentés ici.

Depuis combien de temps cette zone côtière évolue t'elle ?

Les ressources (cartes géologiques, analyses paléoenvironnementales, vestiges archéologiques), ont été combinées pour étudier en détail l'évolution de la côte belge dans la zone d'Ostende-Raversijde. La position passée du trait de côte a été cartographiée et l'étude des vestiges enfouis a permis de reconstituer les paléo paysages aujourd'hui submergés.



A NOTER : Qu'est ce que l'archéologie, le patrimoine et les représentations artistiques nous apprennent sur les changements côtiers ?

Données paléoenvironnementales – Elles témoignent des anciens paysages, depuis la Préhistoire jusqu'à aujourd'hui. Les analyses révèlent des traits de l'environnement, liés aux plantes, aux animaux et aux insectes, les types de sols, et leur nature (sec ou humide, salin ou saumâtre). L'observation de l'évolution de ces environnements illustre l'impact des hausses et baisses du niveau marin et leur lien avec l'adaptation littorale.

Archéologie – Les hommes ont occupé les zones côtières depuis des milliers d'années. Les implantations proches des zones littorales révèlent des installations spécifiques, comme par ex. des chemins aménagés pour traverser des marécages, et indiquent une adaptation aux environnements marins. L'étude des vestiges archéologiques montre que les hommes se sont adaptés au changement et, pour les périodes plus récentes, comment ils y ont contribué.

Cartes – Elles contiennent des témoignages sur les territoires et de leurs frontières et reflètent l'évolution des techniques et méthodes de mesure des paysages et des côtes. Ces descriptions détaillées des zones côtières montrent des changements, du 16^e s. à nos jours.

Art – Les peintures, dessins et gravures représentant les côtes peuvent être très détaillés dans les formes et la composition des zones littorales. Ces représentations, surtout avant l'invention de la photographie, fournissent des supports exceptionnels d'observation des zones côtières et surtout de leur changement physique, environnemental et social.

Photographies – Les plus anciennes vues photographiques des zones côtières sont des scènes populaires, souvent utilisées en cartes postales touristiques. Les premières photos livrent des données sur les côtes qui, comparées à des vues actuelles, révèlent des changements.



Sur les côtes françaises, il a été possible de comparer le rivage dépeint à la fin du 19^e s. dans ce tableau de C.F. Daubigny, avec l'actuel. Malgré la construction précoce d'un mur de défense et la plantation d'arbres pour stabiliser les dunes, des changements importants se manifestent dans l'érosion du site. La comparaison des images permet d'analyser les changements au cours des 150 dernières années.



Charles-François Daubigny, 1871

Conseil général du Finistère, 2011

Quelle fut l'évolution du niveau marin dans ce secteur par le passé ?

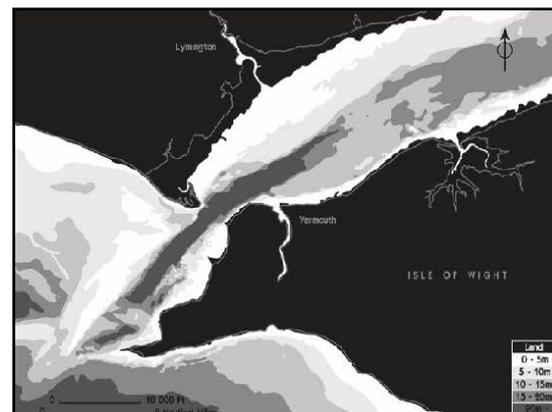
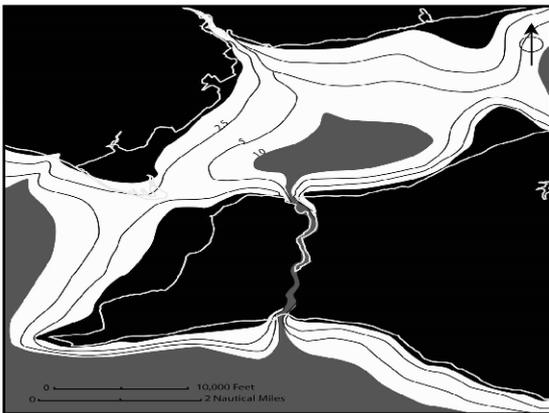
La variation du niveau marin a un impact direct sur les processus d'évolution affectant tous les bords de mer. Des changements importants du niveau marin

ont eu lieu au long de l'histoire de l'humanité, avec des niveaux beaucoup plus bas au Paléolithique, durant la dernière glaciation, ce qui signifie que de vastes étendues sont aujourd'hui submergées. Au cours du Mésolithique, il y a 10000 ans, un important réchauffement climatique a entraîné une montée du niveau des mers et la submersion de vastes étendues, jusqu'à l'époque romaine où les niveaux marins ont atteint leur cote actuelle.

La connaissance des échelles de variations du niveau marin fournit des données utiles à la prédiction des changements à venir. A Bouldnor Cliff, devant la côte NO de l'île de Wight, une série de paysages préhistoriques sumergés a livré des informations détaillées sur les phases de transgression et de stabilité et, à travers un programme de mesure, des données sur l'érosion moderne au quotidien et à micro-échelle. L'étude du site a également révélé qu'une hausse de niveau marin de portée relativement faible pouvait entraîner un changement dans le régime des courants, transformant une zone d'accrétion en zone d'érosion.

▲ Le village de Kérity-Penmarc'h, en Cornouaille, dans l'extrémité sud-ouest de la Bretagne, par C.F. Daubigny (1871), analyse par E. Motte (d'après Motte, 2013).

- Edification du milieu**
- Artificialisation des berges
 - ==== consolidation
 - ||| murs
 - jetée
- Intervention sur le milieu**
- Végétalisation volontaire
 - boisement
- Altération de la qualité écologique du milieu
 - ▲ algues vertes
- Evolution "naturelle" du milieu**
- Végétalisation spontanée
 - surfaces enherbées
- Dynamiques géomorphologiques
 - ⊕ modifications sédimentaires
- Altération du patrimoine bâti
 - ✕ ruines et disparition d'édifices



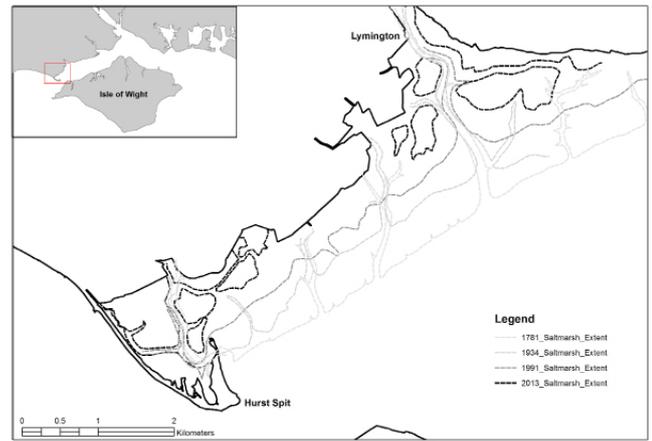
◀ Images montrant l'évolution du secteur ouest du Solent. Il y a 3500 ans, la rupture de la dernière portion de terrain reliant l'île transforme un marais en canal qui pouvait s'étendre sur 10 km de long et 60 m de profondeur. De forts courants marins qui se sont engouffrés dans le canal ainsi formé continuent encore aujourd'hui à éroder les rivages du Solent (doc. MAT).

Quelle est la vitesse d'érosion de cette zone de marais ?

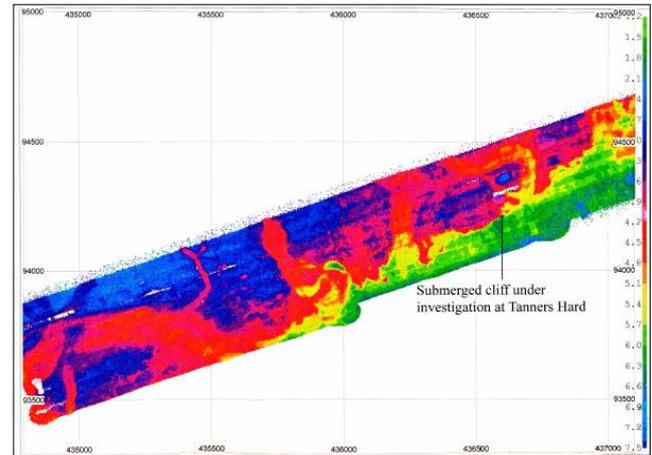
Les données combinées dans le cadre du projet Arch-Manche ont permis d'évaluer le changement dans différents secteurs. Dans le NO du Solent, sur la côte sud de l'Angleterre, un résultat important a été obtenu sur le niveau d'érosion de marais salés et de vasières intertidales. Les prospections subaquatiques, la surveillance de certains points de fonds marins, les cartes, les œuvres d'art et les prospections de géophysique marine ont été utilisées pour cartographier les changements dans ce secteur. La compréhension des processus de formation des niveaux sous-jacents dans le Solent peut permettre de résoudre les problèmes liés aux changements et d'anticiper sur les effets cumulatifs d'une future intervention sur la côte.

Comment mesurer le changement dans un environnement si dynamique ?

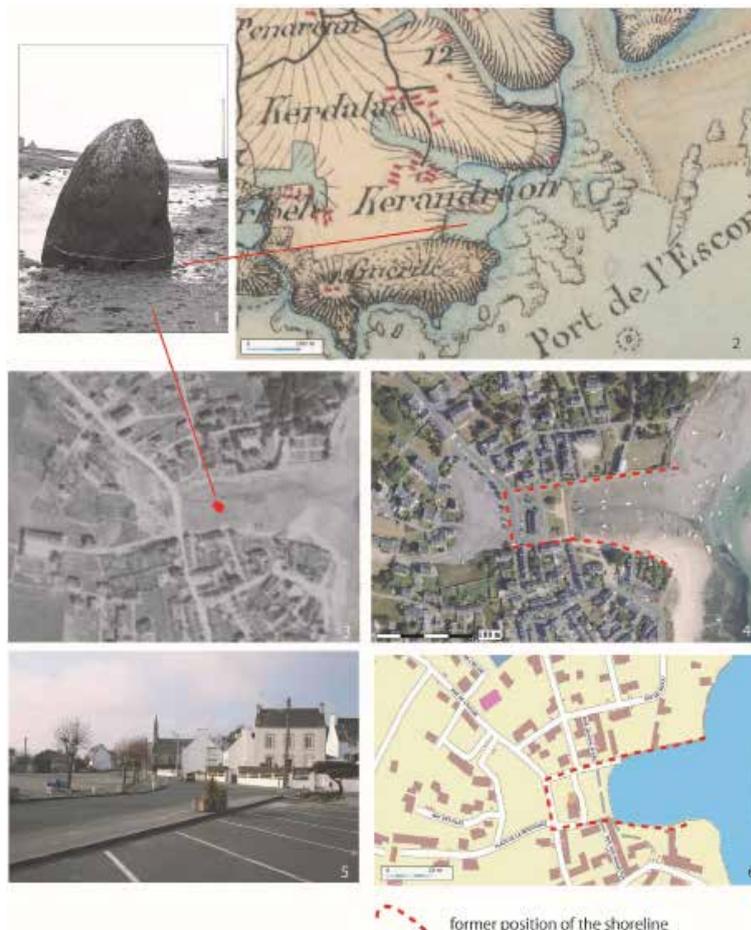
Arch-Manche montre comment les différentes sources de données fournissent des marqueurs de changements à différentes périodes. Dans le port de Lesconil (France), un menhir fournit une preuve claire de ce changement. Le monument a du être érigé pendant le Néolithique ou l'âge du Bronze, lorsque la zone était hors d'eau. Les photographies anciennes montrent que le menhir s'est retrouvé dans la zone intertidale, à la suite de la transgression marine. Plus récemment, il a été intégré dans l'aménagement portuaire, inclus dans une digue. D'autres sources, dont des cartes et photographies aériennes, permettent d'observer les changements au fil du temps.



▲ Régression des marais salés et vasières du nord-ouest du Solent (doc. MAT).



▲ Bathymétrie du nord-ouest du Solent (doc. MAT).



▲ A gauche : 1. Vue du menhir de Lesconil au début du 20^e s. (© Labo Archéosciences UMR 6566 CReAAH). 2. Localisation sur la carte d'état major du 19^e s. 3. Vue aérienne de l'IGN en 1952. 4. Vue aérienne de l'IGN en 2006. 5. Vue actuelle de la zone comblée (cl. M.Y. Daire). 6. Carte IGN de 2006.

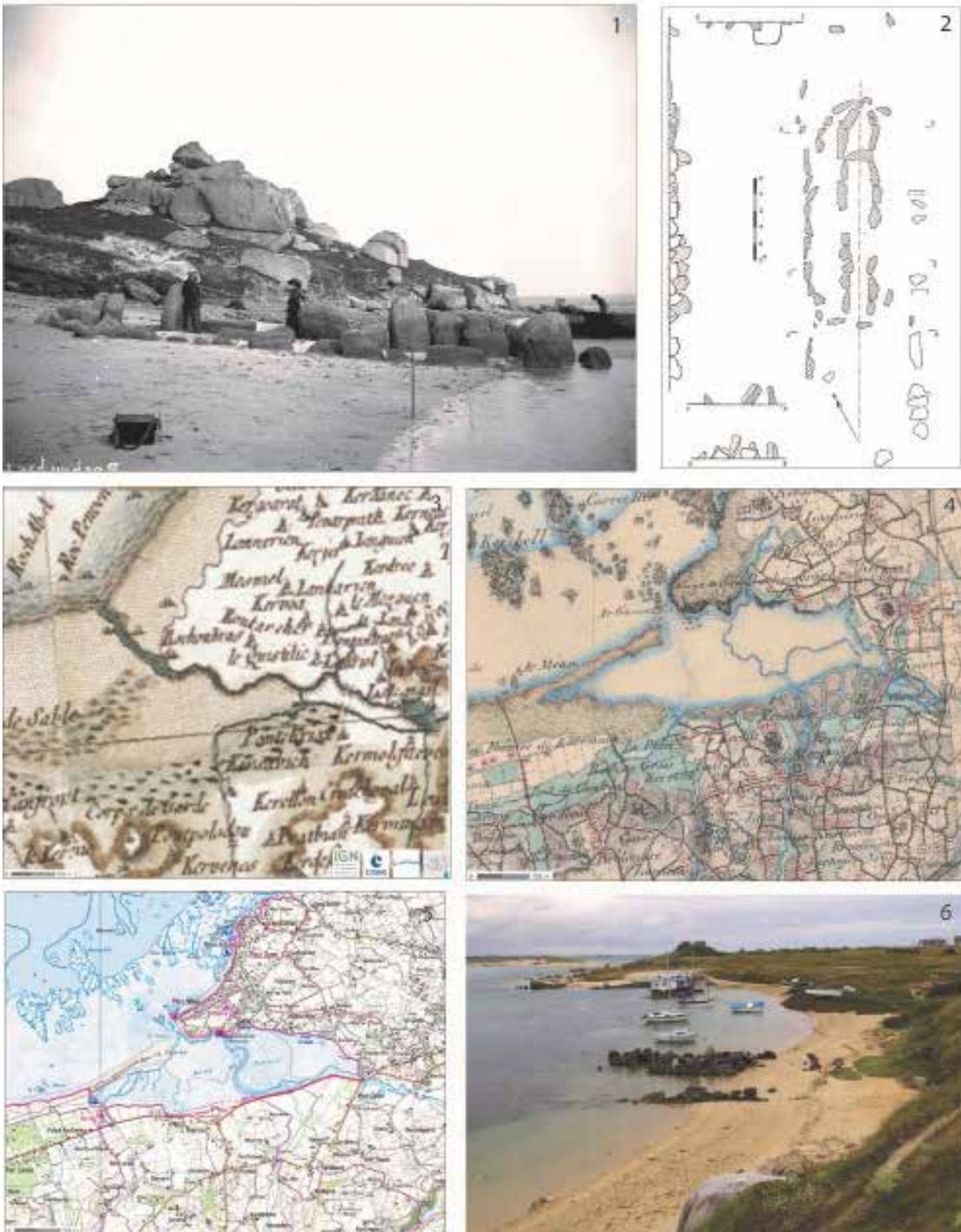
▲ Ci-dessus : Vues du menhir de Lesconil au début du 20^e s. (© Labo Archéosciences UMR 6566 CReAAH) et (bas) vues actuelles du menhir (cercle rouge).



Quel bénéfice tirer du croisement des sources pour comprendre les changements côtiers ?

Chaque type de données utilisées pour le projet fournit des informations différentes et complémentaires, utiles à la compréhension des changements littoraux. Certaines données offrent des vues à très long terme, spécialement les études archéologiques et paléoenvironnementales, tandis que d'autres sources, comme les cartes ou les tableaux, sont liées aux périodes historiques. Un plus grand nombre d'images est disponible pour les 150 dernières années, suite au développement de la photographie. En combinant les données issues de toutes ces sources, nous obtenons une vision globale des changements côtiers sur le long terme.

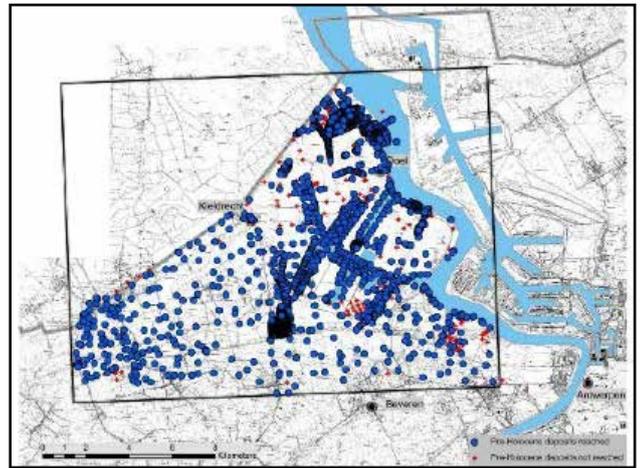
La combinaison de photographies et cartes anciennes, avec des cartes et photos plus récentes, pour les zones du nord Finistère et du Trégor, a fourni un aperçu complet du contexte des changements côtiers.



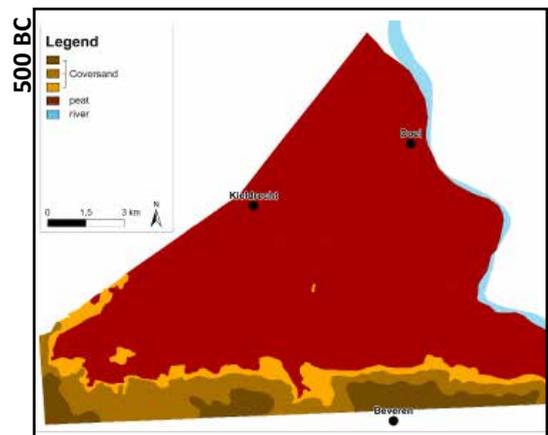
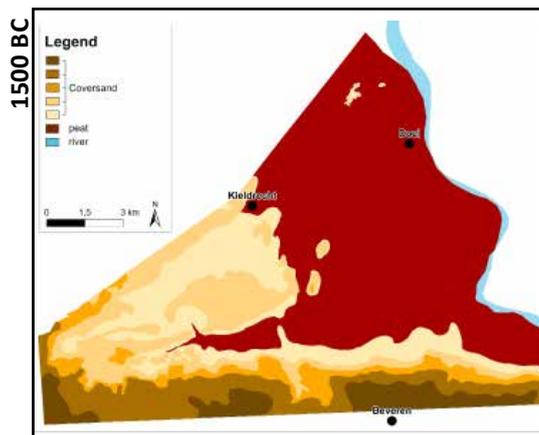
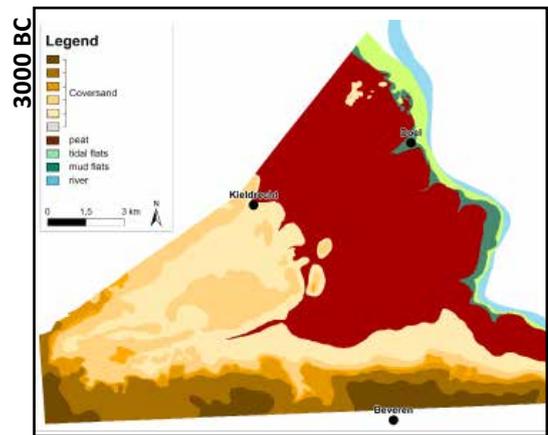
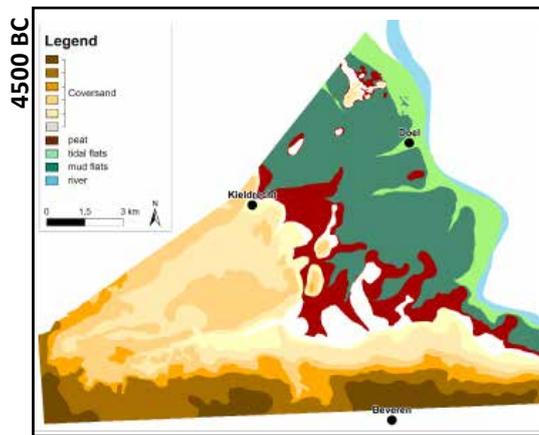
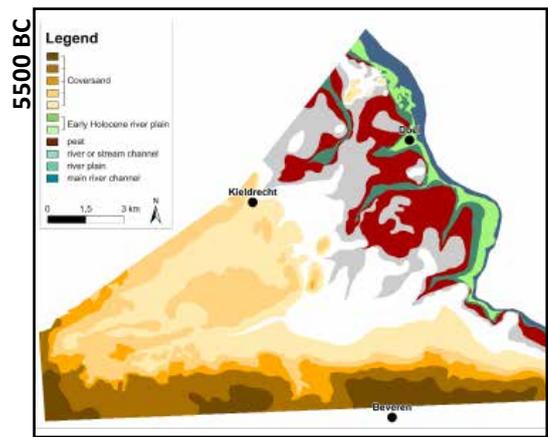
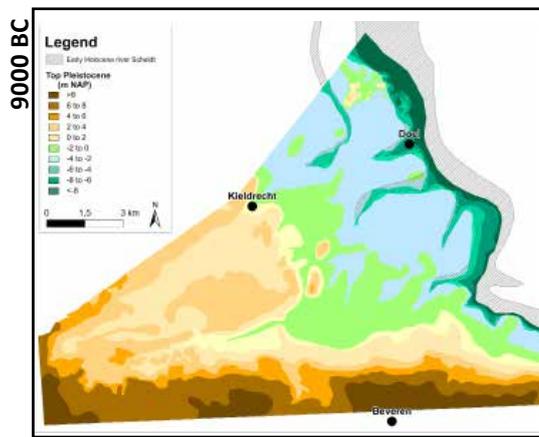
▲ Combinaison de documents visuels représentant l'allée couverte néolithique du Kernic (Plouescat, Finistère). 1. Début du 20^e s. photo du monument (© Labo Archéosciences UMR 6566 CREAAH). 2. Plan des vestiges néolithiques (doc. J. L'Helgouac'h, 1965). 3. Carte de Cassini (17^e s.). 4. Carte d'Etat major (1820-1866). 5. Carte IGN actuelle (source Géoportail). 6. Le monument aujourd'hui (doc. M. Monros).

Peut-on produire des données utiles pour les changements côtiers à partir d'éléments des paysages passés ?

Des échantillons de carottages livrent des informations sur les paysages passés. Leur analyse révèle les changements de types de sédiments en fonction de leur profondeur. Ils contiennent des données archéologiques et climatiques sur l'environnement de l'époque de leur dépôt. L'accumulation de ces niveaux génère des enregistrements séquencés des événements. Ces données permettent des reconstitutions des paysages archéologiques. Dans le Scheldt-polder (Belgique), une importante base de données des échantillons carottés permet de proposer des reconstitutions de l'évolution des paysages. La présence ou l'absence de niveaux d'argile ou de tourbe montre la relation entre les inondations naturelles et celles provoquées par l'Homme.



▲ Localisation des points où des données ont été utilisées pour la reconstitution des paléo paysages (bleu : données atteignant le niveau Pléistocène; rouge : données peu profondes. Le cadre noir indique les limites de la zone étudiée. La ligne grise indique la frontière entre la Belgique et les Pays-Bas (doc. K. Heirman, UGent).

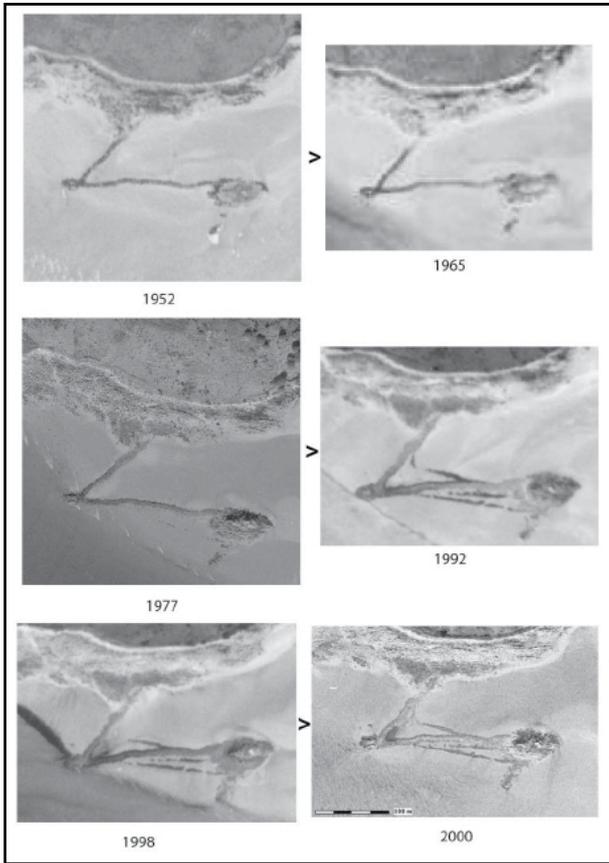


▲ Série de cartes paléo géographiques des Waasland Scheldt polders de 9000 BC à 500 BC (doc. K. Heirman, UGent).

Peut-on utiliser un élément du patrimoine comme indicateur de changements ?

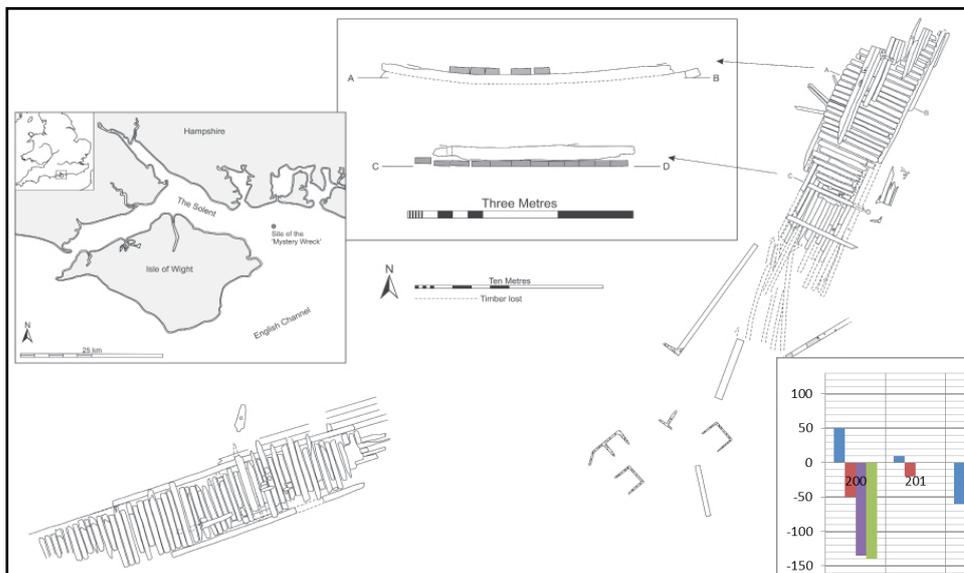
De nombreux vestiges archéologiques côtiers sont utiles en tant qu'indicateurs des changements, au fil du temps. La position de monuments remarquables, comme les mégalithes, les églises et les châteaux, peut être mesurée à partir de cartes, de photographies ou de tableaux. Les sites d'estran, illustrés par les barrages de pêcheries de Serval-Lannion, révèlent des détails sur des changements dans les flux sédimentaires.

L'évolution de la relation entre des structures archéologiques fixes et le paysage qui les entoure montre des déplacements qui, sur le court terme, peuvent paraître stable. Des vestiges immergés, comme les épaves de navires, sont utilisés dans la surveillance de sites où les changements sédimentaires sont enregistrés, pour démontrer l'évolution moderne des zones côtières et des petits fonds.



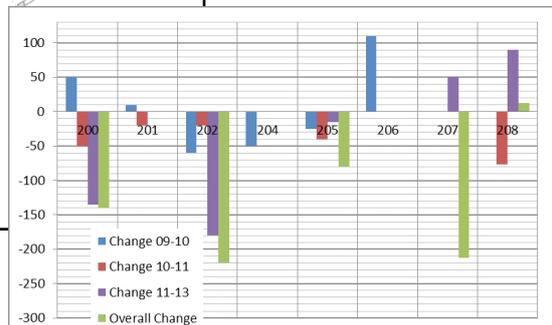
▲ En haut : la chapelle médiévale de Notre-Dame-de-la-Joie (Kerity, Penmarc'h), carte postale ancienne, cl. Villard vers 1900 (collection privée). En bas : La Torche Plomeur, blockhaus de la seconde guerre mondiale dans la plage, Finistère (doc. M. Monros).

▲ Evolution de la visibilité des barrages de pêcherie du Petit-Taureau (Serval-Lannion) et de l'évolution sédimentaire due à l'extraction de sable dans l'estuaire du Léguer (d'après Langouët et al. 2012, doc. IGN-Geoportail).



▲ A gauche : épave du Flower of Ugie, est du Solent, UK. Le site est divisé en deux zones, est et ouest. Des points d'observation ont été établis sur les deux sections du site (doc. MAT).

▼ En bas : Comparaison des enregistrements 2009-2013 dans la section orientale. Un chiffre négatif indique une perte de sédiment et un point positif indique une accumulation de sédiments (doc. MAT).



Présentation de l'évolution côtière aux intervenants

Comment démontrer les changements passés aux divers intervenants ?

La formule "un dessin vaut mieux qu'un long discours" est tout à fait adaptée quand il s'agit de démontrer le niveau de changement côtier à un large éventail d'acteurs de la gestion côtière.

Alors que les techniques scientifiques appliquées, l'analyse des vestiges archéologiques et des paysages, génèrent des données statistiques et textuelles, les représentations artistiques fournissent une vision immédiate et tangible des faits. Les photographies anciennes et les peintures des environs du château du Guido, sur la Côte d'Emeraude (France) donnent une vue détaillée des changements, sous une forme facilement accessible aux diverses parties prenantes.

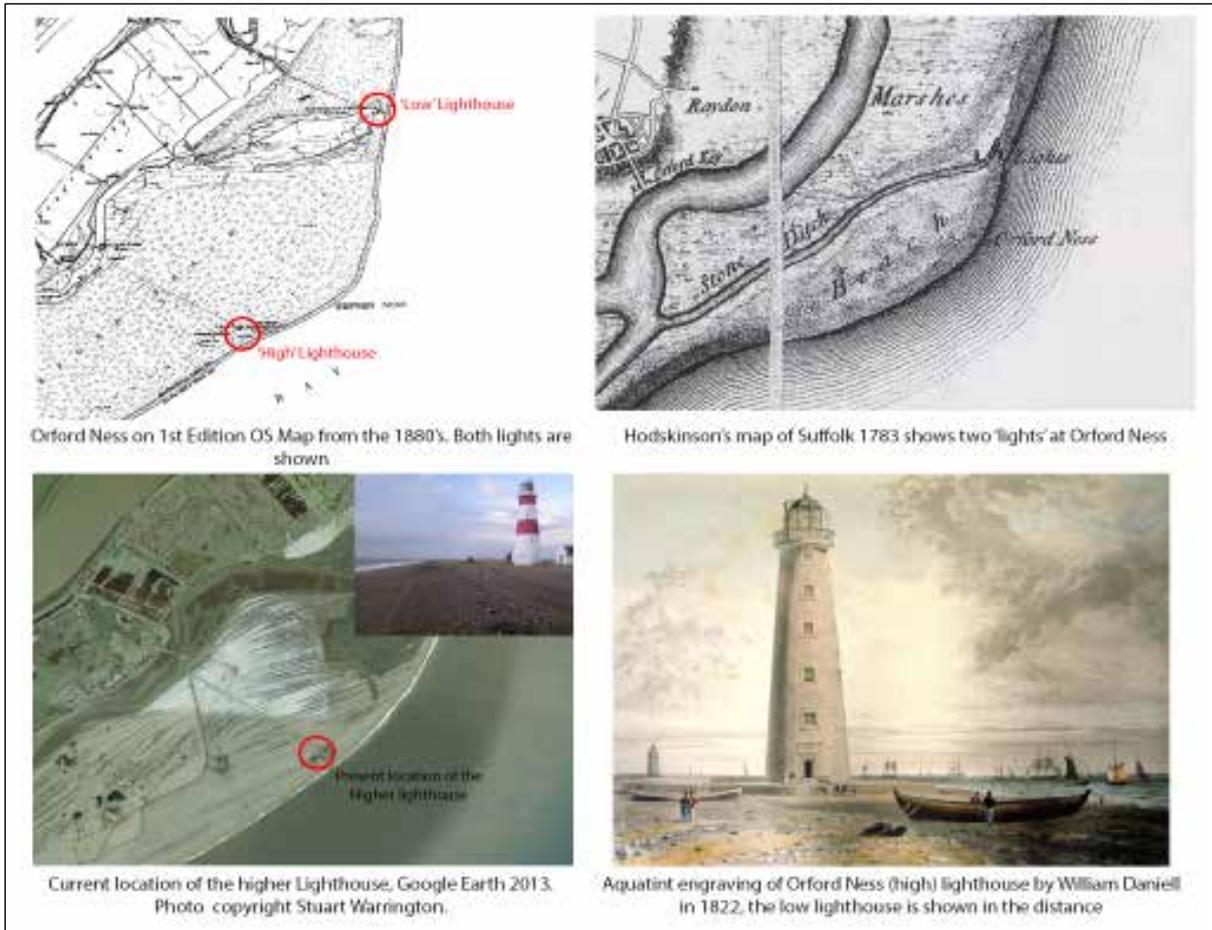


Blin François, Ruines du château du Guido, marée basse, 1866
(Lille, Musée des Beaux arts, inv. n° P689).

Ruins of the Guido castle, to compare with Blin painting
(after C. Feiss-Jehel, in Goeldner-Gianella et al., 2011).

▲ Ci-dessus : Diverses vues (cartes postales) et peinture du château du Guido (France) (cartes postales collection privée, peinture Musée de Beaux-Arts de Lille et photo. D'après Feiss-Jehel 2011).

Les représentations des phares d'Orford Ness, East Anglia (UK) montrent que les cartes et les peintures fournissent des preuves de changements, antérieurement à l'apparition de la photographie.



▲ Ci-dessus : Les phares d'Orford Ness représentés en 1783, 1822, 1880 et 2013. De tels monuments sont souvent présents sur les cartes historiques et les œuvres d'art et constituent d'excellents points de référence illustrant les changements côtiers ('Orford Ness' gravure, doc. Robin McInnes).

Comment représenter des paysages qui sont partiellement conservés, détruits, ou encore enfouis ou submergés ?

L'une des approches fondamentales du projet Arch-Manche est la création de reconstitutions 2-D, 3-D et 4-D pour présenter les zones de changement. La visualisation des paysages passés et de l'impact des changements côtiers offre des illustrations scientifiques accessibles à un large public.

Les données sur site du port de Yangtze, aux Pays-Bas, ont été utilisées pour développer un modèle du paysage mésolithique, qui a ensuite été ennoyé puis enfoui sous l'actuel niveau de fonds marins. Au-delà de cette modélisation formelle des paysages, les données des analyses paléoenvironnementales et archéologiques ont été utilisées pour produire des documents plus illustratifs des paysages anciens.

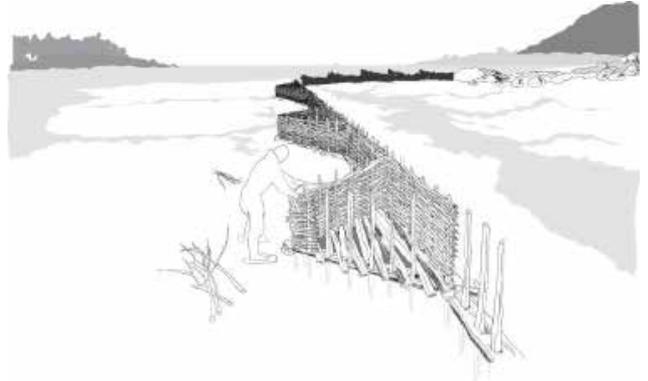


▲ Ci-dessus, à gauche : Reconstitution du paléo paysage du port de Yangtze vers 6400 BC (doc. Peter Vos). Milieu et à droite : Visualisations du paléo paysage vers 7000 BC (doc. M. Valkhoff, BOOR, Gemeente Rotterdam).

Des reconstitutions basées sur des prospections archéologiques, des fouilles et des analyses ont été réalisées sur le site de pêcheries du Petit Taureau, à Serval-Lannion (France). A l'heure actuelle, les vestiges de barrages subsistants dans la zone intertidale incluent, en surface, des éléments en pierre et des structures en bois enfouies sous les niveaux de sol. Des observations détaillées ont permis de reconstituer la phase la plus ancienne de la construction (7^e s. ap. J.-C.) et le fonctionnement de la structure dans son environnement, sur plus d'un millénaire.



▲ Photographie aérienne des barrages de pêcheries du Petit Taureau, montrant une vue cumulative des diverses phases de construction (photo prise au drone, doc. M. Mahéo et L. Langouët).

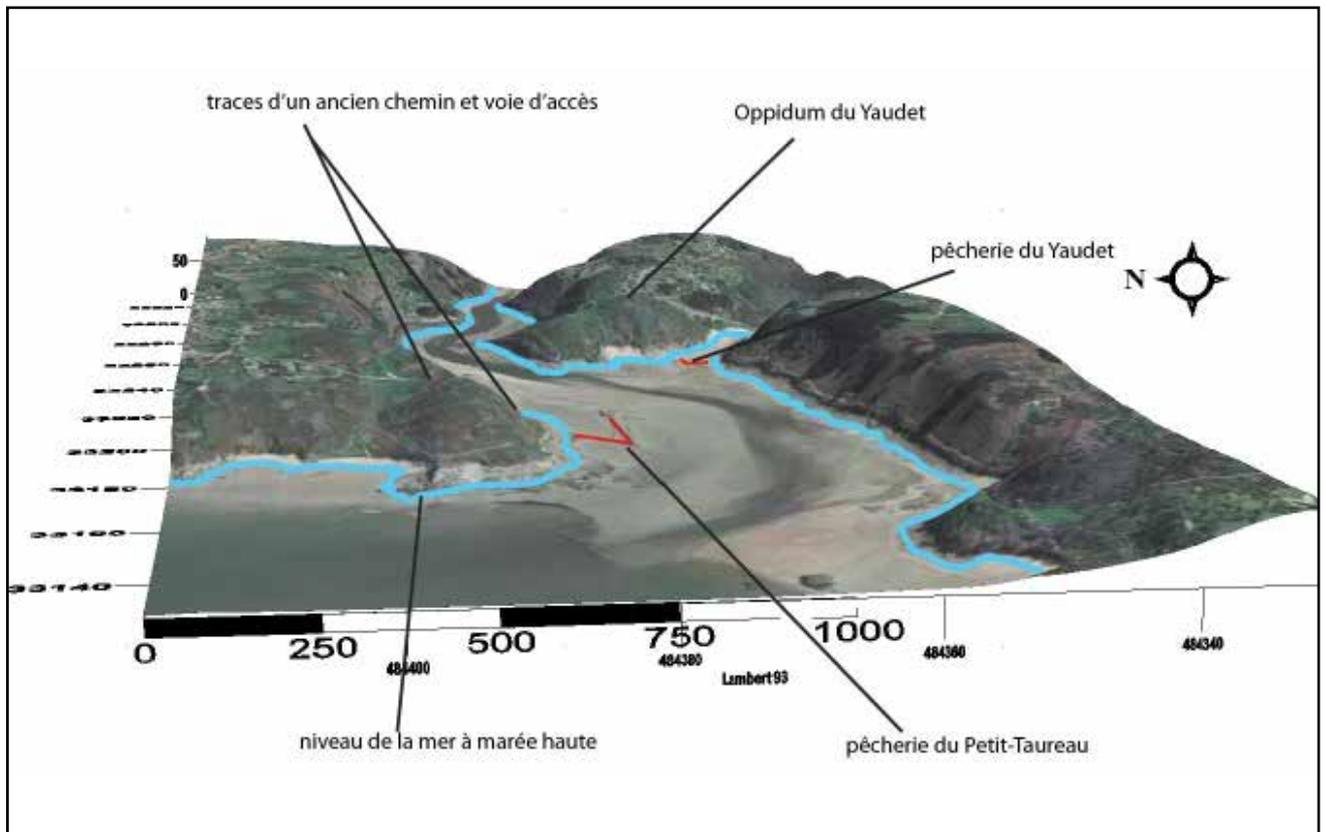


▲ Dessin proposant une reconstitution du fonctionnement du barrage de phase D1 (pêcheries du Petit Taureau, Serval Lannion) (doc. V. Bernard).

Les reconstitutions 3-D et 4-D favorisent-elles la compréhension ?

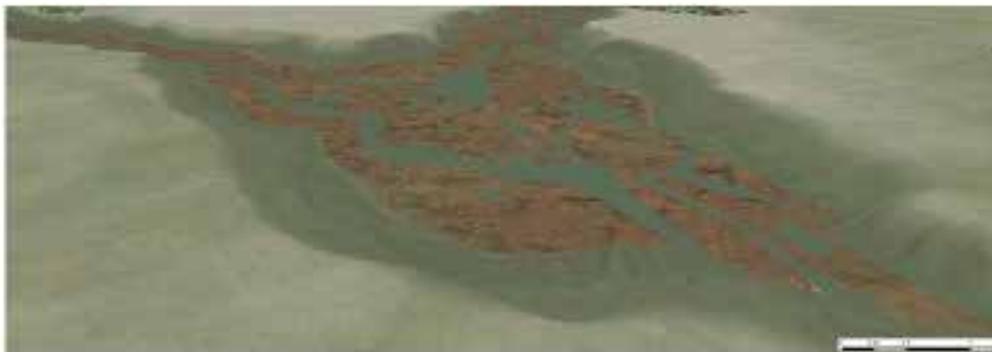
Reposant sur la base de données Arch-Manche, l'analyse des publications préexistantes et des données nouvellement acquises a permis de développer un certain nombre de reconstitutions 3-D de haute résolution pour la zone d'étude.

Un modèle 3-D de l'estuaire du Léguer au Moyen Âge aide à mieux appréhender l'ensemble du contexte environnant le site des barrages de pêche à l'époque de leur fonctionnement.



▲ Reconstitution 3-D de l'estuaire du Léguer pendant le Moyen Âge, avec localisation des principales pêcheries et établissements (doc. Marie Poignant, Université de Dijon).

A Langstone Harbour, dans le sud de l'Angleterre, un modèle 3-D de l'évolution du paysage basé sur les preuves archéologiques, paléoenvironnementales, cartographiques et photographiques a été développé. L'introduction des séquences côtières diachroniques a ajouté une quatrième dimension pour démontrer l'adaptation des paysages, à mesure que le climat se réchauffe. Le modèle 4-D, fondé sur des preuves scientifiques, livre une description puissante des variations du niveau marin et de leur impact sur les côtes.



Mésolithique

Au Mésolithique, Langstone Harbour était un site continental, le paysage était dominé par une vallée aux berges abruptes en pente vers un cours d'eau douce.



Néolithique

Le paysage néolithique a vu le développement de forêts sur les parties hautes et sèches du territoire, tandis que la vallée s'est comblée de matière organique dont les dépôts lui confèrent un profil plus doux.



Âge du Bronze

Pendant l'âge du Bronze, la zone a évolué vers un environnement marin plus marqué, constitué de marais salés et de rivières parcourus par des courants de marées.



Âge du Fer

Une faible transgression marine pendant l'âge du Fer a rendu la région plus humide ; la vallée, presque inexistante alors, fut inondée.



Actuel

Langstone Harbour est aujourd'hui une vaste entrée maritime peu profonde en bordure de la Manche.

Valeur des sources de données pour la compréhension des changements côtiers.

L'évolution côtière passée fournit des informations précieuses qui aident à développer les futurs scénarios de changement climatique. La topographie côtière actuelle s'est développée depuis la dernière période glaciaire ; l'étude de cette évolution côtière, basée sur l'archéologie, le patrimoine, les données paléoenvironnementales, offre un calendrier cohérent depuis la dernière période glaciaire jusqu'au milieu du 20^e s. Les restes archéologiques montrent que les groupes humains ont été touchés par l'évolution du littoral dans le passé et qu'ils ont réagi à certains changements climatiques à grande échelle. L'activité humaine plus récente le long de la côte montre l'impact direct des hommes sur la stabilité du littoral. Certains ont été positifs mais beaucoup ont été contre-productifs.

Les cartes et représentations artistiques de la côte peuvent être utilisées. La combinaison d'informations provenant de ces sources de données permet de comprendre réellement l'évolution côtière sur le long terme. Cette connaissance des changements en cours et de leurs impacts environnementaux et physiques permet d'informer les gestionnaires des zones côtières qui sont confrontés à des décisions stratégiques à long terme.

Les sources de données varient dans chaque pays, certains possédant des collections

spécialisées. Le processus de recherche a identifié les principales collections qui ont ensuite été utilisées comme support d'analyse dans le projet Arch-Manche, un grand nombre de données ayant été classées en utilisant des critères d'évaluation élaborés pour le projet.

A NOTER :

Le projet Arch-Manche a traité les données archéologiques et paléoenvironnementales, les oeuvres d'art, les photos anciennes, les cartes concernant des zones d'étude au Royaume Uni, en France, en Belgique et aux Pays-Bas. Des zones d'étude couvrant une diversité de types géomorphologiques côtiers ont été sélectionnées dans les différents pays partenaires, et les recherches ont permis d'identifier les sources d'information les plus pertinentes.



▲ A gauche : plongeur fouillant le paysage Mésolithique englouti de Bouldnor Cliff (doc. MAT). Au milieu : le site néolithique de Croh-Collé à Quiberon pendant la fouille par J.N. Guyodo (doc. Le Pessec 2013). A droite : la "Croix de mi-lieue" localisée sur la voie romaine qui est devenue une voie de pèlerinage pendant le Moyen Âge (doc. Degemer Mat, lien <http://www.st-michel-en-greve.fr/vignettes/patrimoine/croix-de-mi-lieue.jpg>).



▲ A gauche : Vue aérienne de Raversijde (vers 1970) montrant une zone d'extraction de tourbe médiévale sur la plage (doc. E. Cools). A droite : Encadrement de bois dépassant du revêtement extérieur conservé sur le bord de l'épave de l'Alum Bay 2 épave, des niveaux de sédiments ont été observés sur le site dans le cadre du projet (doc. de Roland Brooks).

Géomorphologie, archéologie, monuments historiques et données paléoenvironnementales

Les formations géologiques qui affleurent autour des côtes de la Manche-mer du Nord méridionale offrent un large panel de caractéristiques géomorphologiques, et une diversité des côtes et de beaux paysages. La nature de la géologie littorale et des fonds marins, ainsi que la structure des roches, ou encore d'autres facteurs tels que le niveau des nappes phréatiques, les processus sédimentaires naturels et les impacts du changement ont tous eu une influence sur l'aspect des zones côtières, telles qu'on les voit aujourd'hui.

La géologie du sol-sol a une influence déterminante sur la formation de la côte, dont les sédiments superficiels et les limons qui la recouvrent gardent le souvenir. Certains dépôts montrent une stabilité à long terme tandis que d'autres affichent une instabilité à court terme. Les conséquences cumulées des forçages indiquent, à un moment donné, des côtes sous pression en permanence ; leur étude devient alors fondamentale pour notre connaissance des processus d'évolution côtière en cours, et pour faire le lien avec les prédictions de tendances futures. Le projet Arch-Manche a exploité les données paléoenvironnementales des dépôts afin de modéliser des environnements passés, ce qui inclut l'utilisation de relevés géophysiques et géotechniques ainsi que la fouille archéologique. L'analyse permet la connaissance détaillée des environnements à une période donnée, même si les paysages se trouvent maintenant submergés ou enfouis sous des dépôts postérieurs.

Les hommes ont utilisé l'espace Manche- sud de la mer du Nord pendant des centaines de milliers d'années, pendant lesquelles les transformations paysagères à grande échelle sont dues à des fluctuations climatiques extraordinaires. Il y a 20000 ans, au cours du maximum glaciaire, le niveau de la mer était environ 120 m plus bas qu'aujourd'hui. Le réchauffement entraîna l'élévation du niveau de la mer et une transformation des zones côtières, accentuée par les occupations humaines. Durant les périodes historiques, les implantations à proximité de la côte se sont poursuivies et, aujourd'hui, elles continuent à être denses. Les traces d'occupation et d'activités humaines sur la côte ont été étudiées dans le cadre du projet Arch-Manche. Elles débutent avec les occupations mésolithiques datant d'environ 8000 ans, maintenant submergées dans la zone maritime, et vont jusqu'aux blockhaus de la Seconde Guerre mondiale, qui ont momentanément marqué la position du trait de côte, mais qui se trouvent aujourd'hui dans l'estran. La connaissance de l'évolution archéologique et historique à une échelle régionale plus large, et en particulier la façon dont les humains interagissent avec la zone côtière, fournit le contexte d'un travail en profondeur dans les zones d'études de cas du projet Arch-Manche.

Les zones côtières recèlent des informations archéologiques et paléoenvironnementales qui racontent l'histoire des changements passés et sont issues de sources locales, régionales et nationales :

- des bases de données et archives sur les environnements passés ;
- des archives archéologiques ;
- des données géotechniques ;
- des publications.

Les cartes anciennes

Les cartes anciennes sont une source importante d'information pour l'étude de l'évolution des côtes. Depuis la fin du Moyen Âge, des cartes ont été tracées avec de plus en plus de détail et de qualité. A partir de la fin du 15^e et au 16^e s., des innovations cartographiques majeures se sont produites. Les principaux facteurs responsables de la renaissance de la cartographie sont la redécouverte des écrits anciens sur la pratique de l'arpentage, les grandes explorations sur terre et en mer, le développement des techniques d'imprimerie, des instruments et de la trigonométrie. A partir de cette période, un nombre croissant de cartes peut donc être utilisé pour les reconstitutions côtières.

Cependant, les motivations qui président à la création des cartes ont un impact sur leur forme, en particulier dans le cas des plus anciennes. Certaines cartes ont été commandées par les propriétaires fonciers ou des compagnies qui ont un intérêt direct dans leur contenu. De ce fait, leur qualité et leur objectivité varient considérablement. Par conséquent, malgré leur importance, elles ne peuvent pas toujours être prises en compte.

Il est donc important d'étudier l'histoire de chaque carte et d'analyser ses qualités avant de l'utiliser pour l'interprétation. Le projet Arch-Manche a développé une approche novatrice d'analyse des cartes afin de déterminer leur exactitude.

L'analyse de cartes a été menée principalement pour la Belgique et les Pays-Bas avec quelques études de ces supplémentaires pour le Royaume Uni et la France. Des collections nationales et régionales importantes ont été consultées au sein de chaque pays.



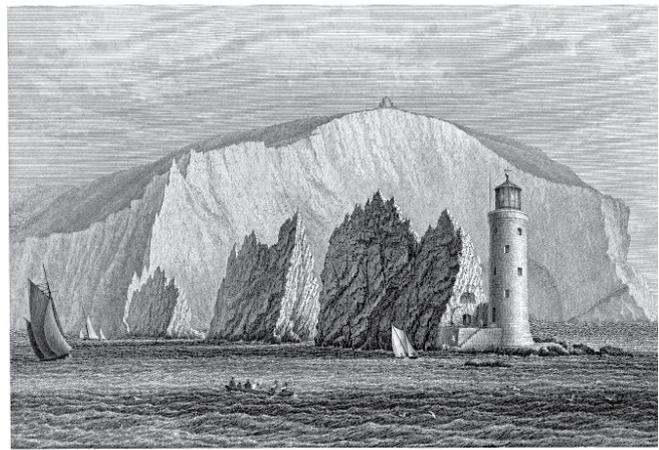
▲ Carte du district de Bruges – une des plus anciennes cartes générales de la plaine de Flandres (Franc de Bruges) par Pieter Pourbus, 1561-71 (fragment subsistant de la carte originale, doc. Groeningemuseum Brugge, 0000.GRO0220.I).

Les représentations artistiques

Les ressources artistiques des côtes de la Manche illustrent une riche histoire de l'art paysager qui favorise la connaissance de l'évolution du littoral à long terme. Certains secteurs de la zone couverte par le projet Arch-Manche ont été davantage peints que d'autres parties du littoral de l'Europe, fournissant ainsi une importante ressource remontant au 16^e s.

Les tableaux paysagers représentent la beauté naturelle des paysages l'environnement côtier et offrent souvent une vision large de la côte, y compris la mer, le ciel et les activités humaines. Ces représentations paysagères traitant des sujets spécifiques, tels que les portions de côte, des bâtiments et des structures, sont appelées 'vues topographiques' et se retrouvent fréquemment sous diverses formes d'estampes (gravures, eaux-fortes et lithographies), de dessins au crayon, d'aquarelles et de peintures à l'huile.

L'approche artistique a été particulièrement développée pour les zones d'étude d'Angleterre et de France, outre quelques études représentatives pour les côtes belges et néerlandaises. Le projet a examiné les œuvres d'art topographiques, des dessins et des gravures détenus par les principales collections nationales, régionales et locales couvrant les façades littorales de ces pays. Ceci a été réalisé grâce à des ressources en ligne, des recherches documentaires et des visites de collections (musées et galeries).



Ci-dessus à gauche : 'Reculver Church on the north Kent coast, United Kingdom', une gravure à l'eau-forte par William Daniell RA (1823). Daniell a produit plus de 300 vues pertinentes couvrant la totalité de la côte britannique, entre 1814 et 1825. Elles constituent un témoignage détaillé de l'état des côtes au début du 19^e s. (doc. R. McInnes).

Ci-dessus à droite : une vue détaillée gravée par les artistes Alfred et Phillip Brannon, montrant le célèbre site de de Needles Rocks et le phare, à l'extrémité occidentale de l'île de Wight, Royaume Uni, en 1859. Le tableau montre l'ancien phare au sommet de la falaise et son successeur, qui alerte les navigateurs dans des eaux très fréquentées et dangereuses. La géologie des falaises calcaires est dessinée avec précision et permet de faire des comparaisons sur les impacts des érosions climatiques au cours des 150 dernières années (doc. R. McInnes).

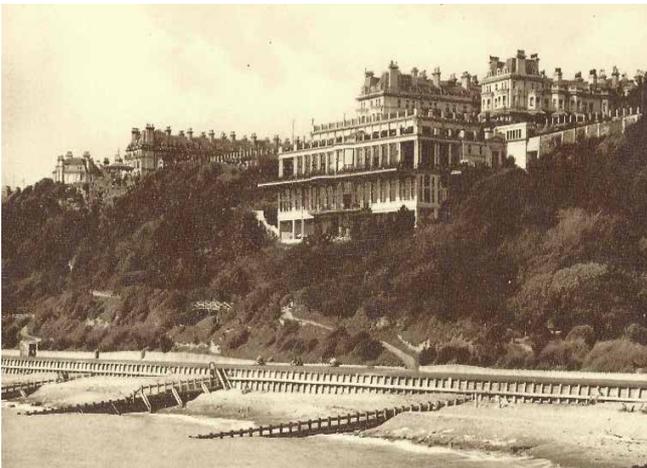
A gauche : 'Epave de la Princess Augusta sur Southwold beach, Suffolk, Royaume Uni', le 28 octobre 1838. Cette délicate lithographie réalisée par John Berney Ladbrooke présente un double intérêt, dans les domaines du patrimoine maritime et de la géomorphologie côtière (doc. R. McInnes).

Les photographies anciennes

Pendant le 19^e s., les procédés modernes de photographie se sont mis en place, avec les premiers appareils photo disponibles sur le marché à partir de 1839, la rendant ainsi plus accessible au public. Le littoral a fourni un sujet populaire et la photographie a été largement utilisée dans les régions côtières pour produire des cartes postales touristiques. Grâce à la disponibilité d'appareils photographiques de plus en plus nombreux, les collections photographiques individuelles ont peu à peu augmenté.

Les photographes prennent des vues détaillées et objectives de la composition de la côte. Cette source de données a fourni des informations importantes pour le projet Arch-Manche, notamment des données quantifiables, susceptibles d'être utilisées pour l'analyse comparative.

Les photographies anciennes ont été étudiées et analysées principalement pour les études de cas de France mais aussi du Royaume Uni. Des collections nationales et régionales, à la fois publiques et privées, ont été examinées afin d'identifier des exemples pertinents.



▲ A gauche: Leas Cliff Hall, Kent en 1900, l'image peut être utilisée pour comprendre les variations de niveaux de plage par rapport à la protection côtière (collection privée). A droite : sépulture néolithique de Kernic (Plouescat, Finistère). Photographie du monument au début du 20^e s. (© Labo Archéosciences UMR 6566 CReAAH).

Outils d'analyse des sources d'information sur les changements côtiers

Afin que les divers faciès littoraux soient pris en compte de part et d'autre de la Manche et de la Mer du Nord méridionale, 14 zones d'étude ont été sélectionnées. Ce panel inclut une variété de types de côtes confrontées à des challenges diversifiés en termes de gestion, de contexte matériel et de sources de données disponibles.

Pour traiter les données retenues et créer un outil utile à la gestion du littoral, quatre systèmes de classement ont été élaborés :

- Archéologie, monuments historiques côtiers, et paléoenvironnements – ce système fournit une valeur relative du potentiel de chaque site en termes d'information sur les changements côtiers;
- Représentations artistiques – évaluation de la fiabilité et l'exactitude des peintures anciennes ;
- Cartes – évaluation de la fiabilité et l'exactitude des cartes anciennes ;
- Photographies anciennes – évaluation du potentiel de chaque photographie en termes d'information sur les changements côtiers.

Les zones d'étude correspondent à des sites archéologiques ou des zones à fort potentiel scientifique sur l'ampleur et le rythme de l'évolution du littoral. Les partenaires du projet

ont utilisé diverses techniques de recherche et de travail sur le terrain. Sur le terrain, des enquêtes approfondies, interdisciplinaires impliquant les différentes équipes, des analyses scientifiques et des datations ont été menées.

Le travail entrepris à partir des données sur l'étendue et le rythme de l'évolution du littoral porte sur :

- la position et le niveau de la mer par rapport à la côte à des moments donnés ;
- les ressources montrant des changements précis et mesurables sur des zones côtières ;
- l'évolution diachronique du littoral.

A NOTER :

Le projet Arch-Manche a :

- évalué un grand nombre de données porteuses d'informations sur l'évolution côtière afin d'identifier celles qui ont le plus grand potentiel;
- montré que divers outils permettent d'extraire de ces sources le maximum d'informations sur les changements côtiers ;
- souligné que la recherche, menée sur divers sites archéologiques, monuments et paléoenvironnements, possède un fort potentiel d'information sur l'évolution littorale.



▲ Localisation des zones d'étude du projet dans la région Manche-Mer du Nord méridionale. Dans certains secteurs, des zones plus petites ont été sélectionnées pour les recherches archéologiques (petits rectangles), au sein des cadres plus grands des zones d'étude.

Outils d'analyse des données archéologiques et paléoenvironnementales

Dans les régions où le littoral évolue, les sites archéologiques jouent un rôle important en fournissant des preuves historiques de mouvements de terrain localisés. L'extraction d'information à partir de sources archéologiques et paléoenvironnementales sur ces changements côtiers a impliqué plusieurs phases de travail, notamment :

- la recherche documentaire, l'analyse, la comparaison et le tri des données,
- le traitement par critères de classement des sites, monuments, échantillons,
- l'identification et l'analyse des sites archéologiques et monuments en relation directe avec la côte,
- l'identification de données quantitatives mesurables sur la position et la nature physique de la côte, à différentes périodes de l'histoire humaine,
- l'utilisation de données sur les environnements côtiers à diverses périodes (par ex., faune, flore),
- la sélection de sites à fort potentiel de données primaires, via des recherches de terrain reposant sur les méthodes archéologiques, géotechniques, et géophysiques.

Le système de classement

Les documents archéologiques, paléoenvironnementaux et patrimoniaux ont été classés selon trois critères principaux, en plus de deux autres critères hors classement. Il s'agit d'évaluer les caractéristiques de tous les types de sites et leur capacité à informer sur les processus ou les causes de l'évolution du littoral. Les résultats ont mis en avant les sites présentant le plus grand potentiel pour soutenir les stratégies de gestion des zones côtières.

Les trois critères de classement sont :

- *Le site contient-il des indices de variation des niveaux marins ?*

Il s'agit de déterminer si le site archéologique ou le monument présente bien un indice de fluctuation du niveau marin à différentes périodes passées et d'établir sa puissance.

A NOTER : Pourquoi appliquer un système de classement ?

Les principaux avantages de l'utilisation d'un système de classement sont :

- de présenter une vue d'ensemble des indices archéologiques, paléoenvironnementaux, artistiques et photographiques normalisés,
- d'estimer le potentiel des sites et des sources de données pour illustrer les changements côtiers, de manière objective,
- de fournir des comparaisons statistiques entre les sites et les sources de données permettant aux gestionnaires du littoral de donner la priorité à certaines enquêtes dans leur gestion,
- de pouvoir présenter le potentiel de l'archéologie, des paléoenvironnements, de l'art à un public de non-spécialistes.

Score	Niveau	Exemple
1	Faible	<p>Concerne des sites ayant fonctionné pendant une courte période ou ne présentant pas un contexte certain et fournissant donc une quantité limitée d'informations, par ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une épave moderne, trop récente pour montrer un changement dans les niveaux marins si son abandon est récent. • Une découverte datée mais non stratifiée qui fournit seulement un vague élément de datation.
2	Moyen	<p>Sites fournissant potentiellement un point de référence précis pour le niveau marin, à un moment donné, par ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un objet ou un site trouvé en stratigraphie et datant d'une période où le niveau de la mer était inférieur, par exemple un cheminement néolithique ou un dépôt d'huîtres médiéval. • Une défense côtière datée. • Une épave datée. • L'abandon daté d'un bâtiment, d'un site ou d'une structure, à cause de la montée du niveau de la mer.
3	Fort	<p>Sites ou objets montrant un enregistrement de l'évolution du niveau marin (hausse, stabilité ou baisse), par ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un carottage de bonne qualité dans des sédiments holocènes déposés pendant une phase de transgression marine. Cela nécessitera d'avoir des indices bien datés, comme des horizons avec végétation. • Un ensemble de barrages de pêcheries montrant un déplacement de l'activité dû à l'évolution du niveau marin. • Un monument historique présentant des aménagements datés en fonction de la montée de la mer.

• *Le site contient-il des indices de changements environnementaux ?*

Il s'agit d'identifier des sites ou secteurs livrant des preuves d'adaptation à la montée du niveau marin et aux changements climatiques depuis la dernière période glaciaire.

Score	Niveau	Exemple
1	Faible	Sites avec peu d'éléments datés susceptibles de nous informer sur les environnements passés, par ex. : <ul style="list-style-type: none"> • Une formation littorale comme un dépôt de galets qui s'est formé, avec le temps, à la suite d'un processus complexe mais ne comporte pas d'indication chronologique précise. • Une trace de production de sel marin sans datation précise.
2	Moyen	Sites potentiellement capable de fournir un indicateur environnemental pour une période donnée. Les éléments de datation sont ici généralement assez vagues et relatifs, par ex. : <ul style="list-style-type: none"> • Une occupation humaine de l'âge du Bronze, avec des données sur l'utilisation des sols, l'alimentation, etc. • Un carottage dans un dépôt daté de manière relative plus que scientifique. • Une épave datée où des données permettent d'observer localement les mouvements de sédiments.
3	Fort	Sites ou objets pouvant montrer des traces de changements environnementaux sur une période donnée. <ul style="list-style-type: none"> • Un carottage de bonne qualité sur un site terrestre ou immergé présentant du matériel bien daté, des vestiges archéologiques et un panel de données environnementales associées.

• *Le site montre-t'il des indices d'une continuité temporelle ?*

Il s'agit ici de déterminer si le site peut fournir des informations reliant entre eux des événements anciens, ce qui est fondamental dans l'évaluation des changements côtiers passés.

Score	Niveau	Exemple
1	Faible	Sites, échantillons paléoenvironnementaux ou objets contenant des indices d'événements ponctuels ou qui datent d'une seule période.
2	Moyen	Sites qui sont réputés contenir des indices de l'évolution du niveau marin, de changements climatiques ou environnementaux mais qui ont déjà été analysés antérieurement.
3	Fort	Longues séquences bien étudiées. Ces sites fournissent des indices d'évolution marine, climatique ou environnementale sur une période assez longue pour couvrir une série d'événements géomorphologiques.

Les critères hors classement :

• *Le statut actuel*

Il s'agit de déterminer si le site, le monument ou le dépôt existe encore aujourd'hui et s'il comporte des vestiges enfouis ou hors-sol ou les deux.

Code	Niveau
EA	Site/ dépôt existant et hors sol
EB	Site/ dépôt existant et enfoui
EAB	Site/ dépôt existant, à la fois hors sol et enfoui
D/R	Site détruit (ou masqué)
UN	Inconnu

• *Une indication sur la relation spatiale entre le site et la côte (contexte littoral).*

ID	Désignation
1	Maritime (sous les basses mers)
2	Estran (intertidal)
3	Au-dessus des plus hautes mers
4	Estuaire
5	Falaise rocheuse
6	Falaise meuble
7	Plage
8	Dune
9	Lagon
10	Marais salé
11	Rivage sableux
12	Rivage rocheux
13	Dépôt sableux
14	Vasière
15	Dépôt de sédiment grossier
16	Dépôt de sédiment fin
17	Dépôt vaseux
18	Dépôt de sédiments mixte
19	Banc de sable ondulé
20	Affleurement rocheux
21	Inconnu

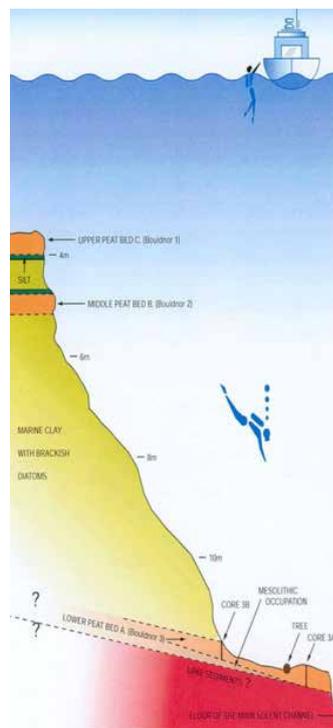
Exemples de résultats de classement

Les exemples suivants présentent le classement d'un panel de sites et de dépôts selon les critères établis.

Bouldnor Cliff : une séquence de paysages préhistoriques stratifiés comportant une occupation au Mésolithique.

Critère	Score	Notes
Evolution du niveau marin	3	Longue séquence de dépôts montrant l'évolution du niveau marin sur 10 000 ans.
Evolution de l'environnement	3	Contient des indices datés et analysés des changements environnementaux associés à des traces d'occupation humaine.
Continuité temporelle	3	Série de paysages préhistoriques associés à des phases de submersion liés les uns aux autres.
Statut du site	EB	Le site existe et est enfoui.
Contexte littoral	1	Maritime (sous les plus basses mers)

Diagramme montrant une coupe du paysage submerge du site de Bouldnor Cliff, au large de la côte NO de l'île de Wight (doc. SCOPAC).



Flower of Ugie : un site d'épave marine reposant sur les fonds marins.



▲ Un plongeur mesurant les niveaux de sédiments sur l'épave du Flower of Ugie (doc. MAT).

Critère	Score	Notes
Evolution du niveau marin	2	Fournit un point de référence sur la situation des fonds marins au cours de l'année du naufrage 1852.
Evolution de l'environnement	2	L'observation de l'épave en relation avec les mouvements sédimentaires modernes fournit des informations à micro échelle des changements environnementaux.
Continuité temporelle	1	L'épave relate un événement ponctuel.
Statut du site	EAB	Les vestiges sont à la fois enfouis et hors sol, sur le fond marin.
Contexte littoral	1	Maritime (sous le niveau des plus basses mers)

Pêcheries de Lannion, le Petit Taureau : les vestiges sur estran d'un complexe de barrages de pêcheries livre des informations importantes sur l'évolution des conditions de marées à une échelle locale.



▲ Fouille de la pêcherie du Petit Taureau, le site contient plusieurs phases d'utilisation (doc. MAT et CNRS).

Critère	Score	Notes
Evolution du niveau marin	3	Installations liées aux changements de niveau marins et s'adaptant au fil du temps, pour une collecte optimale des poissons
Evolution de l'environnement	3	Installations sensibles aux changements environnementaux et s'adaptant au fil du temps, par la construction de nouveaux barrages
Continuité temporelle	3	Une série de barrages de pêche successive au cours d'une longue période.
Statut du site	EAB	Les vestiges sont à la fois hors sol et enfouis
Contexte littoral	2	Le site est localisé dans l'estran (zone intertidale).

Résultats des classements

Au total, 3150 sites archéologiques et paléoenvironnements ont été évalués dans le cadre des diverses études de cas. L'image ci-dessous localise les sites dont les scores sont les plus élevés.

Cette analyse montre que plusieurs types de sites obtiennent des scores positifs cohérents pour leur potentiel d'information sur l'évolution du littoral. Certains sites présentent des épisodes uniques et de courte durée, tel un naufrage ou un campement préhistorique ; ceux-ci correspondent à un lieu et une période définis, pertinents pour illustrer la transformation ponctuelle du littoral. D'autres sites peuvent offrir un cadre ou une séquence plus large en termes d'information chronologique et environnementale : il peut s'agir d'indices biostratigraphiques tels que des enregistrements polliniques dans des dépôts de tourbe, des diatomées dans les sédiments marins accumulés et les plantes macro-fossiles dans alluvions fluviales.

Les sites les mieux classés vont du Mésolithique à l'époque moderne et se retrouvent dans le milieu marin, les zones intertidales et côtières. La majorité de ces sites correspondent à d'anciennes terres submergées, qui existent dans tous les pays partenaires et présentent de longues séquences stratigraphiques datées. Cinq sites sont en tête de classement : Bouldnor Cliff, Langstone Harbour, l'estuaire du Léguer, Raversijde et Scheldepolders, qui ont fait l'objet d'études détaillées.



▲ Localisation des sites archéologiques et des paléoenvironnements présentant les plus hauts scores au sein des zones d'étude, listés dans le tableau ci-dessous.

UID	NOM DU SITE	PAYS	ZONE D'ETUDE	PERIODE	TYPE DE SITE	SCORE	CONTEXTE
27	CROCKLETS BEACH - Vestiges préhistoriques	UK	Nord Cornwall	Préhistoire	Terres submergées	100	Maritime
881	SAINT-MICHEL-EN-GREVE - Croix de M-Lieu	France	Baie de Lannion	Moyen Âge	Monument	100	Estran
700	SAINT-MICHEL-EN-GREVE - voie romaine	France	Baie de Lannion	Epoque romaine	Autre	100	Estran
1297	Hoedic - Alignement du Douet	France	Péninsule de Quiberon	Néolithique	Monument	100	Littoral
1298	Hoedic - Alignement de Grouh Deen	France	Péninsule de Quiberon	Néolithique	Monument	100	Littoral
600	PITTS DEEP - Dépôt de tourbe submergé	UK	Solent/Île de Wight	Préhistoire	Terres submergées	100	Maritime
708	BULVENNYTHE - Forêt submergée	UK	Hastings	Préhistoire	Terres submergées	100	Maritime
707	BOULDNOR - paysage Mésolithique submergé	UK	Solent/Île de Wight	Mésolithique	Terres submergées	100	Maritime
713	LITTLE GALLEY HILL - Forêt submergée	UK	Hastings	Âge du Bronze	Terres submergées	100	Maritime
457	LANNION - Petit Teureau	France	Baie de Lannion	Moyen Âge	Installation maritime	100	Estran
1074	SAINT-PIERRE-QUIBERON - Ile Guarnis	France	Presqu'île de Quiberon	Néolithique	Monument	100	Littoral
1163	SAINT-PIERRE-QUIBERON - Kerbougnec	France	Presqu'île de Quiberon	Néolithique	Monument	100	Estran
1166	SAINT-PIERRE-QUIBERON - Petit Rohu	France	Presqu'île de Quiberon	Néolithique	Autre	100	Estran
324	RUSSELLS LAKE - Forêt préhistorique	UK	Langstone Harbour	Préhistoire	Terres submergées	100	Maritime
1213	QUIBERON - Beg er Vil	France	Presqu'île de Quiberon	Mésolithique	Autre	100	Littoral
313	SCHELDEPOLDER NOORD	Belgique	Scheldepolders	Préhistoire	Sol enfoncé	100	Préhistoire
2046	WALSAND POLDERS -	Belgique	Scheldepolders	Préhistoire	Sol enfoncé	100	Préhistoire
839	BAKERS PITHE - Forêt préhistorique	UK	Langstone Harbour	Préhistoire	Terres submergées	100	Maritime
604	HURST SPIT - Château de Hurst	UK	Solent/Île de Wight	Moyen Âge	Défense côtière	100	Littoral



▲ Evolution des niveaux de sédiments sur l'épave de l'Alum Bay 2, RoyaumeUK. A gauche : 2003. A droite : 2013 (courtesy MAT and Roland Brooks).

La collecte de données de terrain sur l'évolution côtière

Différentes techniques de terrain ont été utilisées dans les travaux ciblés sur des éléments du patrimoine archéologique et paléoenvironnemental littoral, afin de caractériser l'évolution côtière. Les méthodes ont varié en fonction des spécificités environnementales et des résultats visés.

La plongée archéologique

Le travail des plongeurs dans le Solent (UK) s'est concentré sur d'anciennes terres submergées et des sites d'épaves. L'observation de tels sites, en relation avec les mouvements du fond marin, donne un aperçu des changements environnementaux modernes et nous aide à discerner les impacts de l'évolution passée. La comparaison avec les résultats de prospections antérieures fournit une information empirique sur l'évolution sédimentaire.

Les données collectées comprennent :

- Des mesures sur les terres immergées. L'observation de l'érosion sur des terrains préhistoriques aujourd'hui submergés à Bouldnor Cliff montre une perte de plus de 0,5 m par an. L'érosion au cours de l'hiver 2011-2012 a dégagé des artefacts du Mésolithique sur le fond marin.
- L'échantillonnage de fonds marins – La collecte d'échantillons à la tarière dans la zone ouest de Hurst Spit, en vue d'analyses paléoenvironnementales des milieux préhistoriques, a permis de caractériser l'évolution d'un paysage, tantôt en accrétion, tantôt en érosion.
- Des études d'épaves - L'examen et l'observation de deux épaves dans Alum Bay a révélé des mouvements de sédiments d'une saison à l'autre. L'épave 'Alum Bay 1' (une partie du HMS Pomone) a révélé une diminution des niveaux de sédiments, particulièrement à son extrémité nord, tandis que 'Alum Bay 2', qui repose un peu plus loin vers le NO montre une augmentation des niveaux de sédimentation.

Les prospections sur estran

Des prospections sur l'espace intertidal ont été menées au Royaume Uni, dans la zone d'étude de Langstone Harbour, où des sites et dépôts enfouis fournissent des informations sur l'évolution littorale passée, ainsi que sur des changements plus récents dus à l'érosion ou à des événements climatiques extrêmes qui ont dégagé des vestiges archéologiques.

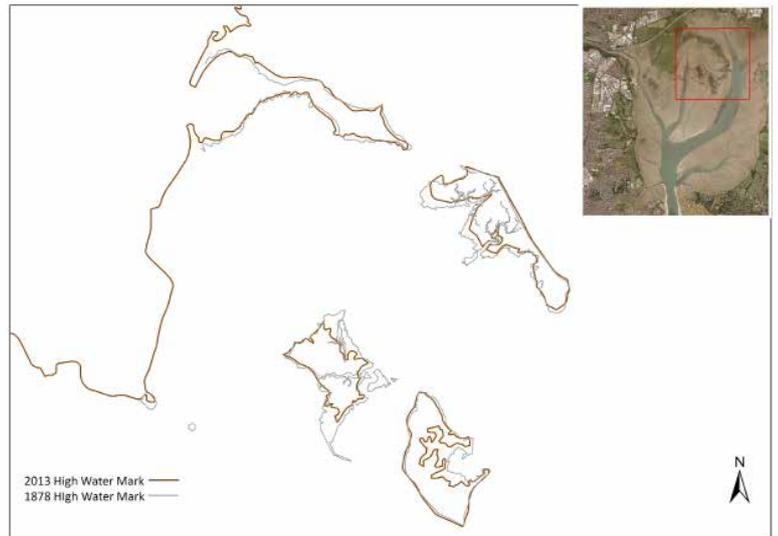
Diverses méthodes ont livré des données nouvelles :

- Prospections pédestres – elles ont été menées afin d'identifier des sites, monuments ou objets érodés ou dégagés. Les points de découverte ont été localisés à l'aide d'un GPS 'Cinématique temps réel' (RTK) GPS et photographiés ; les objets ont été prélevés lorsqu'un réel risque de perte archéologique l'imposait.
- Une collecte contrôlée – la côte sud-est de l'île de Binness nord est un site d'activité à l'époque romaine, où de grandes quantités de poteries sont apparues sur le rivage. Une collecte sélective a été menée dans cette zone et les échantillons de poteries ont été étudiés à l'université de Southampton.
- L'observation de sites connus. Des sites répertoriés dans les années 1990 dans le cadre du projet Langstone Harbour, puis lors de prospections en 2002-2004, ont été revisités pour vérifier s'ils étaient toujours en place ou s'ils étaient érodés. De même pour les sites de Hurst Spit et Pitts Deep, dans l'ouest du Solent, après les tempêtes de janvier 2014. La migration des dépôts est illustrée par le paysage relique exposé sur son flanc ouest. Sa conservation nécessiterait à l'avenir une consolidation.



▲ Erosion de souches d'arbres préhistoriques et tourbe du site submergé de Hurst Spit, pendant les tempêtes de janvier 2014 (doc. MAT).

Prospections de terrain – le bord de la petite falaise au large de l'île de Hayling et sur Long Island a été cartographié au le GPS RTK. Ces données pourront être utilisées pour suivre l'érosion dans les années à venir. Pour connaître l'évolution passée, nous avons comparé le niveau actuel des hautes mers avec celui enregistré sur la première édition de la carte de Langstone Harbour, levée en 1878. Il y a eu plus de 50 m de retrait sous l'effet de l'érosion devant Long Island, et des changements notables sur Bakers Island, bien que dans certaines zones, il semble y avoir eu accumulation sédimentaire sur la limite nord de North Binness.



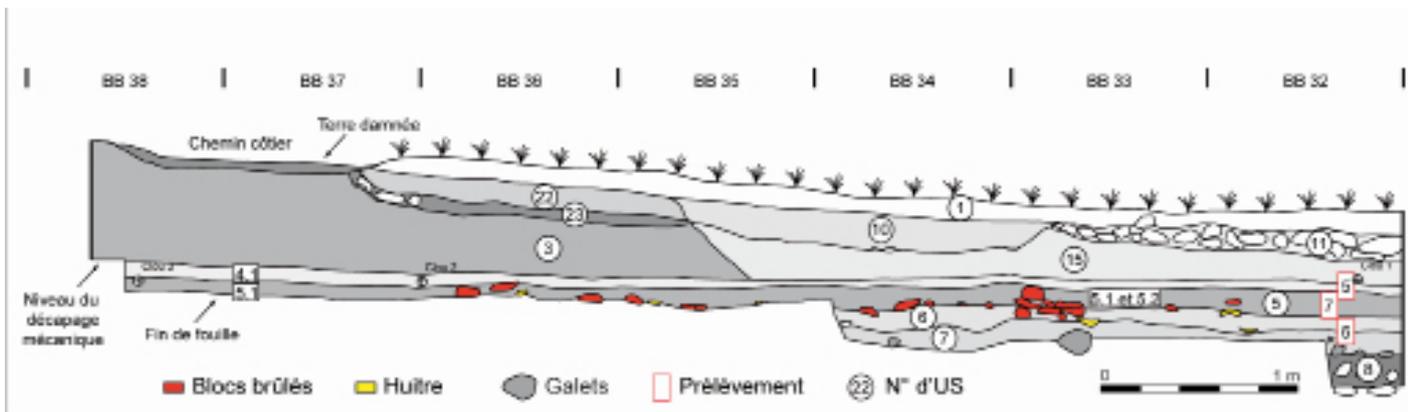
▲ La comparaison entre la limite des hautes mers à Langstone Harbour en 1878 et en 2013 montre le niveau d'érosion dans la partie nord de la baie (doc. MAT).

L'échantillonnage – des échantillons ont été prélevés sur des structures en bois au large de Hayling Island et datés au radiocarbone.

Fouilles sur l'estran et le rivage

Des fouilles ont été réalisées dans plusieurs zones d'étude de France et des Pays-Bas.

A Beg er Vil, des secteurs en érosion menacent la stabilité du trait de côte. Ici, la fouille du niveau d'occupation littorale mésolithique, et les analyses paléoenvironnementales et géophysiques renouvellent notre connaissance des pratiques humaines dans ce secteur et de la nature de changements environnementaux.



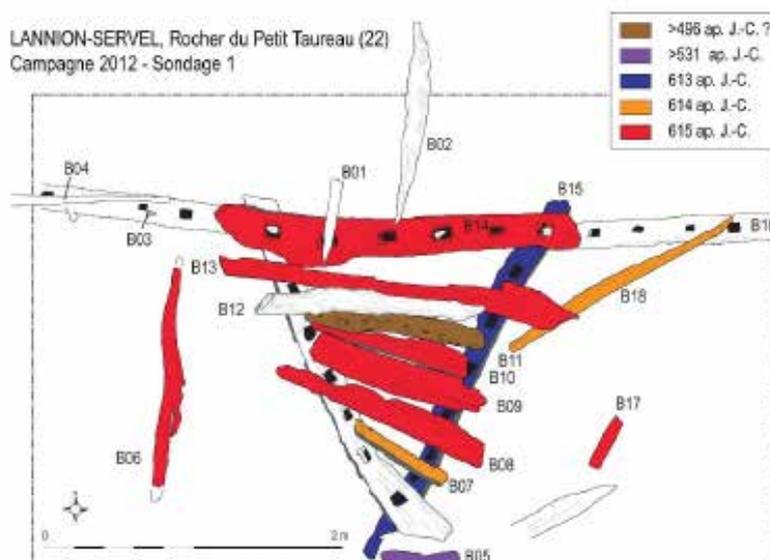
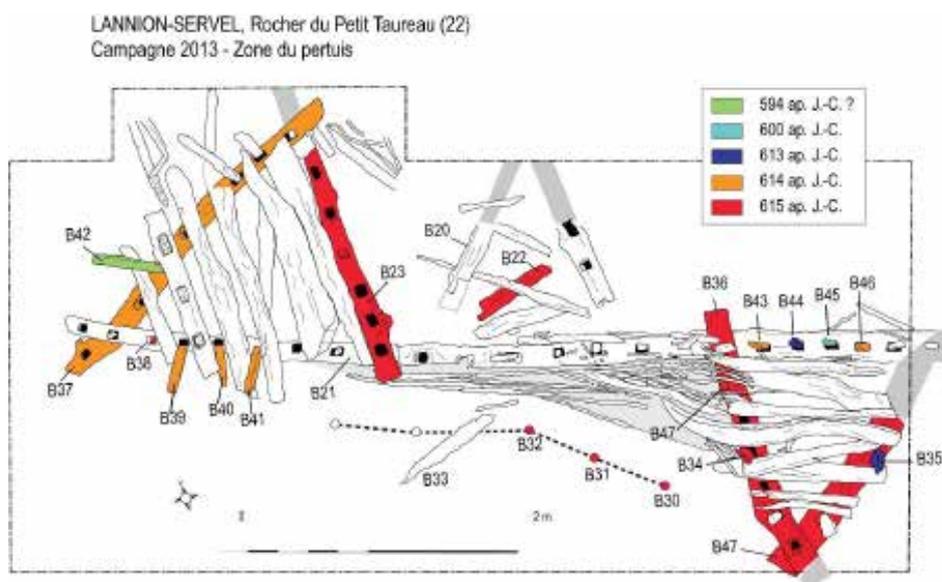
▲ Stratigraphie des niveaux archéologiques et structures sur le site de Beg er Vil (d'après Marchand *et al.*, 2013).

Aux Pays-Bas, sur le site de Vergulde Hand ouest – Vlaardingen, les données issues des fouilles archéologiques ont été utilisées pour des reconstitutions paléogéographiques menées dans le cadre du projet Arch-Manche pour illustrer l'évolution littorale.



▲ De gauche à droite : Coupe sédimentaire, habitat et cheminement sur le site de Vergulde Hand Ouest. (Source: Eijskoot, Y., O. Brinkkemper, & T. de Ridder, 2011. Vlaardingen - De Vergulde Hand-West. Onderzoek van archeologische resten van de middenbronstijd tot en met de late middeleeuwen; inclusief Bijlagen en Kaartbijlagen. RCE Rapportage Archeologische Monumentenzorg 200, 588 p).

A Lannion, la fouille d'un complexe de barrages de pêcheries révèle de remarquables traces de structures en bois enfouies sous le niveau de sol actuel. Les datations ont fourni des informations essentielles sur la succession des barrages et les changements sur plus d'un millénaire.



▲ Plan des aménagements de bois de la pêcherie du Petit Taureau et répartition des éléments datés par dendrochronologie (doc. V. Bernard).

Géophysique et géotechnique

Des recherches géophysiques et géotechniques de terrain ont été menées dans les diverses zones d'étude, y compris Raversijde et l'estuaire de la Scheldt (Belgique), à Langstone Harbour (UK), à Quiberon et St Malo (France), et dans la baie de Yangtze (Pays-Bas). Les diverses techniques et les résultats sont décrits *infra*.

Test de pénétration de cône (CPT)

Cette méthode géotechnique renseigne sur la composition du sous-sol. Elle livre des données sur la géologie (nature et épaisseur des strates) et l'hydrologie (caractéristiques des eaux souterraines) et les propriétés physiques et mécaniques des niveaux du sous-sol. La technique permet de réaliser rapidement des profils continus à partir de données cohérentes et homogènes.

13 tests ont été menés sur la plage de Raversijde à marée basse. Les mesures atteignent une profondeur moyenne de 10 m.



▲ Tests de pénétration de cône sur la plage de Raversijde (doc. UGent).

Carottages marins

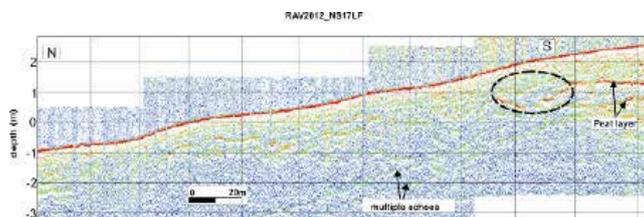
Un programme de grande envergure a été mené préalablement au projet, dans la baie de Yangtze, aux Pays-Bas. Les données issues de ce programme sont utilisées pour interpréter les paysages anciens au sein du projet Arch-Manche. Cette technique permet l'extraction de carottes marines complètes, soumises ensuite à des analyses et datations apportant des informations sur l'évolution du paysage au fil du temps.



▲ Carottes prêtes pour les analyses après extraction et découpe (doc. Vos 2013, Deltares).

Géophysique marine : prospection sismique

Cette technique est utilisée pour cartographier des sols enfouis et des dépôts sous le fond actuel de la mer. Un sondeur paramétrique est utilisé dans les zones d'étude de Belgique et du Royaume Uni. L'équipement est déployé à partir d'un bateau où les données sont enregistrées par un équipement informatique.



▲ Exemple de profil sismique à travers les dépôts du sous-sol à Raversijde (doc. D. Evangelinos, UGent).

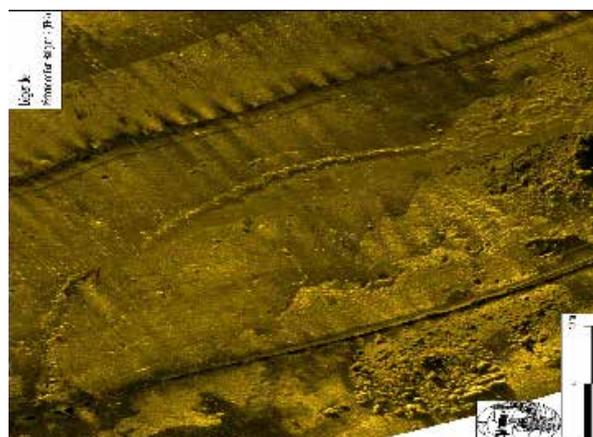
Aux Pays-Bas, le programme d'étude de la baie de Yangtze a impliqué divers types d'investigations. La prospection sismique a été utilisée pour cartographier les paysages enfouis, avant les travaux de dragage.



▲ Engin de prospection sismique tracté par un bateau

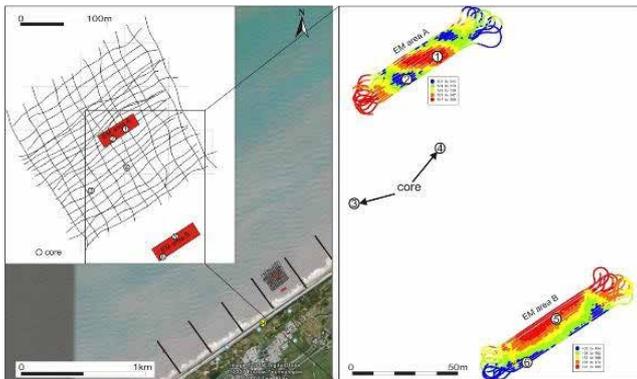
Géophysique marine : prospections au sonar

Cette technique a été employée en France pour rechercher les traces de pêcheries ou d'autres activités humaines au large, et utilise un sonar tracté à partir duquel des ondes sont envoyées. Lorsque les ondes rencontrent le fond marin ou n'importe quel objet, elles sont réfléchies. L'enregistrement des signaux de retour offre une image acoustique du fond marin qui permet, entre autres, de mesurer la taille des vestiges ou des monuments et les caractériser.



▲ Image par prospection au sonar de la pêcherie de Port-Haliguen (doc. ADRAMAR, Le Ru 2013).

La prospection au sonar à balayage latéral des pêcheries de Port-Haliguen et Saint-Julien, à Quiberon, a révélé des détails sur ces structures qui ne sont jamais émergées. Les résultats permettent de déterminer la localisation et les caractéristiques de ces pêcheries immergées.



▲ A gauche : Vue d'ensemble du maillage du relevé sismique de 2010, de la prospection électromagnétique (EMI) et des carottages sur une petite zone d'estran. A droite : détail des données EMI (conductivité électrique apparente ECa, en mSm-1) (rouge = forte conductivité, bleu = faible conductivité). Données EMI, doc. dept. Gestion du sol, UGent.

Prospection électromagnétique (EMI)

Cette technique a été appliquée sur estran dans la zone d'étude de Raversijde. La méthode est fondée sur les variations de résistivité du sous-sol, détectées par leur effet sur un champ électrique ou magnétique. Les zones à forte conductivité sont particulièrement intéressantes car elles peuvent indiquer la présence d'objets métalliques, ou encore de niveaux de tourbe.

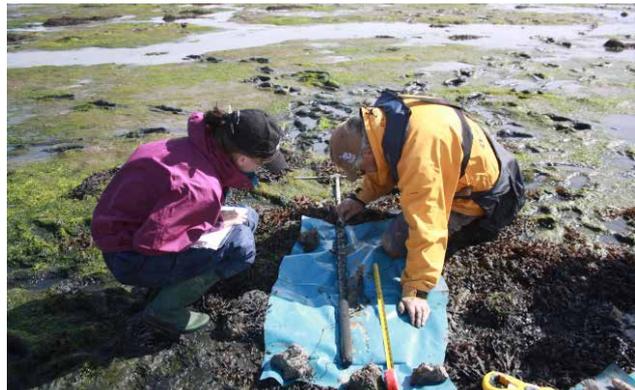
Les résultats de cette prospection peuvent être reliés aux données de sismique marine pour améliorer l'interprétation.



▲ Prospection à la tarière à Long Island, Langstone Harbour (doc. MAT).

Prospection à la tarière

Des prélèvements de sols à la tarière, devant la côte ouest de Long Island à Langstone Harbour, avaient pour but de retrouver le paléo chenal identifié lors de fouilles antérieures. Des tarières à bras ont permis de prélever une petite colonne de matériaux du sous-sol. Les échantillons ont été enregistrés et déterminés, et des sous-échantillons ont fait l'objet d'analyses paléoenvironnementales plus approfondies. En comparant les divers résultats sur l'ensemble de la zone, différents dépôts sont détectés, permettant d'appréhender les paysages enfouis. Ces données ont fourni une base pour la réalisation du modèle 4-D de Langstone Harbour.

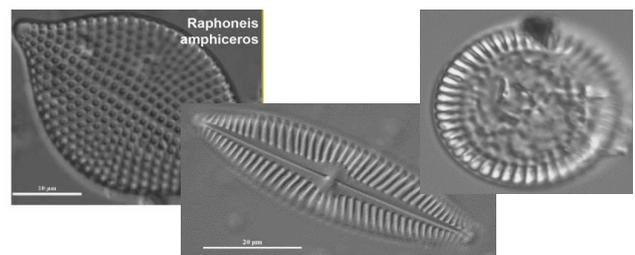


▲ Prélèvements à la tarière devant Long Island, Langstone Harbour (doc. MAT)

Les analyses paléoenvironnementales

Des études paléoenvironnementales ont été menées sur des échantillons archéologiques et des carottages. Pour la plupart des zones d'étude, des données antérieures sont venues compléter celles acquises pendant le projet. L'étude au microscope des pollens et des diatomées révèle des informations détaillées sur la nature des environnements passés. Cela inclut des données sur la flore, la faune ou encore la salinité.

De tels éléments dans une colonne de carottage indiquent des changements de niveau marin ou de climat au fil au cours de plusieurs milliers d'années. Les échantillons sont datés de manière à fournir un cadre chronologique à l'évolution de ces conditions littorales.



▲ A gauche : *Plankton marin* : il indique l'influence de marées et de la mer dans un environnement d'eau douce ou saumâtre. Au milieu : *Pinnularia subrupestris*, indiquant un dépôt en milieu d'eau douce. A droite : Diatomées : *Cyclotella striata*, indiquant un milieu estuarien ouvert (doc. P. Vos 2013, Deltares).

Outils d'analyse des cartes anciennes

Les cartes constituent une source d'information importante à partir du Moyen Âge et jusqu'à nos jours. Pendant cette période, le nombre des cartes disponibles a progressé très rapidement. Cependant, d'une carte à l'autre, la qualité et la précision varient énormément et il est donc très important d'analyser ces documents avec de les interpréter.

Le projet a utilisé des cartes, représentant les zones côtières et proches des rivages de la mer, qui sont issues de divers fonds d'archives. Un système de classement a été établi pour évaluer les cartes en termes de précision topographique, géométrique et chronométrique.

Utilisation des critères de classement

Précision topographique

La précision topographique est déterminée par l'évaluation du niveau de détail dans la représentation des éléments sur chaque carte. Cette évaluation a pris en compte les différents types de côtes de la zone couverte par le projet Arch-Manche.

Critères	Notes
Estuaires et estrans	<ul style="list-style-type: none">• Les limites entre les zones supra-, inter- et infra tidales sont représentées• Les chenaux de marées et les bras de mer sont représentés
Côtes à falaises	<ul style="list-style-type: none">• Les limites des falaises et les plages sont représentées• Les limites entre les zones supra-, inter- et infra tidales sont représentées• Les chenaux (à la fois ceux de marées et de rivière) sont représentés.
Dunes et côtes sableuses	<ul style="list-style-type: none">• Les limites des dunes et des plages sont représentées• Les limites entre les zones supra-, inter- et infra tidales sont représentées• La topographie des dunes est représentée
Zones non côtières	<ul style="list-style-type: none">• Haute qualité• Qualité moyenne• Faible qualité



▲ Exemples de représentations de la limite entre zones supra-, inter- et infra tidales dans des estuaires et zones d'estran : A gauche = bien représentée (les hauts et bas marais sont clairement définis) (source: Algemeen Rijksarchief, Kaarten & Plans II, 8554). A droite = représentation plus subjective des marais (source: Koninklijke Bibliotheek Den Haag, 1049B11_094).



▲ Exemples de figurations des chenaux dans une zone de côte à falaise : à gauche = bien représentés, à droite = représentés (source : commons.wikimedia.org).

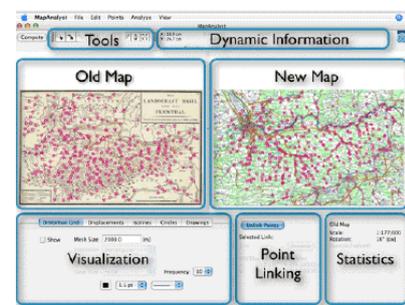
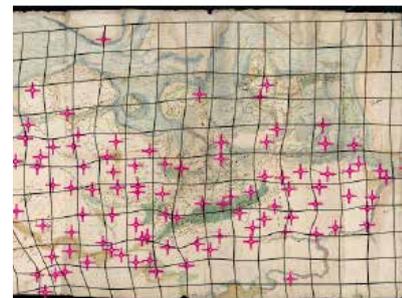


▲ Exemples de figuration des limites des dunes et des plages sur une côte sableuse : à gauche = bien représentées (source: Koninklijke Bibliotheek Den Haag, 1049B11_094), à droite = représentées (source: commons.wikimedia.org).

Précision géométrique

La précision géométrique de l'ensemble de la carte doit être évaluée, et pas seulement celle de la zone côtière. L'élément déterminant dans la précision géométrique est la différence entre les distances décrites dans les cartes anciennes et les distances réelles, déterminées par les cartes modernes.

L'évaluation a été réalisée avec le logiciel MapAnalyst, disponible gratuitement sur mapanalyst.org. Le programme projette et transforme des points choisis sur une carte actuelle de manière à les faire coïncider avec ceux de la carte ancienne. Plus la carte actuelle apparaît déformée, moins la carte ancienne est précise. La précision géométrique est visualisée par les déplacements de vecteurs et la distorsion de la grille est quantifiée par l'erreur moyenne de position. Lorsque les distances sont plus faibles sur la carte ancienne que sur la nouvelle, la taille de la grille diminue et *vice versa*. Une grille de référence avec échelle peut être utilisée pour la comparaison.



À droite, haut : Exemple de carte recouverte par la grille de distorsion (source: Algemeen Rijksarchief, Kaarten & Plans II, 176). En bas : Interface du programme MapAnalyst.

La précision chronométrique

L'évaluation de la précision chronométrique permet de savoir si la carte représente des éléments qui existaient réellement à la date portée sur la carte. L'évaluation de cette précision repose sur les critères suivants pour déterminer un classement (de fort à faible) :

- Date de la carte – Est-elle connue ? Si la carte est une copie, connaît-on la date de l'original ?
- L'utilisation des mesures de terrain et distances – sont-elles notées sur la carte ?
- Est-ce un document original ou une copie ? Les cartes originales ont généralement une précision chronométrique plus grande, suivies de près par les copies authentiques.

Exemples de classement

Le système de classement et d'analyse des cartes a été développé à l'université de Gand qui a largement utilisé cette méthodologie sur l'ensemble de la zone d'étude. Deux exemples de résultats de classement de cartes de Belgique sont :

- le classement et l'analyse d'une carte à petite échelle (supra régionale) des Flandres du nord, datée d'environ 1600. L'erreur de moyenne de localisation est de 1619 m. Les détails de la zone estuarienne sont principalement esquissés tandis que la côte sableuse et les zones non côtières sont encore moins bien représentées, ce qui conduit à un faible score de précision topographique. Dans la mesure où ni la date précise, ni les mesures de terrain ne figurent, le score de précision chronométrique est également faible.



▲ Détail de la carte à petite échelle. Les trois images viennent de la même carte du nord des Flandres, l'image sur la gauche montre les villages, l'image du centre montre les chenaux de marées et celle sur la droite montre l'estran en détail (source: Algemeen Rijksarchief, Kaarten & Plans II, 176).

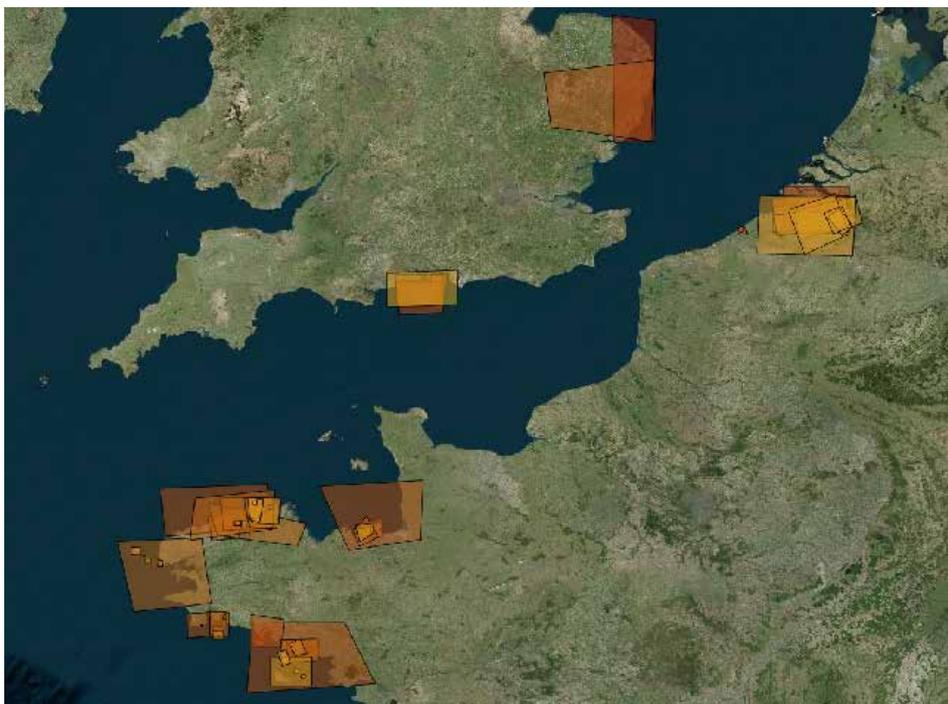
- L'analyse d'une carte régionale (échelle moyenne) montre une zone de part et d'autre d'une digue proche de la frontière, entre la Belgique et les Pays-Bas en 1791. L'erreur moyenne de localisation est de 161 m, ce qui est un résultat bien meilleur que celui de la carte précédente. La carte a un fort score de précision topographique du fait de la représentation détaillée des chenaux de marée dans les zones côtières. Les zones non côtières sont également dépeintes avec une grande précision, dans la mesure où les maisons sont individualisées. La précision chronométrique est assez élevée dans la mesure où la date exacte de production de l'original est connue. Cependant, aucune mesure de terrain n'est mentionnée.



▲ Détail d'une carte régionale datant de 1791. L'image sur la gauche montre les résultats de l'analyse de la précision géométrique utilisant le MapAnalyst et l'image sur la droite montre les niveaux de détail (source: Zeeuws Archief, Kaarten Zeeland, 1948.41).

Résultats du classement

Au total, 101 cartes des différents pays partenaires ont été évaluées au regard de leur précision topographique, géométrique et chronométrique. Ces cartes ont des échelles variées, petite à large, et les plus anciennes remontent au 16^e s.



▲ Localisation des cartes anciennes évaluées. Les polygones représentent les zones couvertes par chaque carte, la couleur reflète le score, le rouge correspondant au plus fort et le jaune au plus faible.

En termes de précision topographique, les cartes varient énormément mais la plupart d'entre elles se sont révélées riches en détails. Les principaux facteurs influant sur le niveau de précision sont l'échelle et le sujet de la carte.



▲ Détails topographiques de diverses cartes (source gauche : Algemeen Rijksarchief, Kaarten & Plans II, 176, middle Algemeen Rijksarchief, Kaarten & Plans I, 441, droite : Algemeen Rijksarchief, Arenbergfonds, 842).

Les principaux facteurs influant sur la précision géométrique sont : la date de production de la carte, la précision augmentant dans le temps avec des exceptions pour les cartes à large échelle qui sont plus utiles à la recherche littorale et parce que l'intention de la carte entraîne parfois la figuration de détails.

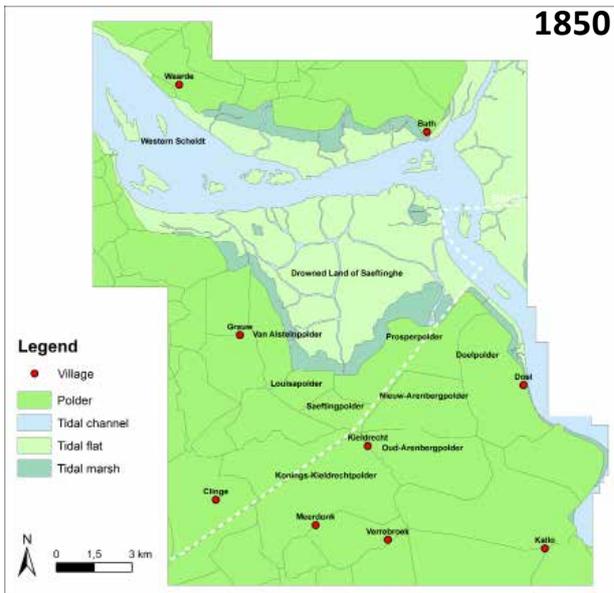
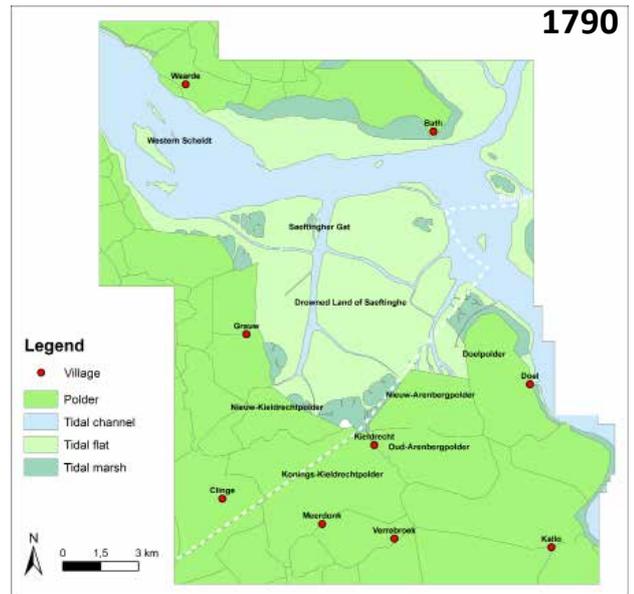
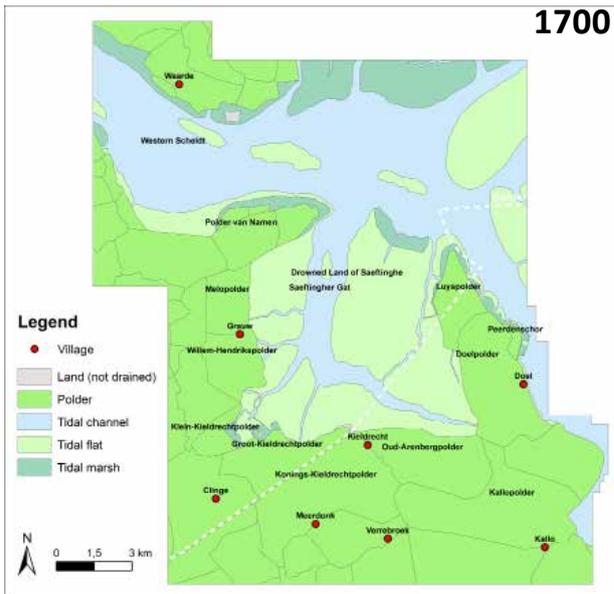
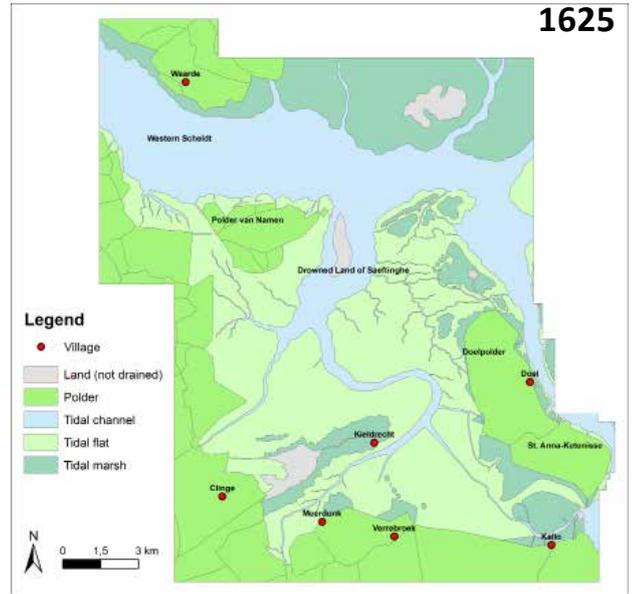
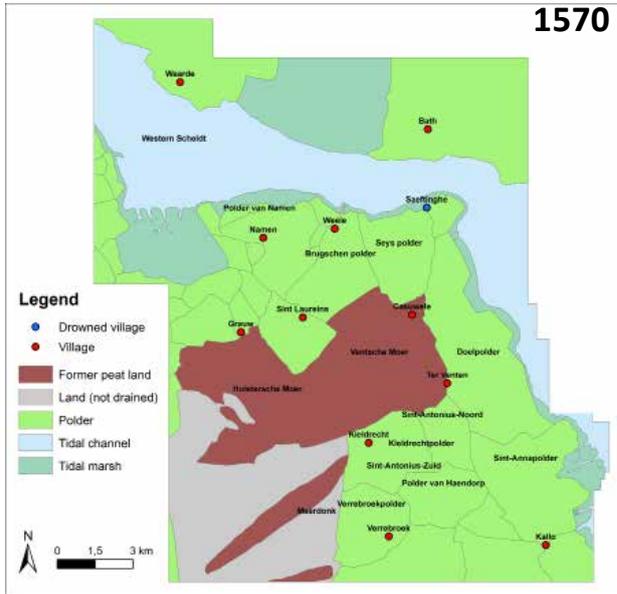
La précision chronométrique varie en fonction des informations disponibles sur la date et l'origine de la carte. Certaines mentionnent leur date de production, si ce sont des copies ou de originaux, l'échelle, mais pour d'autres nous avons peu d'informations sur leur origine ou leur contexte



▲ Carte réalisée à des fins militaires, plus précise sur les installations principales et les frontières (source : Scheepvaartmuseum Amsterdam, Atlas van Loon, Coeck 1664).

Analyse de l'évolution côtière à partir des cartes

Le paysage post-médiéval des Waasland-Scheldt polders a été reconstitué à partir des cartes anciennes. Les cartes aux scores les plus forts ont été sélectionnées pour correction SIG et numérisation. Le résultat réside dans cinq cartes reconstituant l'évolution du paysage entre 1570 (juste avant les inondations stratégiques) et 1850.



▲ Reconstitution du paysage post-médiéval des Waasland polders à partir des cartes anciennes de 1570 à 1850 (doc. I. Jongepier, UGent).

Outils d'analyse des représentations artistiques

La valeur des œuvres d'art anciennes comme outil d'aide à la gestion du littoral réside dans la description détaillée de la géologie et les caractéristiques géomorphologiques de certaines peintures. Cependant, de nombreux tableaux ne présentent qu'une valeur limitée et leur étude constituerait une perte de temps. Par conséquent, un système de classement a été conçu pour aider à l'évaluation de ces peintures et des sujets traités. L'objectif était de développer un outil facilement utilisable par des professionnels désireux d'accroître leur connaissance de la côte et susceptible d'appuyer les approches scientifiques déjà utilisés pour mesurer l'évolution du littoral.

Au cours du projet, plus de 250 œuvres d'art de la région Manche-sud de la mer du Nord ont bénéficié du système de classement. Nombre d'entre elles (39%) ont été jugées d'un intérêt suffisant pour déboucher sur une étude plus détaillée (56 en Angleterre et 42 en Bretagne, France).

La mise en œuvre des critères de classement

Afin d'évaluer la fiabilité et l'exactitude des œuvres d'art anciennes, celles-ci ont été évaluées en fonction de quatre critères: la précision du style artistique, le choix du meilleur procédé pour illustrer l'évolution du littoral, la valeur de l'objet dépeint au regard de l'évolution du littoral sur long terme et la valeur de la période de temps.

La précision du style artistique

Divers styles artistiques contribuent plus ou moins à la précision topographique, en fonction de leur représentation des milieux côtiers. Cinq sous-catégories de styles ont été envisagées :

Sous-style	Score	Détails
Caricatures	1	Ces œuvres ne contiennent généralement pas assez de détails pour contribuer vraiment à notre connaissance du milieu côtier de l'époque. Leur intérêt est tourné généralement vers des sujets humains et sociaux plutôt que sur les aspects physiques ou historiques.
Paysages pittoresques	2	Ce type de représentation est prisé par des artistes produisant des œuvres à la manière des paysages italiens popularisés par ceux qui reviennent du Grand Tour. Alors que le style pittoresque se préoccupe moins de la précision topographique, il peut fournir au moins certaines indications sur la nature du paysage de l'époque.
Scènes marines et navales	3	Représentant la navigation côtière et les petits métiers, ces scènes sont une composante importante en termes d'art côtier. La plaisance, la pêche et d'autres scènes d'expédition prennent des paysages côtiers comme toile de fond, souvent avec des détails topographiques. Des œuvres produites par des officiers de marine, ou autres personnages ayant servi à bord de navires, se révèlent fréquemment d'une grande précision.
Art topographique dont les plages et des paysages côtiers	4	Comprend des peintures de paysages côtiers, des aquarelles et des estampes. C'est une source riche et la plus grande partie de la zone Manche-sud de la Mer du Nord est illustrée de cette manière. Les villes côtières et villages de pêcheurs implantés sur les côtes ou sur l'estran des criques, des estuaires ou des baies y sont d'un grand intérêt.
Art topographique dont les plages et des paysages côtiers, relevant de l'école préraphaélite	5	Il s'agit de représentations détaillées de scènes littorales, datant habituellement du milieu à la fin du 19 ^e s. Du fait du détail et de la précision des représentations, par des artistes cherchant à dépeindre la nature de la manière la plus précise, ces œuvres constituent une ressource particulièrement précieuse.



▲ 'Pegwell Bay – Souvenir du 5 octobre 1858' par William Dyce RA. Huile sur toile, 1858-60 (doc. © Tate Images 2014). Il s'agit d'un exemple particulièrement esthétique d'une peinture à l'huile montrant le niveau de détail qui peut être atteint par l'école de peinture préraphaélite.

Le choix du meilleur procédé

Le second critère de classement est lié au procédé retenu par l'artiste pour illustrer la scène littorale.

Six catégories ont été identifiées :

Sous-style	Score	Détails
Gravure sur plaque de cuivre	1	Généralement, les gravures sur plaques de cuivre ne permettent pas de faire figurer des détails très fins.
Peintures à l'huile	2	Les peintures à l'huile sont considérées comme un peu plus précises car elles présentent un plus grand niveau de détail.
Peintures à l'huile par l'école de Norwich School et artistes pré raphaélites	3	Les peintures à l'huile par des artistes pré raphaélites et leurs disciples obtiennent un meilleur classement en raison de leur précision et du niveau des détails saisis.
Gravures sur plaque d'acier et eaux-fortes	4	Souvent publiées individuellement ou en lots, ou insérées dans les livres de la période pré-victorienne et du début au milieu du 19 ^e s. Il s'agit d'une ressource précieuse qui enregistre les moindres détails avec les avantages combinés de la colorisation de certains points de vue.
Lithographies, dessins au crayon et dessins aquarellés	5	Capables de figurer des détails extrêmement fins. La qualité de certaines lithographies colorisées atteint presque celle de dessins aquarellés, dont elles obtiennent le même score. Ces techniques permettent de figurer des détails porteurs d'informations sur la géologie de la falaise, la nature des matériaux de la plage, les types de végétation côtière, ainsi que l'étendue de l'aménagement du littoral à l'époque.
Dessins aquarellés par des artistes préraphaélites et leurs disciples	6	Ces aquarelles d'artistes pré raphaélites et leurs disciples atteignent le score maximum en raison de leur restitution détaillée de l'objet.



▲ A gauche: 'Scène de plage à Southwold, Suffolk' par Thomas Smythe (1825-1904). Huile sur toile (collection privée). A droite : 'Sur la côte sud du Devon' par Samuel Edward Kelly, aquarelle (avec influence préraphaélite), vers 1900 (doc. R McInnes).

La valeur de l'objet

Ce troisième type de classement qui se penche sur le sujet représenté est important pour ceux qui s'intéressent à l'étude de l'évolution littorale. Par conséquent, un facteur de pondération de x2 a été appliqué pour les trois catégories suivantes :

Sous-style	Score	Pondération	Details
Vue littorale générale	1	2	Contribue à une appréciation globale de la géomorphologie côtière et des caractéristiques du paysage
Vue plus détaillée	2	4	Fournit des informations sur la nature de la plage, la falaise et l'arrière-pays, voire des données sur l'utilisation des terres et les conditions environnementales.
Œuvres apportant une appréciation détaillée	3	6	Montrent de nombreux aspects de la côte, y compris la géologie, la végétation et l'aménagement du littoral.



▲ 'Art - Valeur de l'objet ». Cette aquarelle très détaillée de 'La vieille route de Undercliff, Niton, Isle of Wight » par George James Knox (1866) montre un endroit qui a été affecté, depuis, par une érosion côtière spectaculaire et des glissements de terrain. Cette route panoramique a été coupée par un éboulement massif de la falaise (à droite) en juillet 1928. Connaître la nature et l'ampleur de ces événements passés aide les ingénieurs géotechniques à envisager les scénarii possibles sur d'autres façades maritimes potentiellement instables (doc. R. McInnes).

Valeur de la période

Le dernier critère de classement repose sur la période à laquelle l'artiste a travaillé. Quatre périodes ont été identifiées :

Période	Score
1770-1840 (sauf "l'âge d'or" hollandais)	1
"Âge d'or" hollandais (peintures du 17 ^e s.)	2
1840-1880 (période Victorienne - développement littoral)	3
1880-1930 (fin de l'ère Victorienne, Edwardienne et suite du développement littoral)	4



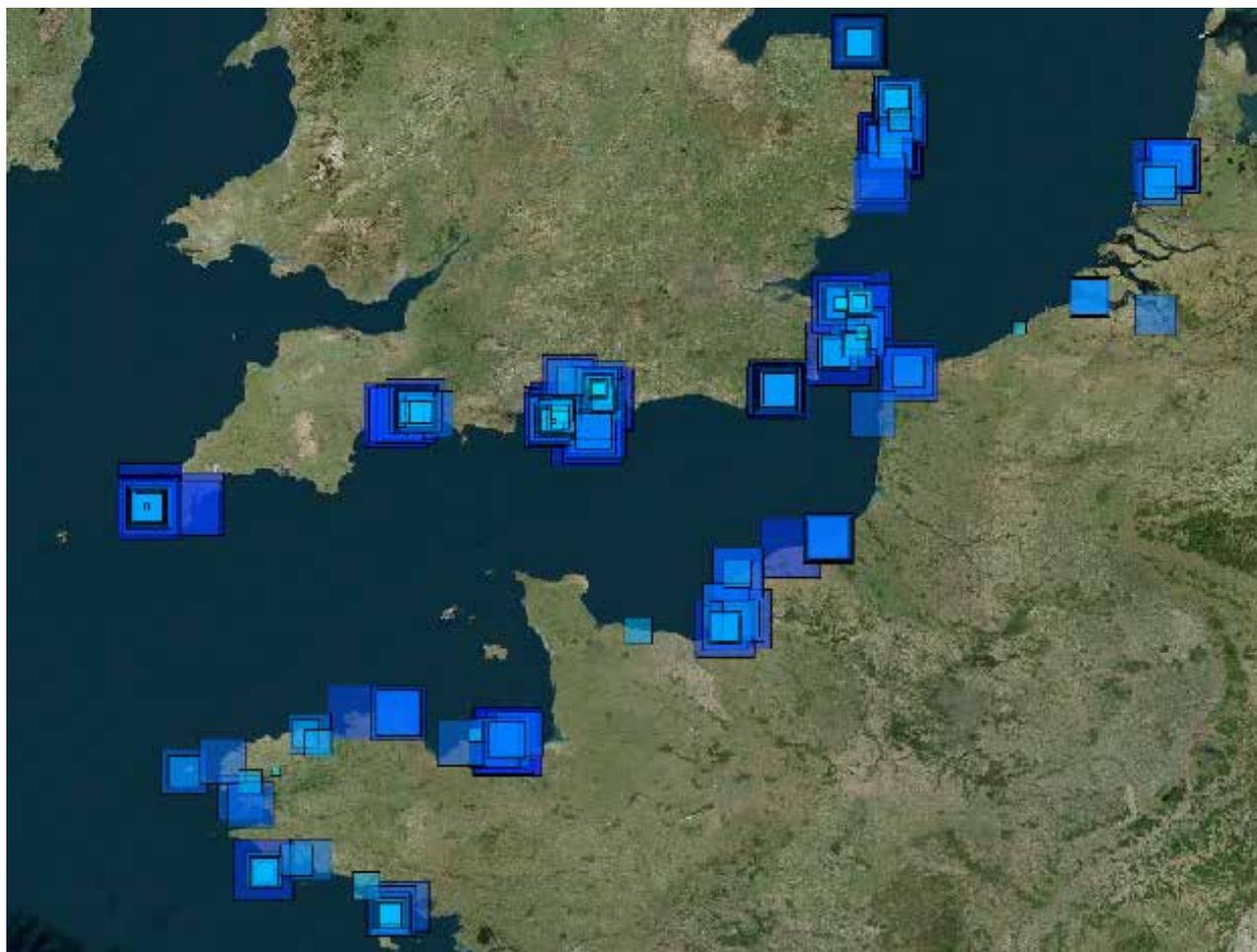
▲ Valeur de la période de temps. Dessin aquarellé 'Le port, Lowestoft' par l'aquarelliste prolifique Alfred Robert Quinton. Peint vers 1910, il montre le mode de construction du brise-lames de bois en détail. Ces images sont utiles aux concepteurs de structures de remplacement qui ont besoin de connaître la nature de l'infrastructure existante pour affiner la conception et les coûts. Comme William Daniell RA au début du 19^e s., Quinton a produit plus de 2000 vues de la côte de l'Angleterre entre 1890 et 1934. Son œuvre constitue donc une ressource particulièrement précieuse pour cette période (doc. J. Salmon Limited Sevenoaks).

En résumé, le tableau ci-dessous donne un exemple de la note maximale possible pour une œuvre d'art. Cependant, lors de l'analyse, ces résultats ont été «normalisés» pour fournir une note sur 100 assurant la parité avec les résultats des autres approches (l'archéologie, cartes, et photos) :

Compilation des scores de classement des artistes et de leurs œuvres (maximum possible)	
1. Précision du style artistique, maximum	5
2. Choix du meilleur procédé, maximum	6
3. Valeur de l'objet représenté, maximum	6
4. Valeur de la période, maximum	4
Score total maximum	21

Résultats du classement

Le classement des œuvres d'art a fourni une liste d'artistes qui illustrent le littoral avec beaucoup de précision. L'examen de leurs œuvres permet une évaluation qualitative de l'évolution du littoral à long terme. Pour certains artistes, connus pour leur attention particulière aux détails, il est aussi possible d'évaluer les changements quantitatifs (par ex. mesurer le recul des falaises ou l'évolution de plages), en particulier lorsque des structures comme des phares, des fortifications ou des structures de protection du littoral sont situés près de la côte. En outre, les matériaux de l'estran peuvent être identifiés lorsque le niveau de plage est représenté, à côté de structures telles que des jetées, des brise-lames et des digues.



▲ Localisation des œuvres d'art évaluées. La taille et la couleur du symbole reflètent le score, les plus grands carrés bleu foncé marquant le score le plus élevé.



▲ 'Yarmouth', 1891. Aquarelle. Charles Robertson (1844-1891). Robertson était un disciple des pré-raphaélites et il a dépeint l'étendue de marais salés et les vasières de la côte nord-ouest de l'île de Wight en détail (collection privée).

East Anglia UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Alfred Robert Quinton	Watercolour	70
Walter Frederick Osborne	Oil Painting	70
John Moore of Ipswich	Oil Painting	66
Myles Birlet Foster	Watercolour	62
Alfred Heston Cooper	Watercolour	62
Edwin Hayes	Oil Painting	59
Thomas Smythe	Oil Painting	55
John Varley	Watercolour	55
William Daniell	Engraving	55

East Kent UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
William Dyce	Oil Painting	62
Henry Pether	Oil Painting	55
William Daniell	Engraving	55

Hertford UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Alfred Robert Quinton	Watercolour	70
William H. Barrow	Oil Painting	59
Charles A. Graves	Oil Painting	59
Edwin Hayes	Oil Painting	51

Salvaz/Isle of Wight UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Charles Robertson	Watercolour	77
William Gray	Watercolour	44
William E. Atkins	Watercolour	70
Alfred Robert Quinton	Watercolour	70
William Westall	Engraving	62
Robert Brandall	Engraving	55
Clarison Stanfield	Engraving	55
Henry Pether	Oil Painting	55
William Turner of Colford	Watercolour	51

West Devon/East Dorset UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Arthur Perry	Watercolour	70
J. Baker	Engraving	66
W. Dawson	Engraving	66
Daniel Dorester	Engraving	66
Alfred Robert Quinton	Watercolour	62

West Cornwall UK		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Alfred Robert Quinton	Watercolour	70
John Brett	Oil Painting	62
John Medford	Oil Painting	59
William Daniell	Engraving	55

Brittany France		
Artist	Medium Used	Ranking Score
Eugène Isabey	OP/AC/E	74
Paul Sébillot	WC/P/E	62
Theophile Busnel	WC/P/E	62
Maurice Maufra	D	59
Duroy Batesau	WC/P/E	59
Alexandre Nessel	WC/P/E	59
Theodore Gudin	D	55
Henry Riviere	WC/P/E	55
Emanuel Lamy	D	51
Gaston de Latrency	WC/P/E	51

Key	
Watercolour	WC
Engraving/Etching	E
Oil Painting	O
Pencil	P

▲ Les tableaux fournissent une liste des artistes les mieux classés pour chacune des zones d'étude, mais aussi des procédés le plus couramment utilisé par les artistes et les scores atteints par leurs œuvres.

L'approche artistique de terrain

Les zones qui présentent un nombre important de peintures au score élevé ont été visitées et des photographies ont été prises pour enregistrer l'état actuel. Le lieu à partir duquel l'artiste a dépeint la vue a été localisé aussi précisément que possible pour permettre une comparaison visuelle directe. La période de visite a été calculée, autant que possible, afin de coïncider avec la marée basse et une prospection à pied a couvert la plage et le pied de falaise. Cela a permis une comparaison approfondie entre les conditions géomorphologiques représentées dans l'œuvre d'art et la situation actuelle.

Pour chaque étude de cas, l'objectif principal a été l'examen d'une ou deux œuvres particulières, suivi d'une évaluation des apports de l'image en termes d'évolution du paysage dans le temps, par rapport à l'observation sur le terrain. Cependant, pour quelques sites, nous avons constaté que plusieurs artistes ont peint la vue à partir du même endroit, ce qui aide à établir une chronologie de l'évolution du littoral au cours des 19^e et 20^e siècles.

Les partenaires du projet se sont assurés que les sites choisis pour l'étude sur le terrain représentaient l'ensemble des conditions géomorphologiques des côtes Manche-sud mer du Nord, de manière à utiliser l'art pour évaluer l'évolution du littoral sur un large éventail d'environnements. Par conséquent, les études incluent des falaises rocheuses et meubles, des éboulements, des plages de galets et de sable fin et des dépôts, des marais salés et des vasières.

L'objectif du travail de terrain répond à une ambition plus large du projet Arch-Manche qui est de répondre aux questions suivantes :

- quelles informations les images anciennes fournissent-elles pour la compréhension de l'évolution du littoral, à long terme ?
- Le potentiel de cette ressource peut-il être utilisé plus efficacement par les gestionnaires ?

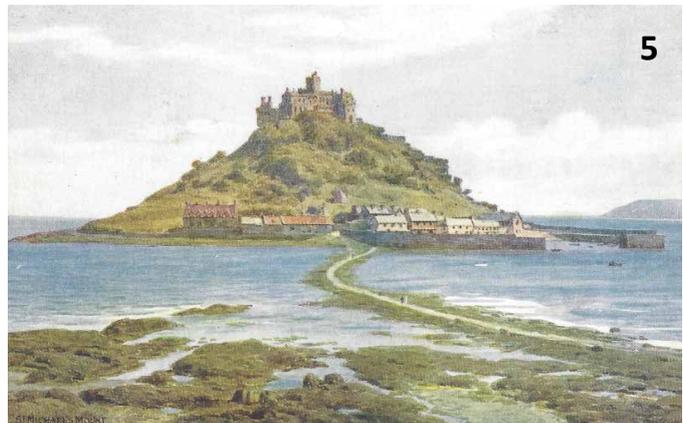
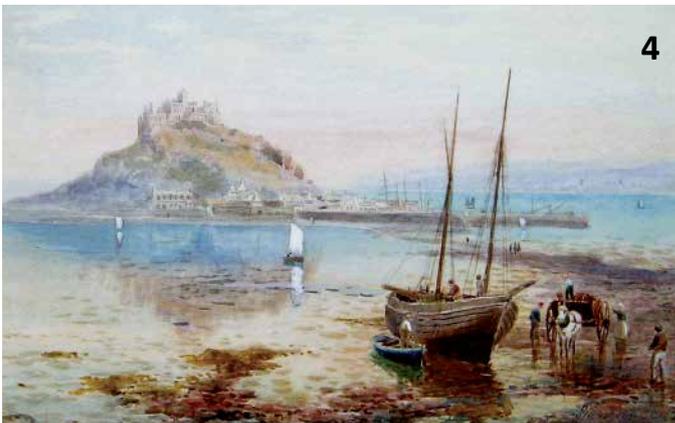
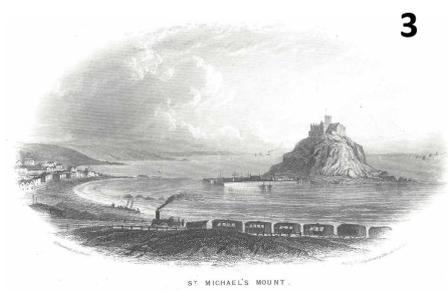
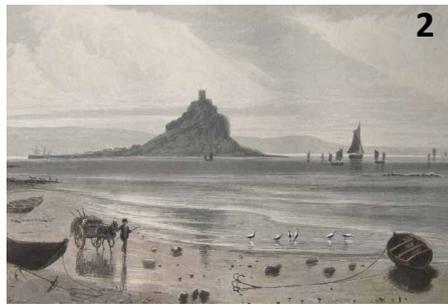
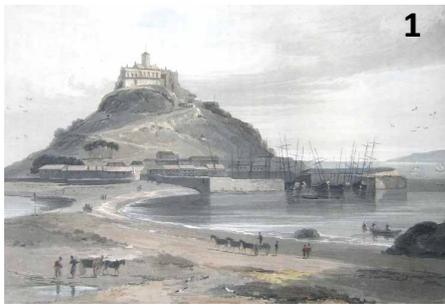
Exemples de classement d'œuvre d'art, de travail sur le terrain et d'analyse

Des œuvres d'art ont été évaluées dans les diverses zones d'étude, avec un accent particulier sur les études de cas du Royaume Uni et de France.

Mont Saint-Michel, la baie du Mont, près de Penzance

Situé sur la côte sud de Cornouailles (UK), à environ 2 km à l'est de la ville de Penzance, le mont est relié à l'estran par un pont-jetée, recouvert à marée haute. Le site est soumis à des pressions importantes : tourisme, processus physiques, y compris les ondes de tempête affectant la plage, intérêt du site en termes de conservation de la nature. Des ouvrages défensifs couvrant une grande partie de la baie accentuent la pression côtière pour l'avenir.

	Localisation	Artiste	Date	Type	Période	Style	Environnement	Total
1	St Michael's Mount – Vue 1	William Daniell	1825	Eau-forte	Précoce	Topog.	Vue de détail	55
2	St Michael's Mount – Vue 2	William Daniell	1825	Eau-forte	Précoce	Topog.	Vue de détail	55
3	St Michael's Mount	G. Townsend	c.1850	Gravure	Moyenne	Topog.	Vue de détail	62
4	St Michael's Mount	Henry B. Wimbush	c.1900	Aquarelle	Tardive	Topog.	Vue de détail	70
5	St Michael's Mount	Alfred Robert Quinton	c.1900	Aquarelle	Tardive	Topog.	Vue de détail	70



▲ Images 1, 2 et 3 : doc. R McInnes, images 4 et 5 : doc. J. Salmon Limited of Sevenoaks.

Les deux vues du mont Saint-Michel depuis le rivage de Maranzion par Alfred Robert Quinton et par Henry Wimbush ont été peintes à l'aquarelle vers 1900. Elles sont réalisées à marée basse, comme l'indique la chaussée reliant l'île au continent, et qui est visiblement accessible aux piétons. Au premier plan, l'estran rocheux est figuré, en avant de la plage de sable. Les aquarelles révèlent la nature de l'estran, et il semble qu'il y ait eu peu de changement depuis que ce paysage a été peint.

La comparaison entre ces images et la situation actuelle montre ici assez peu de changements, ce que confirme la surveillance régulière du trait de côte. Les aquarelles contribuent à fournir une perspective à long terme compte tenu de la nature du contexte de ce lieu emblématique.

Finistère nord et Trégor

Les recherches permettent d'identifier huit artistes qui ont peint le long de cette côte, entre 1770 et 1920, et douze tableaux sont pris en compte :

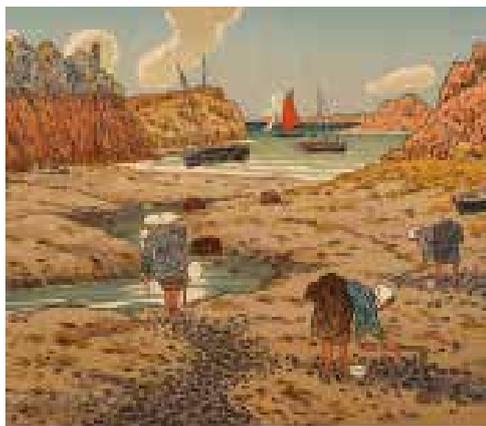
Localisation	Artiste	Date	Type	Période	Style	Environnement	Total
Embouchure du Trieux, Loguivy	Paul Sébillot	1879	Huile	Moyen	Topog.	Vue de détail	62
Bréhat, Loguivy	Henri Rivière	1905	Aquarelle	Récente	Topog.	Vue générale	55
Embouchure du Trieux, Loguivy	Henri Rivière	1905	Aquarelle	Récente	Topog.	Vue générale	55
Embouchure du Trieux, Loguivy	Henri Rivière	1908	Aquarelle	Récente	Topog.	Vue générale	55
Saint Guirec, Trégastel	Théophile Busnel	1890	Aquarelle	Récente	Pittores.	Vue générale	62
Ile Callot, Carantec	Emmanuel Lansyer	1893	Huile	Récente	Topog.	Vue générale	51
Porspoder	Théophile Busnel	1893	Aquarelle	Récente	Pictores.	Vue générale	55
Le Teucer, Ouessant	Emmanuel Lansyer	1885	Huile	Récente	Marine	Vue de détail	55
Port de Camaret	Théodore Gudin	1830	Huile	Précoce	Topog.	Vue de détail	55
Morgat	Henri Rivière	1907	Aquarelle	Tardive	Topog.	Vue générale	55
Rivière près du Dourduff	Emmanuel Lansyer	1874	Huile	Tardive	Topog.	Vue générale	40
Batteries du port de Brest	Louis Nicolas Van Blarenberghe		Aquarelle	Précoce	Pittores.	Vue générale	37

▲ Tableau donnant le détail des peintures en tête de classement dans la zone d'étude du Finistère nord et Trégor.



▲ Localisation des oeuvres d'art évaluées dans le nord Finistère et le Trégor, France.

Les œuvres classées en tête sont les aquarelles, les lithographies et gravures de la seconde moitié du 19^e s. Elles sont suivies par des peintures à l'huile, à partir du milieu du 19^e s., peintes par des artistes impressionnistes et post-impressionnistes. L'un des principaux artistes, pour cette période, est Henri Rivière qui avait une maison à Ploubazlanec dans l'estuaire du Trieux et a été fasciné par les côtes de Bretagne.



▲ Le port de Loguivy à marée basse par H. Rivière, 1905 (Musée de Saint-Brieuc) (d'après Fields, 1983).

Les artistes ont eu tendance à peindre des zones côtières attractives ou remarquables. Les représentations marines ont toujours été un sujet important, en particulier entre le 18^e et le 19^e siècle. A partir du milieu du 19^e s., la côte bretonne est peinte par des artistes impressionnistes ou post impressionnistes. Leur but n'est pas de représenter les détails de l'érosion marine ou la géomorphologie côtière, mais plutôt de refléter leur point de vue personnel. Ils représentent donc 'involontairement' la côte à des moments différents, fournissant ainsi de précieuses informations sur son évolution, pertinentes pour la gestion côtière. Un bel exemple est le tableau du port de Loguivy en 1905 par Henri Rivière, à la fois détaillé et romantique.

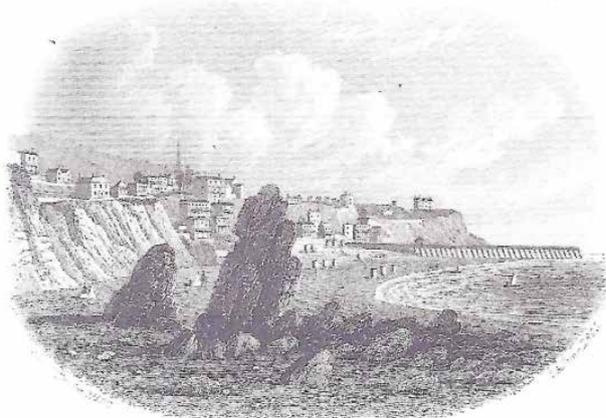
Quand on aborde les digressions artistiques des tableaux, au demeurant très instructives, une analyse supplémentaire est appliquée. Dans la peinture de la «*Rivière près du Dourduff*», par E. Lansyer, 1874, l'analyse montre les risques menaçant l'estuaire : érosion naturelle et pression humaine, induite des bâtiments côtiers tels que les maisons, une digue et un quai.



▲ «*Rivière près du Dourduff*», par E. Lansyer, 1874, analyse de la peinture par E. Motte (doc. Motte 2013). Ce site a été choisi en tant qu'exemple de paysage dans la baie de Morlaix, typique des zones densément peuplées et touristiques du nord Finistère.

Ventnor, Île de Wight, Royaume-Uni

Deux images rares de Ventnor, Île de Wight, présentent des caractéristiques géomorphologiques clés qui ont été utilisées pour produire un modèle de glissement de terrain dans la région.

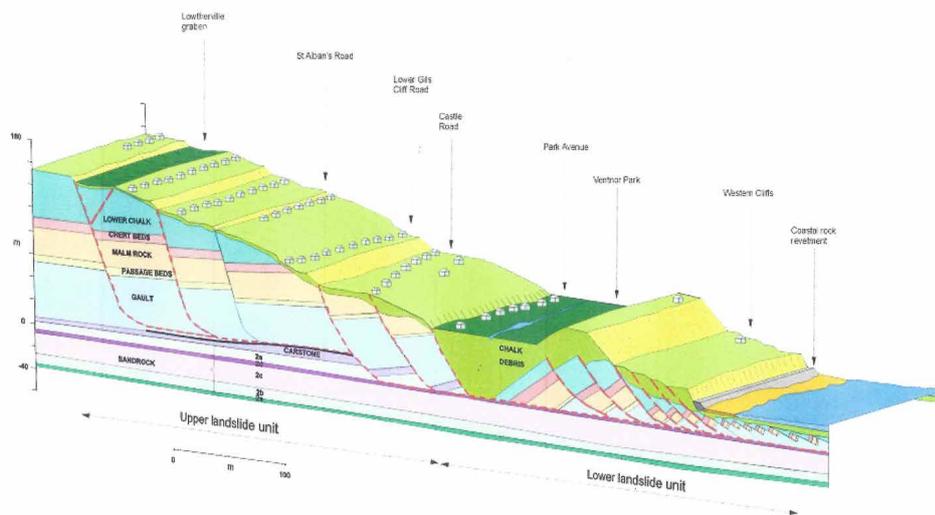


The Beach, Ventnor, Isle of Wight.

▲ “Plage de Ventnor” par Rock & Co. 1863. La vue montre une formation rocheuse en avant de la falaise maritime. Les rochers représentés sur cette gravure, qui ont depuis longtemps été érodés, permettent d’identifier une ancienne ligne de falaise au loin.



▲ Vue détaillée de la côte de Ventnor, Île de Wight par William Westall (1842). A la suite du développement, aux époques victorienne et édouardienne, des plantations de chêne-vert sur les côtes, leur prolifération au début 20^{es}. masque maintenant la géomorphologie. Les limites géomorphologiques ont été matérialisées sur l’image.



▲ Modèle de glissement de terrain pour la côte de Ventnor, Île de Wight (doc. Halcrow, 2006).

“Ventnor Undercliff” est un long complexe littoral de falaise avec des glissement de terrain sur 12 km, entre Luccombe et Blackgang, sur la côte sud de l’île de Wight ; il est considéré comme l’un des complexes géologiques les plus instables du Royaume Uni ; les falaises formées à partir de roches tendres sont sensibles aux effets de l’érosion en pied de falaise et des eaux souterraines. Il est à craindre que l’augmentation du niveau relatif de la mer et des précipitations hivernales se traduise par accélération des processus et des glissements de terrain plus fréquents au cours des 100 prochaines années.

Au cours des dernières années, la recherche a essayé de mieux comprendre la formation et le développement du mécanisme de glissement de terrain, afin de soutenir la planification et la gestion efficace des risques. Il était fondamental de comprendre comment le complexe terrestre s’est formé et de connaître son étendue vers le large.

Les tableaux étudiés montrent la ville de Ventnor avant le développement du front de mer à partir des années 1830, permettant d’identifier certaines composantes majeures du glissement de terrain, et de fournir des informations sur l’ancienne ligne de falaise.

Outils d'analyse des photographies anciennes

Contrairement aux cartes anciennes, et aux œuvres d'art, il n'était pas nécessaire de classer les photographies anciennes en matière de fiabilité et de précision mais plutôt en fonction de leur utilité en termes d'apport à la compréhension de l'évolution du littoral, à long terme.

Les critères de classement

Quatre critères ont été utilisés pour classer les photographies anciennes :

Sujet de la photo/carte postale : ce critère non mesurable présente quatre options :

- Privé ;
- Touristique;
- Scientifique (géologie, géomorphologie, archéologie);
- Inconnu.

Vue littorale : Ce critère évalue si l'image représente des éléments du patrimoine côtier. Si ce n'est pas le cas, par exemple si la photo montre une vue générale du paysage, les critères suivants sont examinés :

- vue générale – pas de détail évident sur la géomorphologie côtière (2 points);
- vue semi-générale – il est possible d'identifier des particularités côtières, comme la limite entre la falaise et la plage (4 points);
- vue de détail – on voit clairement la position du trait de côte, le profil de plage, la géologie, etc (6 points).

Vue patrimoniale : si l'image contient des éléments du patrimoine culturel, les critères suivants sont appliqués :

- la vue fournit une indication générale sur l'évolution côtière, sans précision chronologique (2 points);
- la vue donne une indication peu précise sur la chronologie – période identifiable (4 points);
- la vue donne une indication précise sur la chronologie (6 points).

Qualité : le dernier critère est basé sur l'état de conservation actuel de l'image :

- mauvais (1 point);
- moyen (2 points);
- bon (3 points).

Résultat du classement

Un total de 1 115 photographies anciennes et cartes postales ont été évaluées dans le cadre du projet, celles-ci ont été classées en fonction de leur potentiel informatif sur l'évolution de la côte. Les photos ont généralement été choisies pour les zones côtières où des peintures historiques et sites archéologiques sont connus. Cette étude ne vise pas à être exhaustive, mais simplement à mettre en évidence le potentiel de photos anciennes en termes d'évolution littorale. Des photos anciennes ont été évaluées principalement pour la France et le Royaume Uni, avec quelques exemples sur les côtes belges et néerlandaises.



▲ Localisation des photographies anciennes évaluées. La taille du symbole reflète le score de classement, plus l'étoile est grande, plus le score est élevé.

Exemples d'analyse photographiques

Bien que le classement des photographies anciennes ait été mené dans un certain nombre de zones d'études de cas, la démarche a principalement concerné les riches collections de photographies disponibles en France. Voici quelques exemples :

Plage de Kernic

La photo de droite montre la plage et l'allée couverte préhistorique du Kernic à Plouescat, un élément du patrimoine culturel ; son score est élevé avec 6 points pour le critère 3, la tombe a été datée au radiocarbone de 4300 Cal BP et est maintenant située 3,2 m sous les plus hautes mers. Le bon état de conservation de l'image a également obtenu un score élevé puisqu'il est encore possible de voir des détail.



▲ La plage et l'allée couverte préhistorique du Kernic à Plouescat (Finistère), photo ancienne (vers 1900), par A. Devoir © Labo Archéosciences UMR 6566 CReAAH.

Plouguerneau, Men Ozac'h, par A. Devoir (vers 1910)

Le monument de Men Ozac'h est situé dans une grande anse sableuse de l'estuaire de l'Aber Wrac'h, trait géomorphologique typique de la côte des abers, qui appartient à la formation du bas-plateau léonard (Finistère nord), entaillé d'échancrures profondes et bordé par de nombreuses îles et îlots; les parties rocheuses alternent avec des grandes plages de sable fin. L'amplitude de la marée dans cette partie de la Bretagne (environ 8 m) expose des grandes zones d'estran pendant la marée basse. Comme le montrent les photographies, les petites îles sont accessibles à pied à marée basse.

Cette zone est soumise à l'érosion côtière intensive, en raison de plusieurs facteurs:

- sa situation géographique, face à l'ouest et exposée aux principales tempêtes;
- les effets des marées et de la houle, sur certaines formations rocheuses ;
- les infrastructures humaines (ports, quais) qui peuvent modifier localement les processus de sédimentation.



▲ Vue du menhir sur estran de Men Ozac'h, Plouguerneau (Finistère) (photo A. Devoir, début 20^e s.) © Labo Archéosciences UMR 6566 CReAAH.

Parmi les images disponibles pour ce site, le choix a porté sur la vue qui semblait la plus informative en raison du cadre paysager et de la présence d'un personnage debout à côté du «menhir» qui fournit une «échelle» pour le monument. Le score de classement obtenu atteint 77. Malgré la grande qualité des indications paléoenvironnementales, le score de classement n'est pas maximal, du fait que les menhirs sont des monuments difficiles à dater avec précision, car ils ont été érigés depuis le Néolithique jusqu'à la période de l'âge du Bronze.

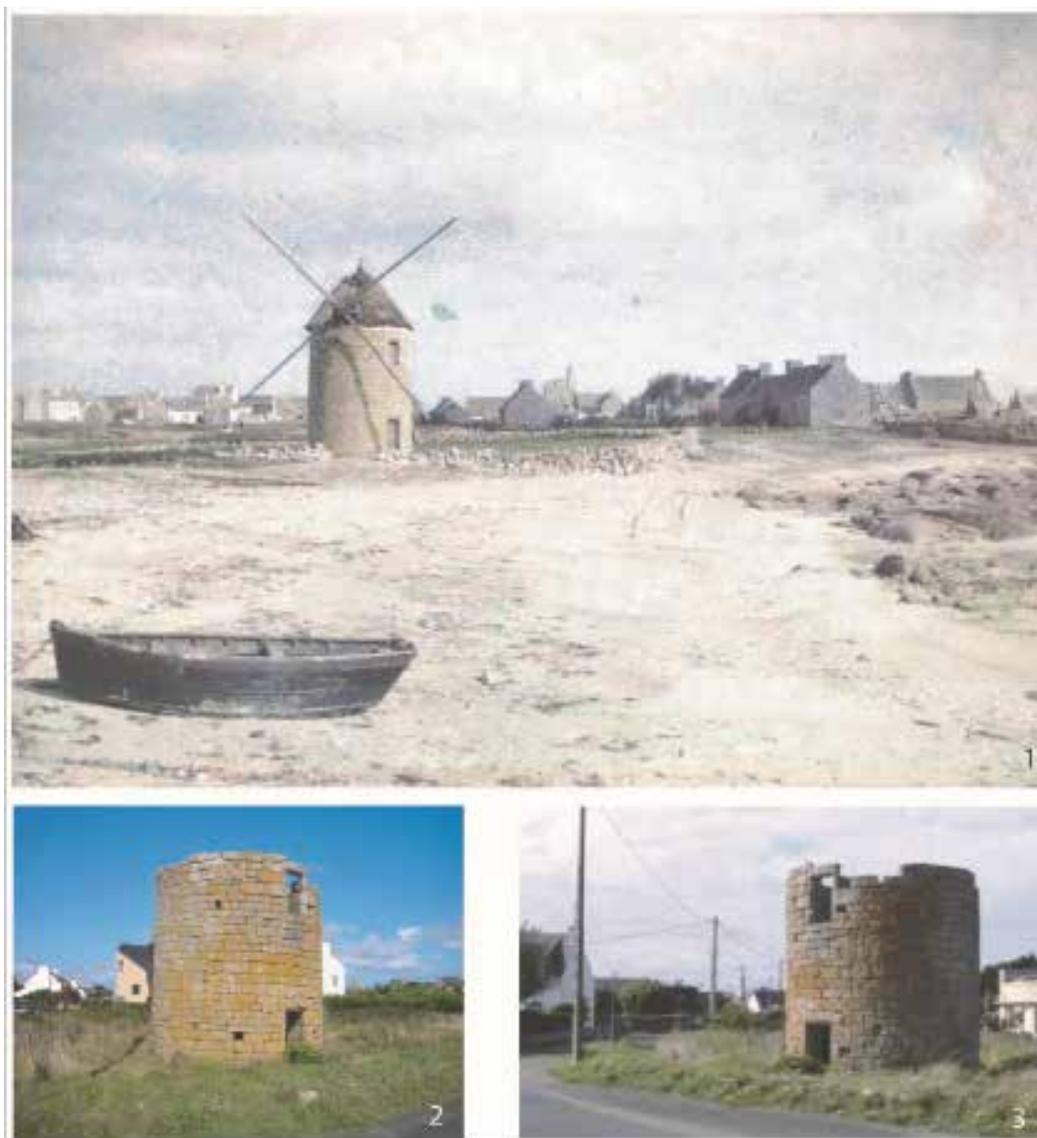
La seconde photographie montre le monument à marée haute et la troisième révèle la présence d'algues sur le menhir. Les deux images fournissent des preuves historiques sur la position du menhir qui est régulièrement (deux fois par jour) submergé par la mer.

Les documents originaux (plaques de verre et tirages positifs papier) font partie de la collection du Laboratoire Archéosciences (Université de Rennes 1).

Exemple de la zone d'étude de Cornouaille (France)

La comparaison entre les photos anciennes et récentes montre l'évolution de cette zone en raison de la pression humaine, où une route moderne a remplacé la plage et le port d'échouage sableux.

Les petits murets de pierre, visibles sur la photographie, laissent deviner le caractère inefficace de ces premières constructions, mises en place pour protéger le rivage et les terrains situés immédiatement en arrière.



▲ Moulin de Kerity (Penmarc'h) 1. Photo. par Georges Chevalier, 26 février 1920. 2. La même zone aujourd'hui (Source : panoramio.com). 3. © J.L. Geugaden, 2008 (source <http://kbcpenmarch.franceserv.com/>).

Croiser les données pour l'analyse à long terme

Le projet Arch-Manche vise un progrès dans la compréhension de l'importance de l'évolution littorale sur le long terme, en soulignant le potentiel des sources de données sous-utilisées jusqu'ici (l'archéologie, les données paléoenvironnementales, des œuvres d'art, des cartes, des graphiques, des photographies).

Dans une démarche inédite, ce projet croise ces données pour extraire le maximum d'informations en relation avec l'évolution du littoral à long terme.

Le processus d'analyse des divers types de données a nécessité la création d'outils partagés, (bases de données et SIG accessibles sur le web, en plus des logiciels et techniques utilisés pour l'évaluation initiale) ainsi que de modèles spécifiques.

- Accessibilité : la base de données et l'interface sont accessibles et permettent à divers utilisateurs de travailler en même temps en développant des partenariats internationaux.
- Classement : l'évaluation de chaque type de document permet le classement relatif des informations provenant de diverses disciplines connexes (l'art, la photographie, l'archéologie, les analyses paléoenvironnementales) et les données de gestion des zones côtières ;
- Visualisation: les résultats sont intégrés dans des illustrations, y compris des modèles 3D, des animations et des représentations schématiques, accessibles via le SIG et le site web du projet.

Base de données et analyse

Le projet a mis prioritairement l'accent sur une gestion efficace et innovante des données, ce qui constituait l'un des objectifs généraux du projet.

Base de données

Une base de données a été développée afin de centraliser le stockage des données, et rationaliser la diffusion des résultats du projet. Il s'agit d'une base de données relationnelle conçue pour fournir le potentiel maximal de création de requête et faciliter l'obtention de l'information et des rapports.

Les aspects fonctionnels de la base de données sont les suivants :

- Fonctions géographiques : la base de données est géoréférencée et les documents sont disponibles via le SIG du projet ;

▲ Exemple de vue du formulaire de la table archéologie / paléoenvironnement via l'interface web.

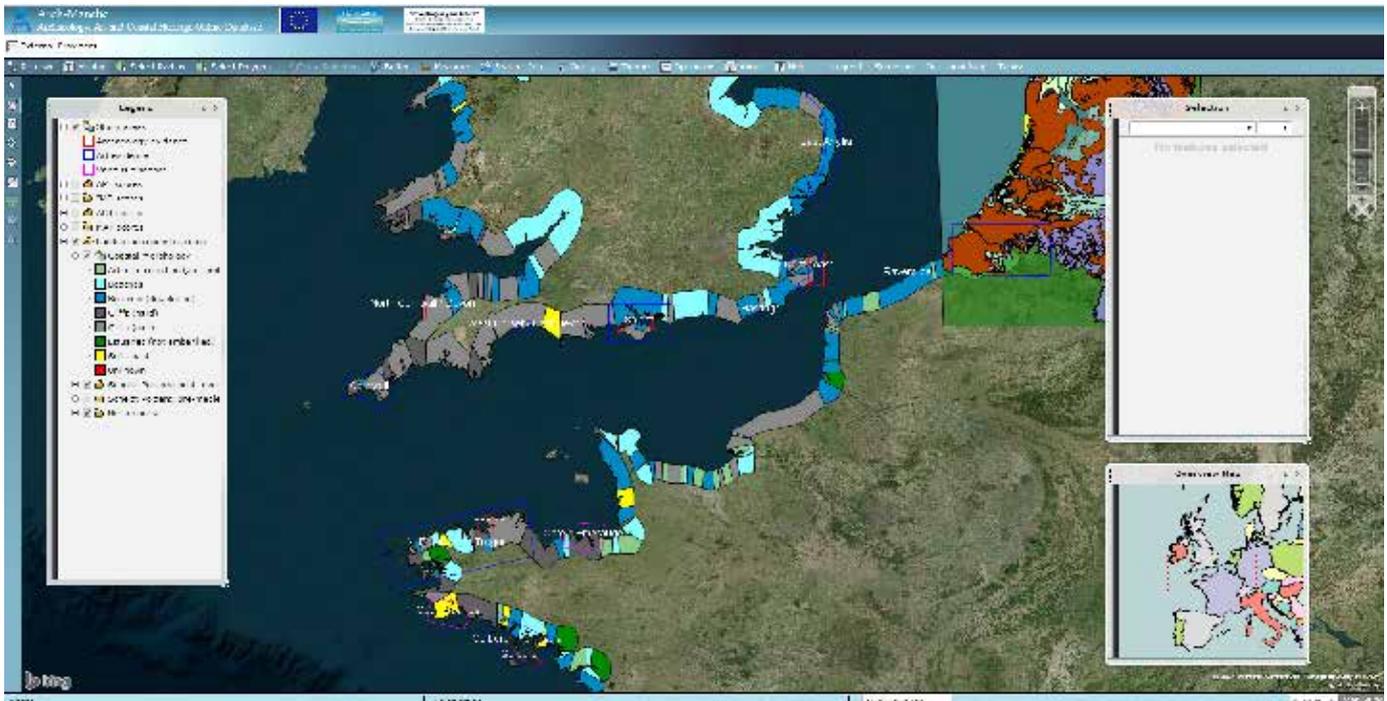
▲ Exemple de "vue de la grille" de la table des cartes et graphiques via l'interface web.

Analyse des données

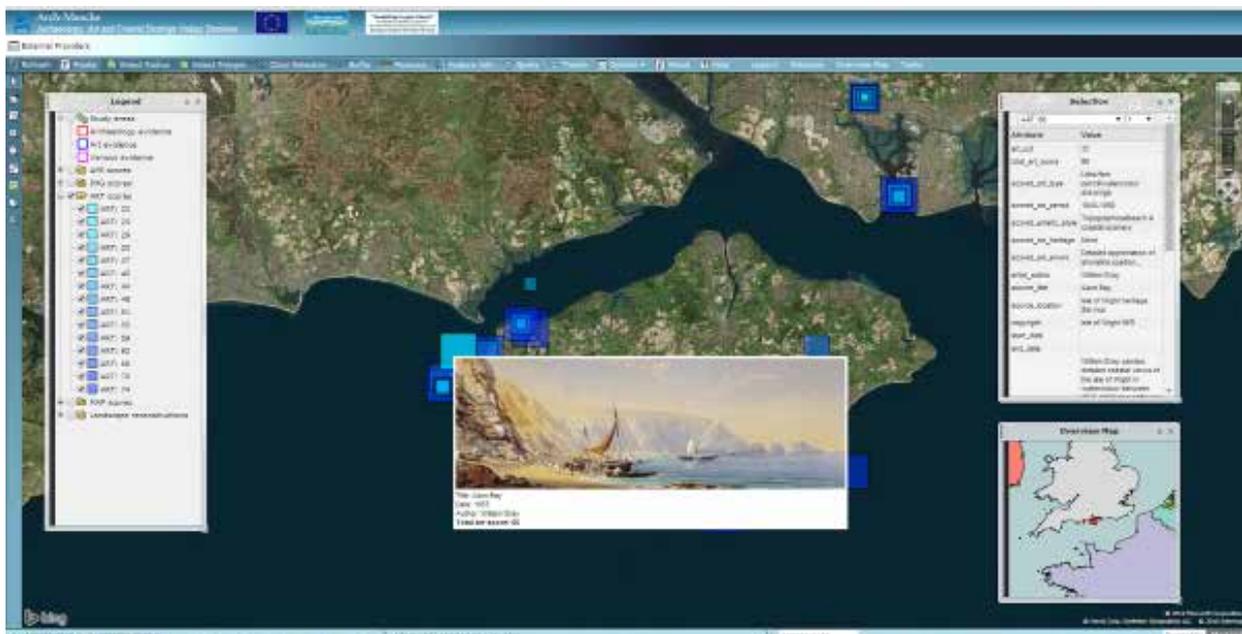
Le projet a développé une plate-forme de consultation en ligne pour la visualisation et l'interprétation de l'ensemble de la zone d'étude du projet (2D) et des secteurs particuliers (2, 3 et 4-D). La plate-forme est basée sur un navigateur ne nécessitant pas de plug-ins ou logiciels supplémentaires. Il offre les moyens d'explorer, de comprendre et de dialoguer avec les ressources de l'art, de l'archéologie et du patrimoine communes aux pays partenaires, qui sont pour la première fois accessibles à un public large et diversifié. Pour accéder au portail :

WWW.ARCHMANCHE-GEOPORTAL.EU

Ce portail en ligne propose une carte interactive illustrant la portée et la distribution des indicateurs de l'évolution du littoral. Chacun de ces points fait apparaître des informations et des images supplémentaires tirées directement de la base de données sous-jacente. Des commandes de navigation supplémentaires sont disponibles pour permettre à l'utilisateur de zoomer sur certains sites et monuments, y compris sur les modèles 2, 3 et 4-D créés pour plusieurs zones d'études de cas.



▲ Le portail Arch-Manche. Les utilisateurs peuvent zoomer sur les différentes zones d'étude, interroger les données, visualiser les modèles 2, 3 and 4-D et télécharger les rapports d'étude et les informations.



▲ Zoom sur la zone du Solent dans le portail Arch-Manche. Dans cet exemple, une peinture d'Alum Bay a été choisie, les informations sont visibles sur la droite une vignette de l'image apparaît sur l'écran.

Ressources combinées

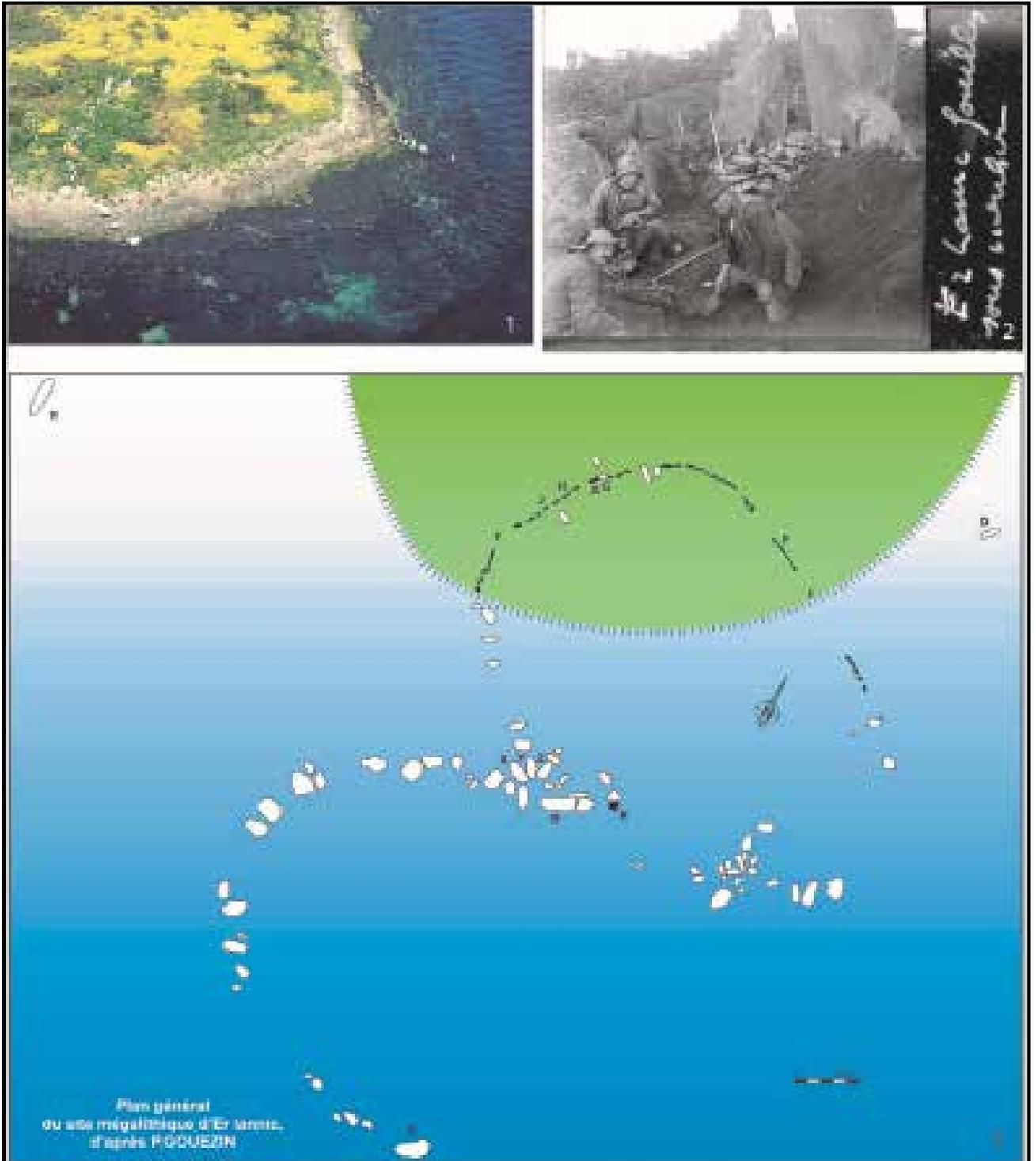
La force du croisement de données issues de diverses sources est bien illustrée par des exemples de zones d'étude où toutes sortes de ressources disponibles ont été évaluées et analysées. Voici quelques exemples significatifs :

Le golfe du Morbihan, France

Les résultats de l'étude du golfe du Morbihan ont fourni des preuves directes de l'évolution du niveau de la mer et du littoral, à la fois au cours des périodes récentes et de celles datant de plusieurs milliers d'années.

Le site mégalithique d'Er Lannic :

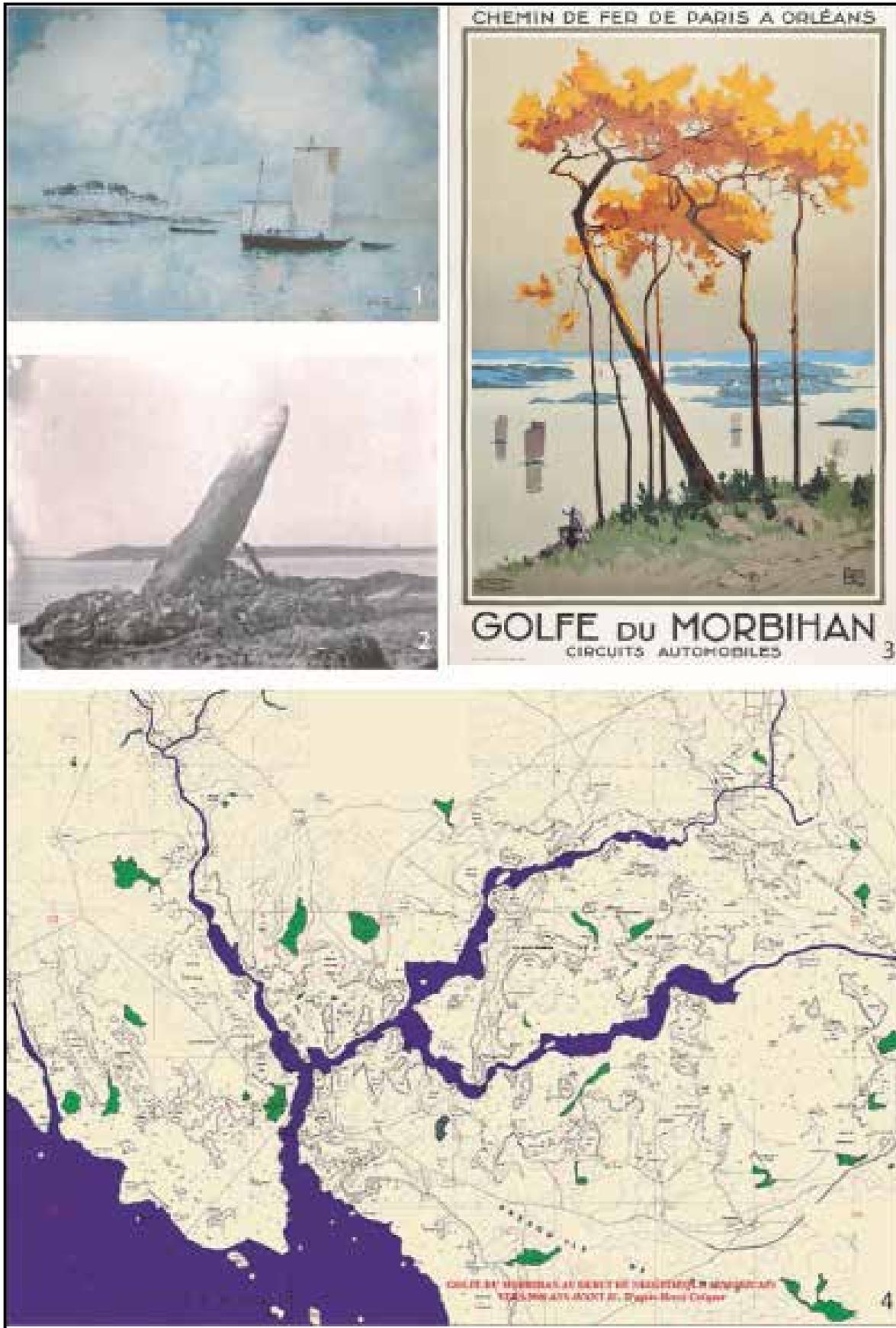
La combinaison de photos anciennes, de données archéologiques et de photographies aériennes fournit des données sur l'évolution du trait de la côte et du niveau marin autour de ce site majeur.



▲ Documents combinés sur le site mégalithique d'Er Lannic dans le golfe du Morbihan. 1. Vue aérienne de la partie émergée des cercles de pierre sur l'îlot (Cl. Reynaud, source futura-sciences.com), 2. Zacharie Le Rouzic, Marthe et Saint-Just Péquart, lors de la restauration du monument (vers 1920) © Labo archéosciences UMR 6566 CReAAH, 3. Plan des cercles de pierres d'Er Lannic (doc. P. Gouézin, d'après Gouézin et le Gall, 1992).

Dans le golfe du Morbihan :

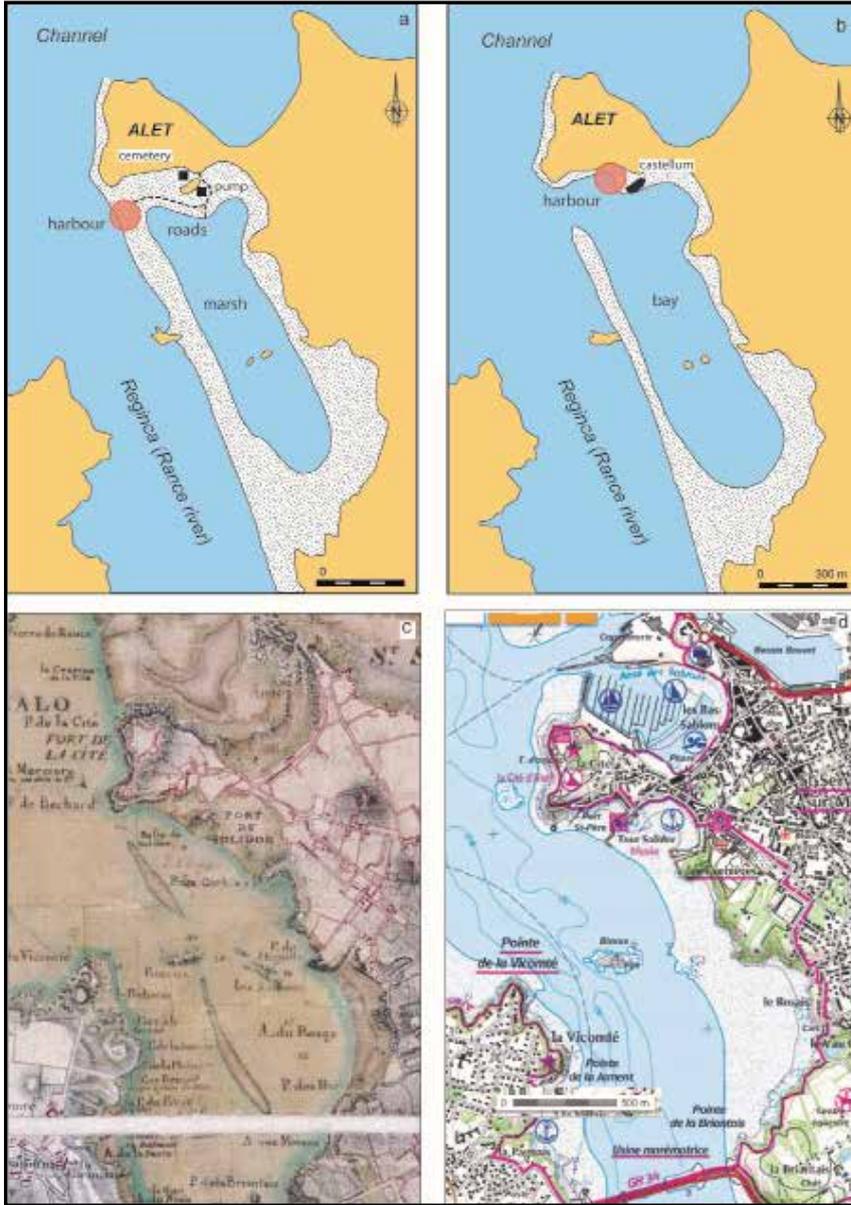
Différents styles de représentations artistiques sont combinés avec des photographies anciennes et une carte recréant le paysage passé.



▲ Documents divers sur le golfe du Morbihan : 1. Sinagot par Ernest-Guerin (1887-1952). 2. Le monument mégalithique d'Er Lannic pendant sa restauration par Z. Le Rouzic (vers 1920). 3. Golfe du Morbihan, affiche de 1927 (source <http://www.vintage-posters-gallery.com/fr/affiches-de-la-bretagne-htm>). 4. Carte schématique réalisée en abaissant la bathymétrie de 10 m et en intégrant des données qualitatives sur les processus de sédimentation (source: <http://www.ileauxmoines.fr/articles.php?id=25>).

Le promontoire d'Alet à Saint-Servan, France

L'exploitation des données des fouilles archéologiques, des cartes anciennes et des photographies aériennes a permis l'analyse du changement autour de l'ancien promontoire d'Alet.



▲ Ci-dessus: pointe de Saint-Servan (Alet) et évolution côtière du port: évolution de la topographie avant (a) et après (b) le 4^e s. ap. J.-C. La rupture du cordon d'alluvions a modifié l'utilisation et la fréquentation de la zone. Sur la carte ancienne (18^e s., Ministère de la Défense, Vincennes) (c) les restes du cordon apparaissent encore. (d) Vue du 20^e s. où le cordon a disparu (carte IGN).

▶ A droite: pointe de Saint-Servan (Alet) et évolution des côtes et du port. De haut en bas : Carte des Ingénieurs Géographes du Roi (1785) (Ministère de la Défense). Cadastre napoléonien (1835) (Archives départementales d'Ille-et-Vilaine). Vues aériennes (1945 et 2012) (source Géoportail, IGN).



▲ Localisation de la pointe de Saint-Servan.

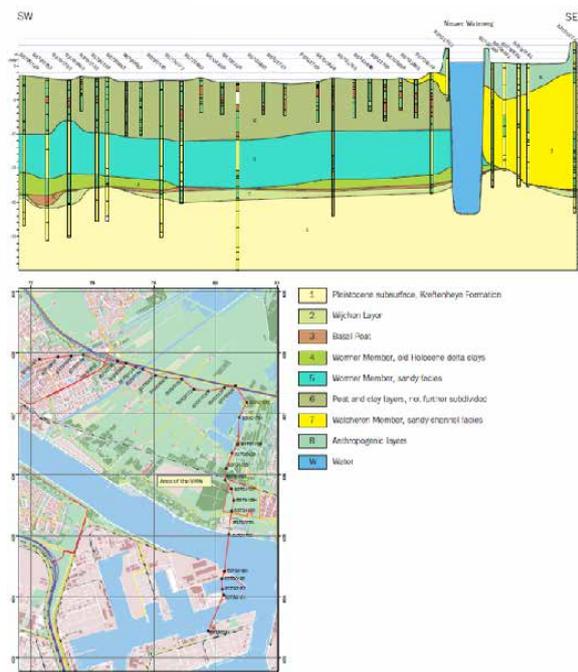
Vergulde Hand Ovest, Pays-Bas

Les informations issues des fouilles archéologiques de grande envergure sur le site de Vergulde Hand ouest, occupé de l'âge du Bronze moyen au Moyen Âge, sont associées aux données géologiques afin de reconstituer les paléoenvironnements passés. L'histoire de ce paysage est intrinsèquement liée à l'occupation et à l'activité humaine.



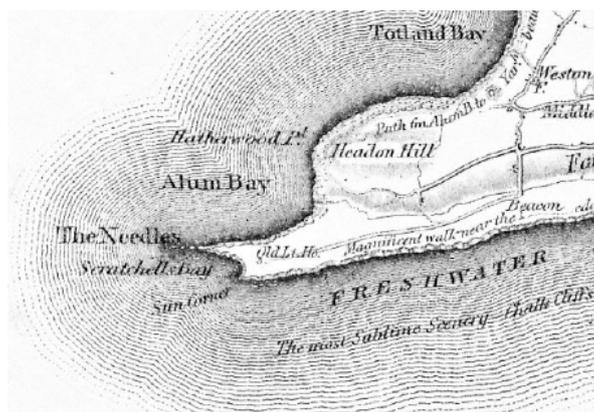
Images de la fouille 'VHW' en 2005. a) Fouille du secteur Vz09 dans le secteur est; b) sol et mur de maison en bois du milieu de l'âge du Fer; c) poteaux de fondation d'un grenier du milieu de l'âge du Fer; d) traces d'habitat ; e) chemin ; f) reste de structure en bois de l'âge du Bronze à la base du niveau de polder ; g) un canoë en chêne de 11 m de long ; h) fossé du 2^e s. ap. J.-C. creusé dans le niveau du Binnenpolder dans le secteur est (Source: Eijsskoot, Y., O. Brinkkemper & T. de Ridder, 2011. Vlaardingen - De Vergulde Hand-West. Onderzoek van archeologische resten van de middenbronstijd tot en met de late middeleeuwen; inclusief Bijlagen en Kaartbijlagen. RCE Rapportage Archeologische Monumentenzorg 200, 588 p).

Ci-dessous: Carte de localisation et de section lithostratigraphique des dépôts holocènes de 'VHW' et ses environs.



Alum Bay, Solent, Royaume Uni

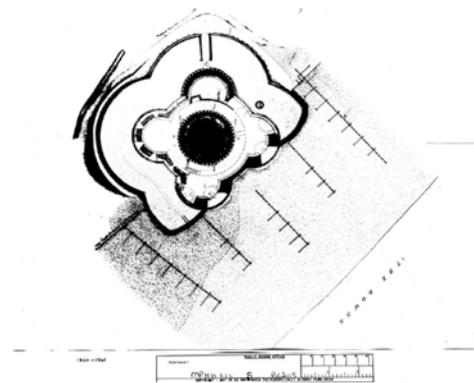
Les données détaillées sur les épaves, les tableaux de la baie d'Alum et les cartes historiques sont réunies pour illustrer l'évolution du littoral, les mouvements de sédiments des fonds marins et des matériaux de falaise, à la transformation plus large de la baie.



▲ En haut à gauche: mesure des niveaux de sédiments sur l'épave de la baie d'Alum 1 (doc. Roland Brooks). En haut à droite: carte de la baie d'Alum par A.Brannon 1862 (doc. R. McInnes). En bas: Peinture de la baie d'Alum vers 1860 par William Grey (doc. R. McInnes).

Château de Sandown, Kent, Royaume-Uni

Ce château, construit au 16^e siècle, a souffert de l'érosion côtière, seule une trace des fondations subsistant aujourd'hui. En combinant peintures anciennes, cartes, et photos, nous avons compris l'ampleur et le rythme de l'érosion qui affecte cette partie de la côte.



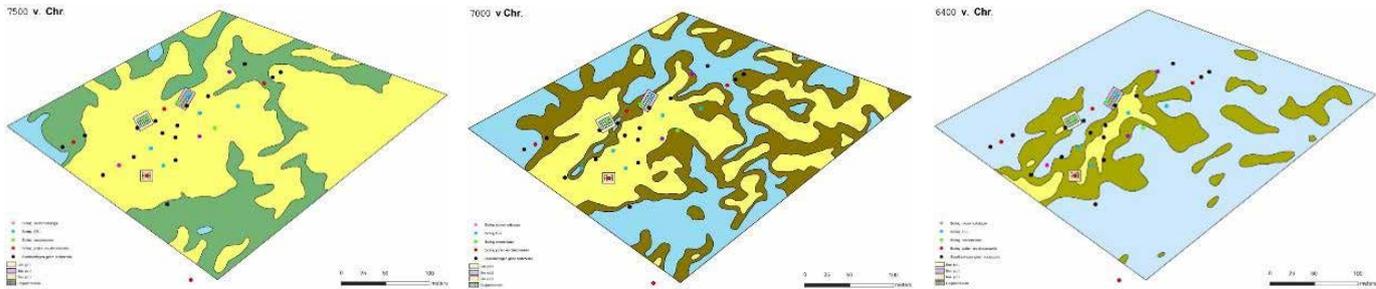
▲ En haut à gauche: le château de Sandown en 1853, gravure de London Illustrated News. En haut à droite: carte des ingénieurs royaux du château de Sandown 1860-1865. En bas à droite : le château de Sandown vu de la plage au début des années 1900.



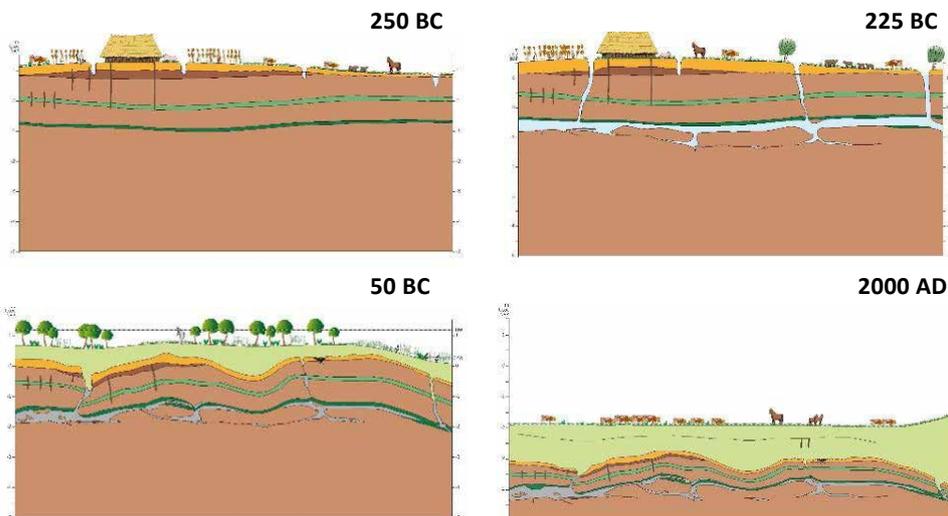
Le développement des reconstitutions 2-D

Le croisement des données issues des différentes sources disponibles a permis de développer des reconstitutions d'environnements passés, qui peuvent être réalisées en deux dimensions, sous forme de vue aérienne en plan, ou de coupes ou profils.

La vue reconstituée en plan 2-D de la baie de Yangtze indique les changements survenus entre 7500 et 6400 avant J.-C. démontrant le niveau de détail qui peut être atteint grâce à des études intégrées.

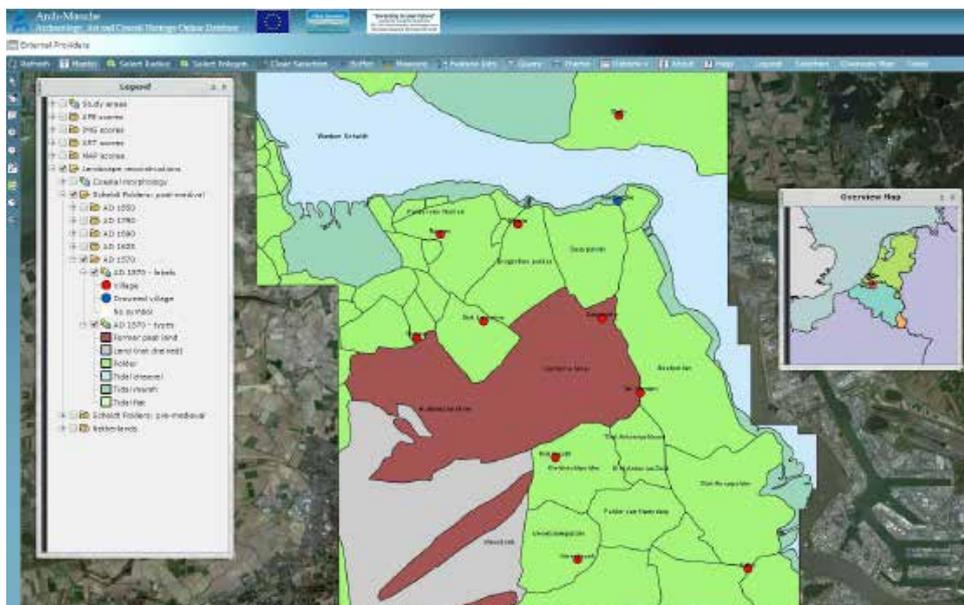


▲ Vue en plan 2-D de la reconstitution de la baie de Yangtze Harbour (doc. P. Vos, 2013, Deltares).



▲ Profil 2-D reconstitué du site de Vergulde Hand ouest (doc. P. Vos, P.C. & Y. Eijkskoot, 2009. Geo- enarcheologisch onderzoek bij de opravingen van de Vergulde Hand West (VHW) in Vlaardingen. Deltares-rapport,0912-0245, 160 p.).

Les modèles 2-D créés à grande échelle pour le SO des Pays-Bas, de même que ceux de la région des polders de l'Escaut (voir p. 10 et 34) ont été mis à disposition sur le portail du projet. Les utilisateurs sont en mesure de choisir le calendrier et de constater l'évolution du paysage.



▲ Cartes d'évolution 2-D la région des polders de l'Escaut sur le portail du projet. La légende sur la gauche détaille les différentes couches et permet à l'utilisateur de sélectionner la période.

Des modèles 3-D vers la 4-D

8000 années d'évolution - un modèle 4-D model de Langstone Harbour, Royaume Uni.

Un modèle 4-D de la transformation de la topographie et de l'environnement de Langstone Harbour, au Royaume Uni a été réalisé et se présente sous une forme interactive permettant à l'utilisateur de choisir la période et le point d'observation via la 4^e dimension.

Le modèle débute par Langstone Harbour au Mésolithique, quand la zone était un paysage terrestre très différent avec de profonds ravins et des ruisseaux. L'utilisateur est libre d'explorer le paysage pour en savoir plus sur les points d'intérêt spécifiques ou se déplacer vers le Néolithique, l'âge du Bronze, l'âge du Fer, l'époque Saxonne, post-médiévale ou moderne, afin de constater que le paysage a évolué progressivement, d'un habitat terrestre vers le site maritime abrité qu'il est aujourd'hui.

Le modèle couvre une période de 8000 ans et présente visuellement les résultats des recherches archéologiques entreprises. La topographie et l'environnement du modèle ont été reconstitués sur la base des résultats d'analyse des données géoarchéologiques, y compris les carottages, l'analyse des sédiments et les datations au radiocarbone.

Le modèle d'évolution de l'environnement de Langstone Harbour a été produit sur une plateforme web Cesium, utilisant une bibliothèque JavaScript qui ne nécessite pas de plug-ins. Il a été utilisé pour la création de cartes en trois dimensions, de simulations de commandes temporelles dans un navigateur Web.

Le modèle est intégré dans le portail du projet, accessible au public, et permet aux utilisateurs d'explorer Langstone Harbour de manière interactive. Le modèle fonctionne dans tous les navigateurs Internet actuels, en utilisant une interface cartographique interactive, intuitive et familière pour les internautes, du débutant à l'utilisateur avancé. Le modèle offre une perspective unique sur le développement géomorphologique de Langstone Harbour, choisi comme étude de cas, et favorise l'utilisation des données archéologiques et historiques pour comprendre et visualiser les changements passés de l'environnement côtier.



▲ Capture d'écran du modèle 4-D de Langstone Harbour. Les utilisateurs sont en mesure de modifier la période de temps et peuvent voir des reconstitutions de paysages pour le Mésolithique, le Néolithique, l'âge du Bronze, l'âge du Fer, la période saxonne, et post-médiévale ainsi la situation actuelle. Il est aussi possible de se déplacer dans le paysage, zoomer sur des caractéristiques ou des sites d'intérêt, tels que le lac de Baker's Rithe ou les forêts submergées de Russell, représentées dans l'exemple ci-dessus. Le modèle est accessible via le portail du projet.

Conclusions et recommandations du projet Arch-Manche

Le littoral est en constante évolution. L'analyse du passé nous permet d'évaluer les changements progressifs et les altérations de la côte. Les données de l'archéologie, des éléments du patrimoine, de l'art, des photographies, et des cartes fournissent des informations qualitatives et quantitatives sur l'évolution des côtes. Les recherches menées dans le cadre du projet Arch-Manche ont mis en évidence le fait que le potentiel de ces données a été jusqu'ici sous-utilisé dans la compréhension des risques affectant, à long terme, un ensemble de côtes diversifiées.

Ce document démontre la valeur de l'archéologie, des paléoenvironnements et du patrimoine, immergé et émergé, dans l'identification des effets de l'évolution littorale. Ces outils scientifiques pourront aider à informer les gestionnaires des zones côtières dans la reconnaissance des risques futurs et dans l'évaluation des besoins budgétaires. Ce guide souligne également que l'art, la cartographie et la photographie sont utiles pour démontrer clairement et expliquer efficacement ces changements; il constitue un bon moyen pour engager une discussion sur l'évolution côtière et ses implications pratiques, avec les différents acteurs de la gestion des zones côtières.

Principales conclusions du projet Arch-Manche :

- Le projet Arch-Manche invité à "regarder en arrière pour aller de l'avant" : la compréhension des changements passés permet de prévoir plus précisément les changements à venir et d'envisager leurs impacts potentiels.
- Les perspectives sur le long terme fournissent une solide base pour la planification côtière et le développement durable.
- Les zones littorales de la Manche- sud Mer du Nord sont particulièrement sujettes aux menaces naturelles, dont l'érosion côtière, les glissements de terrain et les submersions marines. Les données du projet permettent d'identifier les zones particulièrement vulnérables.
- Certaines zones côtières ont une plus grande stabilité physique dans le temps, et le projet permet donc d'identifier des zones de moindre risque.
- Même si les données d'observation du littoral sont généralement disponibles pour les dernières décennies, l'approche développée par Arch-Manche vient combler le grand "vide" pour les périodes plus anciennes, du Paléolithique au 20^e s.
- L'archéologie, le patrimoine côtier, l'art, les cartes et les photographies sont des sources de valeur, non seulement pour les scientifiques, les ingénieurs mais aussi les gestionnaires travaillant sur le littoral et prenant des décisions au quotidien.

La richesse artistique des tableaux paysages côtiers et des photographies, la cartographie, l'archéologie et les données paléoenvironnementales, peuvent être utilisées plus efficacement lorsque les sources sont combinées. Grâce à ces ressources nouvellement identifiées, les responsables de la gestion du littoral seront mieux préparés à relever les défis d'avenir.

Les données, les résultats du projet, les rapports techniques et les modèles 2, 3 et 4-D sont tous accessibles via le portail Arch-Manche portail, www.archmanche-geoportal.eu.





L'équipe du projet Arch-Manche remercie chaleureusement les organismes suivants pour leur soutien:



MARITIME ARCHAEOLOGY



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Fonds Wetenschappelijk Onderzoek
Research Foundation – Flanders



Centre de Recherche en
Archéologie, Archéosciences, Histoire



ENGLISH HERITAGE

UNIVERSITY OF
Southampton

De bas en haut : la pêcherie du Petit Taureau à Lannion (doc. MAT); tableau de l'Alum Bay vers 1860 par William Grey (doc. R. McInnes); carte de l'île de Wight par A. Brannon (doc. R. McInnes); photographie ancienne d'une plage du Kent (collection particulière).

L'équipe du project

Maritime Archaeology Trust:

Julie Satchell
Lauren Tidbury
Garry Momber
Philippa Naylor
Jasmine Noble-Shelley
Kathryn Dagless
Stephen Fisher
Julian Whitewright
Virginia Dellino-Musgrave

Centre National de la Recherche Scientifique:

Marie-Yvane Daire
Catherine Dupont
Grégor Marchand
Catherine Le Gall
Francis Bertin
Jean-Baptiste Barreau
Laurent Quesnel
Vincent Bernard
Pau Olmos
Chloé Martin

Université de Gand:

Tine Missiaen
Iason Jongepier
Katrien Heirman
Jeroen Verhegge

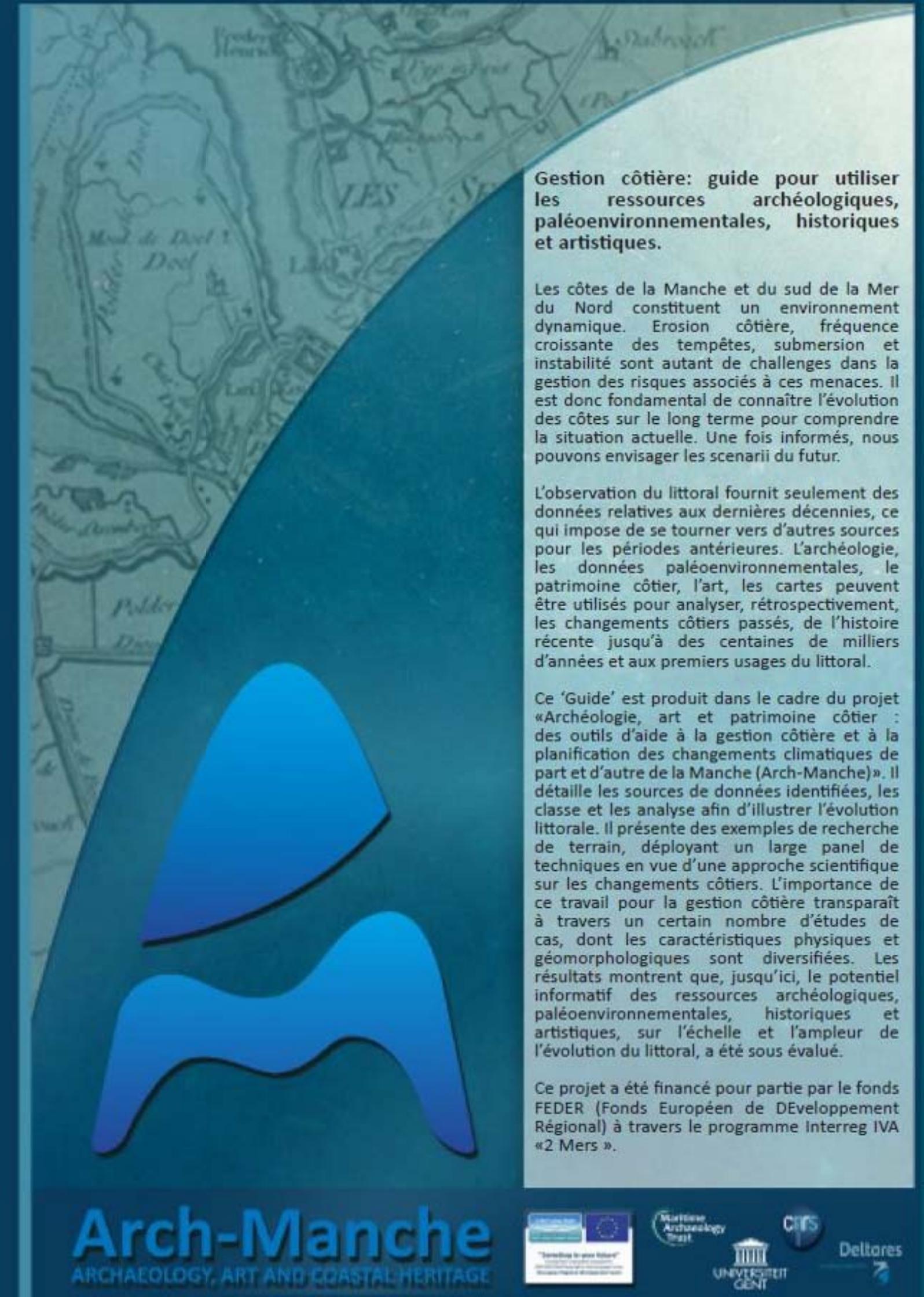
Deltares:
Peter Vos

Membres du comité de pilotage

Samantha Cope
Peter Murphy
Yves-Marie Paulet
Olivia Hulot
Marnix Pieters
Kathy Belpaeme
Hans Peeters

Membres extérieurs

Robin McInnes
Loïc Langouët
Andrew Williams
Roland Brooks
Jane Maddocks
Rob Scaife
Caroline Barrie-Smith
Peter Wilson
Jan Gillespie
Christin Heamagi
Brandon Mason
Edwige Motte
Dave Wendes
Elias Lopez-Romero



Gestion côtière: guide pour utiliser les ressources archéologiques, paléoenvironnementales, historiques et artistiques.

Les côtes de la Manche et du sud de la Mer du Nord constituent un environnement dynamique. Erosion côtière, fréquence croissante des tempêtes, submersion et instabilité sont autant de challenges dans la gestion des risques associés à ces menaces. Il est donc fondamental de connaître l'évolution des côtes sur le long terme pour comprendre la situation actuelle. Une fois informés, nous pouvons envisager les scénarii du futur.

L'observation du littoral fournit seulement des données relatives aux dernières décennies, ce qui impose de se tourner vers d'autres sources pour les périodes antérieures. L'archéologie, les données paléoenvironnementales, le patrimoine côtier, l'art, les cartes peuvent être utilisés pour analyser, rétrospectivement, les changements côtiers passés, de l'histoire récente jusqu'à des centaines de milliers d'années et aux premiers usages du littoral.

Ce 'Guide' est produit dans le cadre du projet «Archéologie, art et patrimoine côtier : des outils d'aide à la gestion côtière et à la planification des changements climatiques de part et d'autre de la Manche (Arch-Manche)». Il détaille les sources de données identifiées, les classe et les analyse afin d'illustrer l'évolution littorale. Il présente des exemples de recherche de terrain, déployant un large panel de techniques en vue d'une approche scientifique sur les changements côtiers. L'importance de ce travail pour la gestion côtière transparaît à travers un certain nombre d'études de cas, dont les caractéristiques physiques et géomorphologiques sont diversifiées. Les résultats montrent que, jusqu'ici, le potentiel informatif des ressources archéologiques, paléoenvironnementales, historiques et artistiques, sur l'échelle et l'ampleur de l'évolution du littoral, a été sous évalué.

Ce projet a été financé pour partie par le fonds FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) à travers le programme Interreg IVA «2 Mers».