

MASTER SML

SCIENCES DE LA MER ET DU LITTORAL
MENTION

EXPERTISE ET GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT LITTORAL

Marine PAUL

Etude géo-archéologique des pêcheries du Finistère



Mémoire de stage de Master1
Année Universitaire **2015-2016**
Structure d'accueil : **Géomer (UMR 6554)**
Tuteur universitaire : **Serge Suanez**
Maître de stage : **Pierre Stéphane**

Contenu

1. Introduction	2
1.1 Pêcherie	2
1.1.1 L'étude en France	2
1.1.2 L'étude en Bretagne	2
1.2 Problématique.....	4
2. Zone d'étude	5
3. Matériel et méthode	6
3.1 Inventaire de Daire et Langouët	6
3.2 Présentation des données litto 3D	6
3.2.1 Acquisition des données.....	7
3.2.2 Litto3D Finistère	7
3.3 Filtres appliqués	8
3.3.1 Relief	8
3.3.2 Pente	8
3.3.3 Ombrage	9
3.3.4 Rugosité	9
3.3.5 Local relief model	9
3.3.6 Cuvette	10
4. Résultats.....	12
4.1 Résultat obtenu par les photographies aériennes.....	13
4.2 Résultats obtenus par le relief	13
4.3 Résultats obtenus par la Pente	14
4.4 Résultat obtenu par l'Ombrage	14
4.5 Résultats obtenus par la Rugosité.....	15
4.6 Résultats obtenus par le LRM	16
4.7 Résultats obtenus par la mise en évidence des cuvettes	16
5. Discussion	17
5.1 Pertinence des filtres utilisés	17
5.2 Filtre et environnement	18
6. Conclusion.....	18
Bibliographie.....	19
Table des illustrations.....	22

1. Introduction

1.1 Les pêcheries

Les barrages à poissons, ou pêcheries, constituent une des techniques traditionnelles de pêche utilisée par les habitants des rivages côtiers comme l'un de leurs principaux modes d'alimentation. Le principe est de contraindre le poisson à emprunter un passage étroit dans lequel il sera pêché, ou de l'obliger à se diriger vers un piège d'où il ne pourra s'échapper. Dans certains systèmes, le poisson est seulement prélevé à l'arrière d'un muret de pierres à basse mer. Dans ce dernier cas, les barrages forment des infrastructures lourdes et sont susceptibles d'avoir laissé des traces archéologiques sur les estrans.

Ces barrages sont distribués sur l'ensemble des littoraux à échelle mondiale (Connaway 2007). Ces structures sont, par exemple, recensées en Afrique (Jeffery 2013), en Australie (Dortch 1997), en Amérique du Nord (Connaway 2007), en Alaska (Moss et al., 1990). L'origine et la propagation de celles-ci n'est pas connue. Il semblerait néanmoins qu'elles aient été implantées de façon indépendante par les communautés de chasseurs-cueilleurs du Mésolithique. En effet, le barrage le plus ancien daté au radiocarbone se trouve au Danemark (7550 ±40 BP Pedersen 1995). L'utilisation de la majeure partie d'entre elles a perduré jusqu'en période post-médiévale (Fulford et al., 1997).

Connaway (2007) définit trois types de pêcheries (fig.1) : les barrages de rivières, les barrages tidaux et les longshore weirs. Cependant, la forme, la taille, la composition des pêcheries varie en fonction de l'environnement d'implantation (des conditions d'hydrologie, de géologie, de la topographie), mais dans un unique et même but, couvrir un besoin alimentaire croissant des populations littorales.

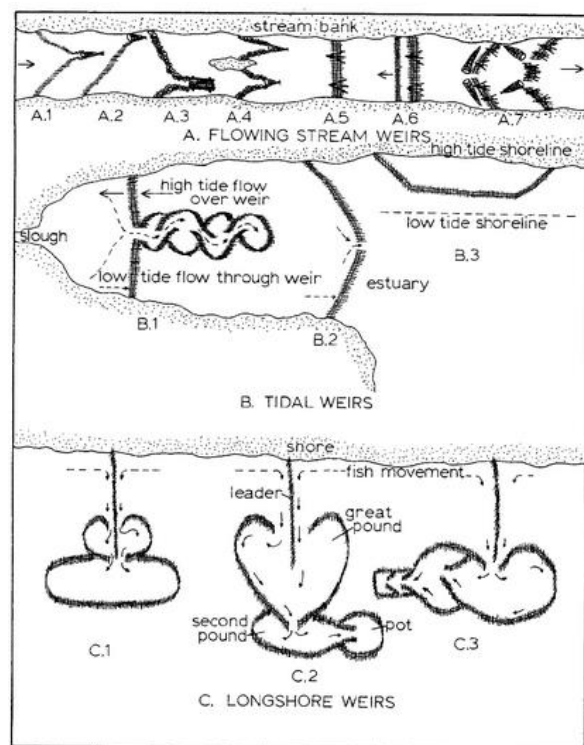


Figure 1 : Classification des pêcheries selon Connaway (2007).

1.1.1 L'étude en France

Au cours des années 2000, plusieurs programmes de recherche ont été lancés pour étudier les anciens pièges à poissons situés sur les côtes de l'Ouest de la France. En Basse-Normandie, les travaux coordonnés par C. Billard (Billard *et al.*, 2013a ; 2013b) ont porté sur les pêcheries en bois, très bien conservées du fait de leur ensevelissement partiel sous les sédiments fins du Golfe normand-breton. La présence de bois a permis l'obtention de nombreuses datations par

le radiocarbone et par la dendrochronologie, ainsi que le recueil d'informations techniques et de données précieuses sur l'exploitation de la ressource ligneuse réalisée sur l'Ouest de la France (Bernard *et al.*, 2012 ; Billard et Bernard, sous-*presse*). Ces travaux ont notamment pu mettre en évidence deux générations de barrages, la première datant de la transition néolithique âge de bronze, et la seconde datant de l'ère médiévale. Ces deux générations de pêcheries coïncident avec d'autres, inventoriées sur les îles Britannique et en Irlande (O'Sullivan *et al.*, 2004). Leurs résultats soulèvent de nombreuses questions notamment une corrélation possible avec le niveau marin, ou encore une évolution de la façon de pêcher, de l'exploitation de la ressource.

1.1.2 L'étude en Bretagne

En Bretagne, un repérage exhaustif des barrages à poisson à partir de prises de vue aériennes de l'IGN a été réalisé sur l'ensemble du linéaire côtier et a abouti à la construction d'une imposante base de données recensant plus de 700 vestiges de ce type (Daire et Langouët, 2010, 2011). Ce travail est venu s'ajouter à un premier inventaire reposant essentiellement sur des dépouillements d'archives et de bibliographies. Il a permis de dégager un certain nombre de critères ou de règles d'implantation qui, en attendant des recherches de terrain plus approfondies (sondages, fouilles), constituent aujourd'hui une première étape dans la contextualisation de ces vestiges (Daire et Langouët, 2011). L'absence de fouilles systématiques sur les vestiges inventoriés n'a pas permis la découverte de bois ou autres éléments ligneux au sein des structures en pierre, aucune attribution chronologique n'a donc pu être établie par le biais de méthodes de datations conventionnelles. Cependant la pêcherie de Beg-Leguer, étudié par Daire et Langouët dès 2010 a permis la découverte unique de structures en bois sous les blocs de roches composant le barrage à poissons. La construction de cette dernière a pu être datée. Elle aurait été édifée vers 615 ap J-C. Par ailleurs, Daire et Langouët (2011) ont proposé une approche permettant de déduire l'âge de chaque vestige en les positionnant par rapport aux anciens niveaux marins relatifs. Toutefois, cette tentative s'est heurtée à l'absence de données fiables sur les niveaux marins holocènes dans la région et un positionnement altitudinal approximatif des structures sur l'estran.

En Bretagne Sud les travaux menés par Balzter *et al.*, (2010), Cassen *et al.*, (2010), Cassen *et al.*, (2011) sont les premiers à utiliser des instruments géophysiques (sonar latéral, sondeur multifaisceaux) pour visualiser des structures anthropiques immergées, ici des mégalithes, à Carnac et dans la baie de Quiberon. Dans son étude, Balzter *et al.*, (2010) confirme la pertinence de l'utilisation données bathymétriques pour la prospection archéologique sous-marine.

En 2011 les travaux réalisés par Pailler *et al.*, portant sur deux alignements de dalles de chant découverts par la houle à Ledenez vihan (Archipel de Molène), avaient soulevés la question de la présence de vestiges de pêcheries. L'existence de quelques barrages (9) sur l'archipel de Molène avait été suspectée par Daire et Langouët dans leur inventaire de 2011. Après une prospection pédestre, quatre barrages de pêcherie ont pu être documentés sur l'estran de Kemenez et de ses Ledenez. Deux autres barrages repérés à partir photographies aériennes de l'IGN ont été confirmées lors de plongées.

Plus récemment des études menées sur l'archipel de Molène en 2013 (opération OA-1746) par Gandois et al., en 2013 par prospection terrestre, photographie aérienne et plongée ont permis d'identifier formellement neuf pêcheries.

En 2014 une nouvelle étude menée sur l'archipel (étude PEPS Terre-Mer) a utilisé des données bathymétriques haute résolution pour la prospection archéologique sous-marine. Elle a permis de recenser trente-trois structures inédites (Stéphan et al., sous-presse), trop profondes pour être repérées sur des photographies aériennes

1.2 Problématique

Les barrages à poissons sont les structures archéologiques les plus communes sur le littoral breton. Cependant ces vestiges sont en train de disparaître sous l'action de la mer mais aussi dans un contexte de littoralisation croissante des populations qui demande de plus en plus d'infrastructures sur les côtes. Or ces barrages, peu connus malgré leur grand nombre, soulèvent de nombreux questionnements. Leur étude pourrait permettre, tout d'abord, d'apporter de nouvelles connaissances sur l'utilisation du littoral par les populations humaines ainsi que sur l'exploitation de la ressource halieutique. Par ailleurs, ces barrages n'étant pas implantés au hasard sur les côtes, la compréhension de cette implantation permettrait d'obtenir de nombreuses informations sur l'hydrodynamisme (paléochenaux, paléocourant), ainsi que sur la morphologie terrestre et sous-marine de celles-ci. Enfin, une approche proposée par Bowen (1998) puis par Daire et Langouët (2011) permet de déduire l'âge de chaque vestige en les positionnant par rapport aux anciens niveaux marins relatifs. **A travers cette approche il serait donc possible d'obtenir des vitesses de remontée du niveau de la mer, à haute résolution, au cours des 8000 dernières années, comblant ainsi le hiatus existant sur la période holocène dans la région.**

Afin d'exploiter au mieux les données offertes par ces vestiges il est nécessaire, en premier lieu, de réactualiser l'inventaire de Daire et Langouët, sur l'ensemble de la Bretagne, afin d'obtenir un inventaire précis. En effet, plusieurs problèmes sont soulevés par la détection de ces structures par photographie aérienne. Tout d'abord, des confusions sont possibles entre ces vestiges et l'érosion différentielle des roches du littoral breton ou avec des champs d'algues brunes. Par ailleurs l'ensevelissement de ces structures rajoute une difficulté supplémentaire à la détection. L'inventaire proposé par Daire et Langouët ne serait donc pas complet, au vue des difficultés rencontrées dans l'étude par photographies aériennes.

Le recueil des données bathymétriques, permettant d'obtenir la topographie du fond-marin, est supposément une solution pertinente pour contourner ces contraintes. Pour cela une méthodologie rigoureuse doit être mise en place afin d'exploiter de façon optimale ces données.

Le travail réalisé ici a été effectué dans le cadre du projet GEOFISH (Etude géo-archéologique des pêcheries du Finistère). L'objectif de ce projet est de continuer et d'étendre le travail exploratoire mené sur les barrages à poissons de l'archipel de Molène en 2013, et de promouvoir une recherche géo-archéologique de ces vestiges.

L'objectif de ce stage est d'analyser les données bathymétriques Litto3D (SHOM) sur l'ensemble du Finistère Nord ainsi que différents jeux de données acquis par l'Ifremer (Rebhalio2, 2009 ; Halamacou1, Halamacou2, Medon et Thalamcou, 2011) sur la Bretagne. Différents algorithmes de détection automatique ont été testés afin de faciliter le repérage des anomalies de surfaces pouvant correspondre à ces vestiges. Une méthodologie rigoureuse a donc été mise en place afin d'exploiter de manière optimale les données bathymétriques.

2. Zone d'étude

Situé à la pointe Nord-Ouest de la Bretagne, le Finistère, bordé par l'océan Atlantique et par la Manche, possède environ 1 250 km de côtes, soit près d'un quart du littoral français. Le Finistère peut être découpé en plusieurs entités, en lien avec l'hétérogénéité des roches en présence. Nous nous intéresserons ici au Finistère Nord, qui se situe entre l'archipel de Molène et l'arrondissement de Morlaix, et appartient au domaine varisque du Pays du Léon.

La formation de ce plateau est encore mal connue et suscite de nombreux débats. Celui-ci correspondrait à un bloc exotique qui se serait juxtaposé à l'Armorique vers 440Ma. La métamorphisation des roches originelles suite à l'orogénèse hercynienne a formé de grands ensembles granitiques entrecoupés de schistes plus ou moins métamorphisés (Fig 3) (Durand, 1960).

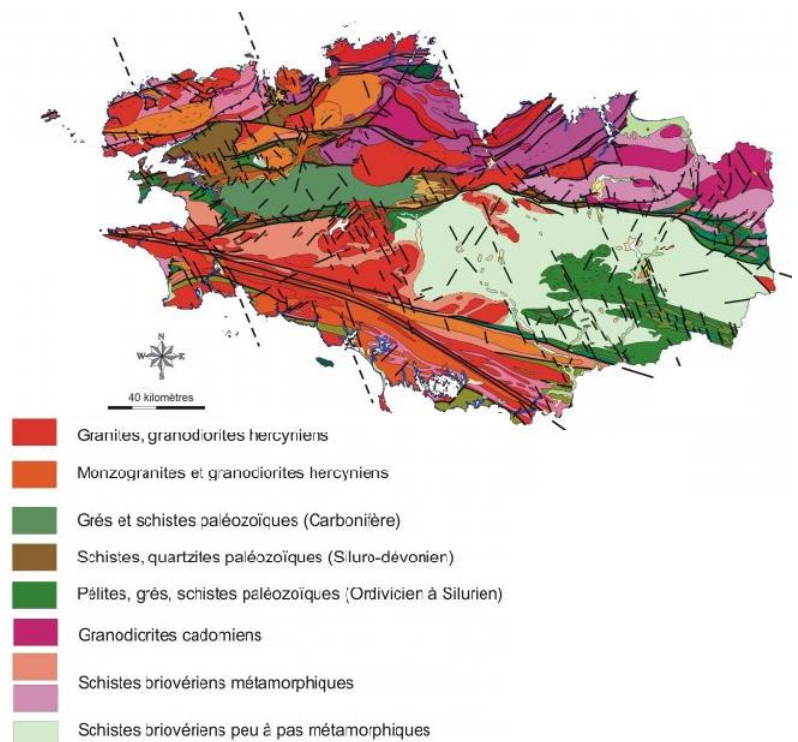


Figure3 : Géologie de la Bretagne (BRGM).

Les successions de périodes glaciaires et interglaciaires ont façonné le trait de côte. La gélifraction entraîne la fracturation des roches qui vont transiter par cryoturbation et gélifluxion. Le début de l'Holocène (dernier stade interglaciaire) va dégager les sédiments déposés au pied des versants (Morzadec-Kerfourn 1974). C'est cette histoire géologique qui explique le caractère extrêmement découpé du littoral nord finistérien.

En effet le plateau du Léon, dans sa terminaison maritime, se présente sous des aspects rocheux et chaotiques. Il s'agit d'un très grand batholite surélevé, caractéristique de ce paysage, le tout prolongé de récifs et d'écueils. Ce plateau est délimité par une falaise morte attestant de l'instabilité du niveau marin au cours du Quaternaire (Hallégouët 1989). Au pied

de cette falaise s'étend une plaine littorale pouvant atteindre jusqu'à 4 km de large. Une plateforme littorale succède à cette plaine et plonge en mer. Cette dernière est découpée de profondes entailles. Le littoral nord finistérien alterne entre anses formant des plages de sable et pointes rocheuses.

3. Matériel et méthode

3.1 Inventaire de Daire et Langouët (2011)

En Bretagne, un repérage exhaustif des barrages à poisson à partir de prises de vues aériennes de l'IGN a été réalisé sur l'ensemble du linéaire côtier et a abouti à la construction d'une imposante base de données recensant plus de 700 vestiges de ce type (Daire et Langouët, 2010, 2011). Dans le cadre de ce travail nous nous intéresserons uniquement aux pêcheries recensées par Daire et Langouët dans la zone d'étude. Sur le linéaire côtier allant de l'archipel de Molène jusqu'en baie de Morlaix, 159 pêcheries ont été identifiées grâce à l'utilisation des photographies aériennes.

Cependant différents problèmes sont soulevés par la détection de ces structures par cette méthode. Tout d'abord, des confusions sont possibles entre ces vestiges et l'érosion différentielle des roches du littoral nord finistérien ou avec des champs d'algues. Par ailleurs l'enfouissement de ces structures ou leur profondeur trop importante rajoutent une difficulté supplémentaire à la détection (fig 4). Ces contraintes peuvent donc empêcher d'inventorier l'ensemble des pêcheries présentes. Par exemple l'étude PEPS terre-mer en 2014 (Stéphan et al., sous-presse) a permis de recenser trente-trois structures inédites par l'exploitation des données bathymétriques. Seulement neuf d'entre elles avaient été soupçonnées par Daire et Langouët. Il en est de même en baie de Goulven avec une pêcherie de 380m non remarquable par vue aérienne.



Figure 4 : Photos aériennes (1948, 1976, 2016) de la Baie de Goulven. Le barrage à poissons de lagad-oen de 380m de long n'est pas visible par cet outil (source :IGN).

3.2 Données Litto3D (source : SHOM.fr)

Les catastrophes pétrolières (Erika, Prestige) et naturelles (événements tempétueux, submersions marines, érosion) ont mis en évidence le manque de données concernant le

littoral français, en particulier dans un contexte d'urbanisation et de littoralisation croissante des activités humaines. Un programme national, **Litto3D**, résultat d'un partenariat entre le SHOM et l'IGN a été mis en place dès 2002. Celui-ci a pour but de « *produire un modèle numérique altimétrique de référence, continu terre-mer et précis, sur la frange du littoral métropolitain et ultramarin* (source : shom.fr) ». Il s'agit en effet de réaliser des mesures du relief et de la morphologie sous-marine pour préciser la connaissance de la zone côtière. Ce programme a permis la description de la bande littorale (isobathe 10m), allant de 2km à l'intérieur des terres jusqu'à 6 milles marins des côtes.

3.1.1 Acquisition des données

L'acquisition des données litto3D a été réalisée à l'aide de quatre instruments (lidar bathymétrique, lidar mixte, sondeur multifaisceaux et lidar topographique), permettant de fournir sur terre une précision verticale de 20cm et une résolution métrique, et en mer, une précision verticale de 50cm et une résolution de 5m.

- Lidar bathymétrique

Le lidar bathymétrique permet d'obtenir la profondeur de la tranche d'eau selon la vitesse aller-retour d'une onde lumineuse envoyée par laser aéroporté. La fréquence d'acquisition varie entre 1kHz et 10 kHz et la profondeur sondée peut atteindre 70m. L'avantage de cette technique est la capacité à cartographier de grande zone pour une faible quantité de donnée. Cependant la précision est assez faible.

- Lidar mixte topo-bathymétrie

Ces capteurs sont apparus en 2011 (Riegl Vq-820-G, Ahab Chiroptera, Optech Aquarius) afin de cartographier spécifiquement l'interface terre-mer. La cadence d'impulsion est augmentée (35kHz) et la numérisation des données est plus rapide. L'avantage de cet outil est la résolution plus fine mais il n'est utilisable que pour les petits fonds.

- Sondeur multifaisceaux

Cet outil est basé sur l'émission d'ondes acoustiques par un sondeur fixé sur la coque d'un navire. L'avantage de cette technique est la précision des données obtenues, mais elle entraîne néanmoins un volume important de données.

- Levé topographique

Le levé topographique est utilisé seulement pour les terres émergées, à partir d'un laser aéroporté. La précision de cet outil est de 15 à 20 cm.

Une fois les données acquises il est nécessaire de les fusionner afin de générer un semis de point unique (litto3D « semis de point ») en assurant un bon raccord des données entre l'interface terre-mer. Un produit litto3D « maillé » est ensuite obtenu, par interpolation triangulaire. Le produit est composé de deux grilles avec un pas de 1m et de 5m, avec, pour chaque nœud de la maille une altitude correspondante.

3.1.2 Litto3D Finistère

Le produit Litto3D Finistère a été réalisé par des mesures au lidar mixte (topo-bathymétrique), au lidar bathymétrique et au sondeur multifaisceaux (SMF), lors de trois campagnes bathymétriques.

- 2010 : Levé du PNMI, complété par des données SMF du SHOM et de l'Ifremer par utilisation d'un capteur bathymétrique HawkEyeIIa.
- 2011 : Levé Ifremer sur la zone Natura2000 à Penmarc'h par laser bathymétrique HawkEyeIIb.
- 2012-2013 : Volet maritime de l'opération Litto3D par utilisation d'un laser bathymétrique LADS MkIII et d'un lidar topo-bathymétrique RIEGL VQ-820-G.

A ces travaux sont fusionnées les données acquises par laser topographique IGN, permettant d'obtenir le produit final litto3D Finistère, composé de 4863 dalles kilométriques (partie terrestre et maritime).

3.3 Filtres appliqués

L'utilisation du Lidar dans la prospection archéologique est une avancée importante pour la détection des structures anthropiques (Challis et al., 2011 ; Stular et al., 2012). Cet outil permet de s'affranchir de certaines contraintes présentes lors de prospections dites « traditionnelles » telles que la couverture végétale (Devereux et al., 2005 ; Chase et al., 2011) ou l'accessibilité de certaines zones.

L'étude des structures archéologiques ennoyées est d'autant plus compliquée que de nombreuses contraintes rendent difficile la visualisation de celles-ci. En effet il faut s'affranchir de la colonne d'eau, de la couverture algale et de leur état de conservation (érosion, ensablement des barrages). L'exploitation des données litto3D se révèle être un outil pertinent pour la détection de pêcheries permettant la mise en évidence des anomalies de relief.

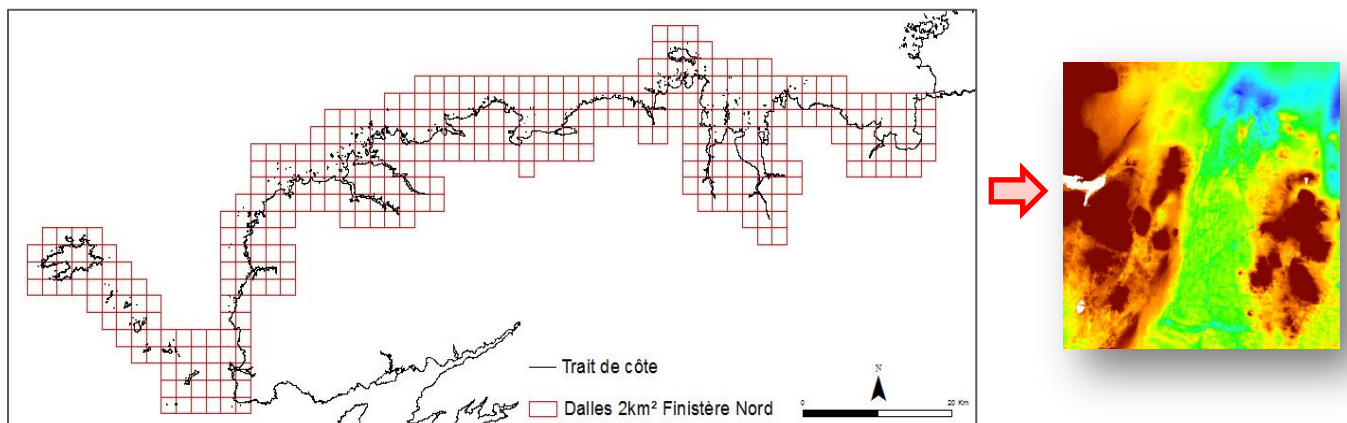


Figure 5 : Extraction des dalles Litto3D de 2km² et création de MNT. (Réalisation: M.Paul).

Afin d'exploiter de façon optimale ces données il est nécessaire de mettre en place une méthodologie pour en faciliter la lecture et l'analyse. Les données Litto3D « semis de points » de la zone d'étude sont extraites sous forme de dalle de 2km² (fig5), à l'aide des logiciels

« Putty » et « WinSCP ». Un total de deux cent quatre-vingt dalles est obtenu. Sous « Surfer 8 », elles sont interpolées par méthode triangulée et par krigage, à un pas de 0.7 m.

ArcGIS	GrassGIS	SagaGIS
Relief	LRM (<i>Local Relief Model</i>)	Cuvette
Pente		
Ombrage		
- 45°		
- 180°		
- 270°		
- 315°		
Rugosité		

Tableau 1 : Filtres appliqués aux dalles Litto3D.

Pour chaque dalle obtenue, différents filtres et modèles, neuf au total, sont appliqués (tab.1) sous différents logiciels de cartographie (ArcGIS, Grass GIS, Saga GIS). Pour les illustrer une dalle sera présentée (fig 5) où un barrage à poisson a été découvert (dalle F_14).

Par ailleurs, pour chaque pêcherie découverte nous observerons les photographies aériennes afin de vérifier si celles-ci sont visibles grâce à cet outil (fig 4).

3.3.1 Relief

Ce premier filtre correspond au MNT obtenu suite à l'interpolation des données Litto3D sous « Surfer 8 » (fig 6a).

3.3.2 Pente

L'outil « Pente » est généralement appliqué à un jeu de données d'altitude. Cet outil permet de calculer le taux de variation maximal des valeurs d'une cellule par rapport aux huit cellules voisines. L'étude de la variation maximale altitudinale entre elles permet d'identifier la pente la plus raide, en degrés. Dans le cas de cette étude, ce filtre est ajouté en transparence par-dessus le relief (fig 6b). Cet algorithme va permettre la mise en évidence d'anomalies topographiques, en discordance avec l'environnement alentour, en l'accentuant.

3.3.3 Ombrage

L'outil « Ombrage » permet d'obtenir l'éclairage d'un raster selon une source lumineuse hypothétique. L'ombrage est calculé en fonction de trois paramètres : l'angle d'éclairage de la source lumineuse, sa direction et la pente. Le facteur principal reste la position hypothétique du soleil. Il est donc possible de faire varier l'azimut (entre 0 et 360°) et l'altitude (entre 0 et 90°). Cet algorithme est l'un des plus utilisés dans la prospection archéologique à partir de données Lidar (Imhof 2007 ; Challis et al., 2011). Cependant il présente un inconvénient majeur : celui de masquer certaines anomalies selon l'azimut utilisé. Pour cette étude et afin de palier à cette limite, quatre angles d'azimut sont employés, comme le préconise Crutchley

(2006), de 45°, 180°, 270° et 315°. Une valeur de 45° sera utilisée pour l'altitude (fig 6c ; fig6d ; fig6e ; fig6f).

3.3.4 Rugosité

L'outil « Rugosité » est un filtre de l'application BTM « Benthic Terrain Modeler », créée en 2004 par Rinehart et al. Celle-ci permet l'analyse des terrains benthiques pour la classification des fonds marins selon des caractéristiques spécifiques.

La rugosité peut être définie comme l'état de surface de la structure physique du fond marin. Cette donnée peut être utilisée dans des études de l'habitat benthique (Dunn et al., 2009), de géomorphologie du fond marin. Dans le cas de cette étude cet indice est utilisé pour détecter des anomalies de la nature du sol pouvant correspondre à des implantations anthropiques (fig 6g).

3.3.5 Local Relief Model

Le LRM « *local relief model* » est un outil qui permet de masquer l'effet de la variation naturelle de la topographie, développé par Hesse en 2010.

Du MNT original va être soustrait une valeur moyenne de pente, permettant ainsi d'accentuer les discordances topographiques en lissant ces valeurs moyennes. La visualisation du résultat se fait selon une échelle de couleur binaire afin de distinguer efficacement les valeurs positives et négatives (fig 6h). Cet outil ne pouvant pas s'appliquer sur des MNT triangulés, les dalles Litto3D sont donc kriggés et exploités sous GrassGIS.

3.3.6 Cuvette

Les outils d'hydrologie permettent de modéliser la circulation de l'eau sur une surface donnée. Une des caractéristiques majeure en hydrologie est de pouvoir déterminer le sens du débit, calculé selon la direction de la pente la plus raide.

Certaines zones dites de « cuvette » sont les cellules où converge le flux. L'eau qui pénètre dans ces zones n'en sort pas. Plusieurs algorithmes (Freeman 1991, Martz et al., 1992, 1998, 1999) ont été mis en place pour cartographier finement ces cuvettes (« *closed depression* »), lors du calcul du sens du débit. La mise en évidence de ces zones est importante notamment pour les milieux karstiques où la détection des dolines est un enjeu important pour les populations (Doctor et Young 2013).

Il est probable que les dépressions au niveau de l'estran aient facilité l'implantation des barrages à poissons. Il semble alors pertinent de s'intéresser aussi bien à la détection des structures qu'à l'environnement entourant, avec la mise en évidence de ces cuvettes (fig6i). Les MNT vont donc être exploités sous SagaGIS (« *System for Automated Geoscientific Analyses* »).

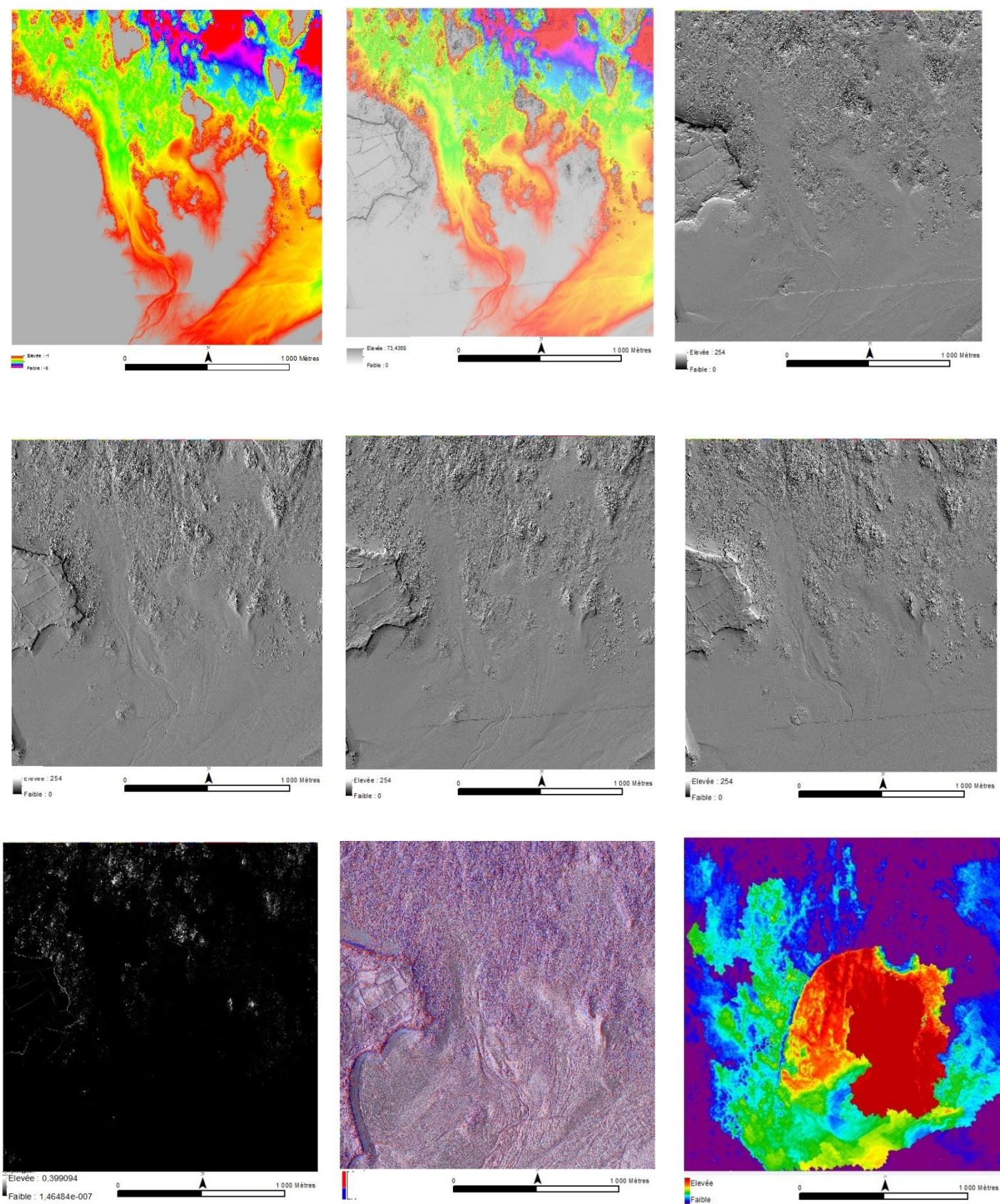
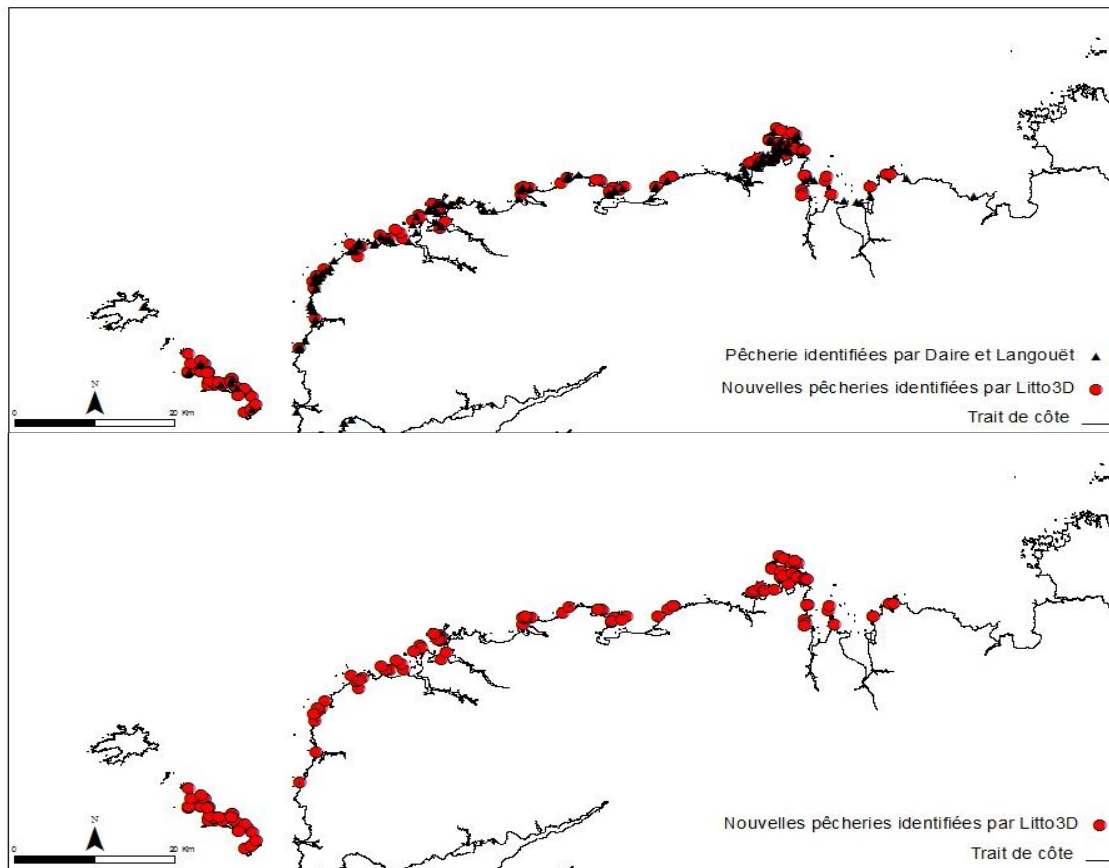


Figure 6 : Filtrés et modèles appliqués pour la détection des barrages à poissons (a : relief; b : pente ; c : ombrage 45; d : ombrage 180; e : ombrage 270; f : ombrage 315; g : rugosité; h : LRM ; i : cuvette). Réalisation: M.Paul.

4. Résultats

Au total, sur deux cent quatre-vingt dalles étudiées, cent trente-neuf anomalies du relief correspondant vraisemblablement à de nouvelles pêcheries ont été identifiées (fig 7b) sur l'ensemble du Finistère Nord, réactualisant ainsi une partie de l'inventaire proposé par Daire et Langouët en 2011 (fig 7a).



Les barrages à poissons découverts dans le cadre de cette étude se trouvent principalement dans les zones où d'autres pêcheries ont déjà été recensées, sauf dans certains cas comme la pêcherie visible à Pempoul (St-Pol-de-Léon).

La découverte la plus importante se trouve au niveau de l'île de Batz où vingt-cinq pêcheries pour lors jamais observées ont pu être détectées grâce aux données Litto3D. Certaines forment de grands complexes servant à optimiser le piégeage des poissons et peuvent même représenter une des formes les plus primitives de viviers. Le barrage le plus long pour l'instant jamais mesuré en Bretagne est recensé entre l'île de Batz et Roscoff. Il présente une longueur de 780m. Des plongées sont dès à présent programmées sur ce site.

Après l'application des neuf filtres sur les MNT de 2km², chaque pêcherie découverte est recensée selon le filtre à partir duquel elle est visualisée. Nous obtenons ainsi huit autres cartes. En fonction du modèle utilisé le nombre de barrage à poissons observé varie, permettant alors de se questionner sur la pertinence des filtres choisis pour cette étude (tab 2).

	TOTAL (D et L)	TOTAL (Bathy)	Photos aériennes	Relief	Pente	45°	180°	270°	315°	Rugosité	LRM
Pêcheries (nombre)	159	139	56	80	102	39	19	33	33	6	48

Tableau 2 : Nombre de pêcheries observées selon le filtre appliqué.

4.1 Résultats obtenus par photographies aériennes

L'inventaire réalisé par Daire et Langouët en 2011, basé principalement sur les photographies aériennes, a permis de recenser cent cinquante-neuf pêcheries sur le littoral nord finistérien. Sur la même zone d'étude, par l'utilisation des données Litto3D, cent trente-neuf nouvelles pêcheries ont pu être identifiées. L'inventaire sur cette zone a donc été doublé grâce à l'exploitation des données bathymétriques. Afin de pouvoir comparer ces deux outils, chaque zone où de nouvelles pêcheries ont été découvertes a été observée par photographies aériennes. Sur les cent trente-neuf barrages enregistrés, cinquante-six sont visibles par l'imagerie. L'utilisation de cet outil pour la détection de ces vestiges est efficace pour les zones peu profondes, sableuses, mais ne permet pas d'observer les structures situées en profondeur ou construites dans un environnement rocheux. La photographie aérienne est une méthode pertinente et complémentaire à l'exploitation d'autres sources de données.

4.2 Résultats obtenus par le relief

L'utilisation du relief, en jouant finement sur les nuances de couleur, a permis de mettre en évidence quatre-vingt anomalies de terrain pouvant correspondre à des pêcheries (tab2 ; fig 8). Cependant l'emploi seul de cette méthode ne permet pas de confirmer la présence de ces vestiges. Il est nécessaire, afin de valider les anomalies détectées, d'utiliser d'autres modèles. Les structures les plus facilement identifiées par l'utilisation de ce filtre sont celles se trouvant légèrement en dessous du niveau moyen de la mer. Celles situées en haut d'estran ou trop profondes ne seront pas mises en valeur par ce filtre. Molène et l'île de Batz sont les zones où le plus d'anomalies ont pu être mise en évidence par ce filtre. En effet ces zones possèdent un platier rocheux large et faiblement pentu où des discordances topographiques peuvent être facilement visualisées.

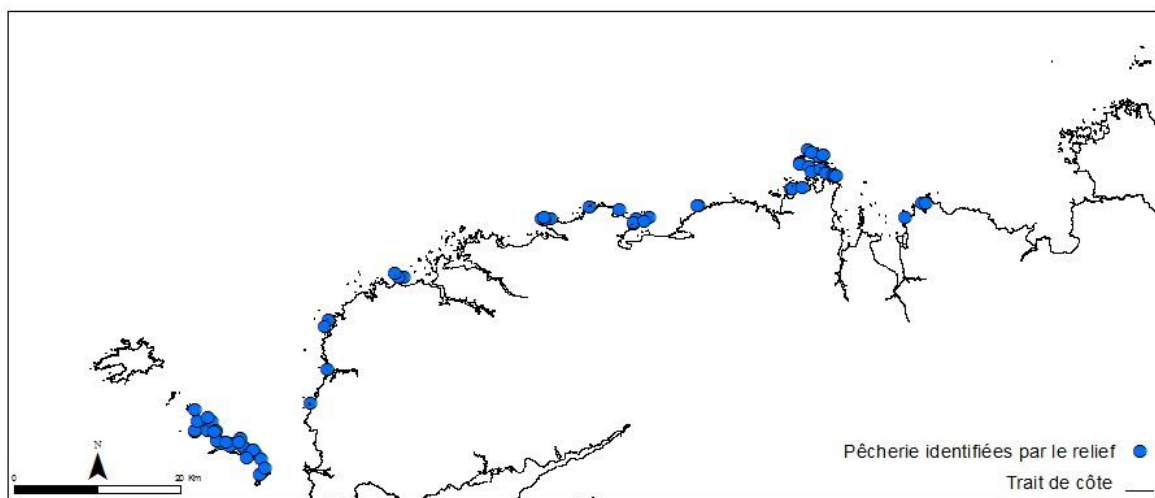


Figure 8 : Pêcheries découvertes par l'utilisation du relief.(Réalisation: M.Paul.).

4.3 Résultats obtenus par la pente

L'ajout de la pente, en transparence, sur les MNT de relief a permis de mettre en évidence cent deux anomalies de terrains pouvant correspondre à des barrages à poissons (tab2 ; fig 9). Ces deux filtres couplés permettent de valider ces discordances du paysage comme vestiges d'anciennes pêcheries. La pente permet l'accentuation de la topographie, mettant ainsi en avant la morphologie des structures. Celles-ci se concentrent autour de l'île de Batz, du Pays des Abers, de l'archipel de Molène, zones où la plateforme littorale est large, faiblement pentue et comporte de nombreux haut fond. Ce filtre permet d'identifier des structures beaucoup plus profondes qu'en utilisant seulement le relief. En effet certaines anomalies ont pu être identifiées à des profondeurs atteignant 10m, comme au niveau de l'Est de l'île de Batz.

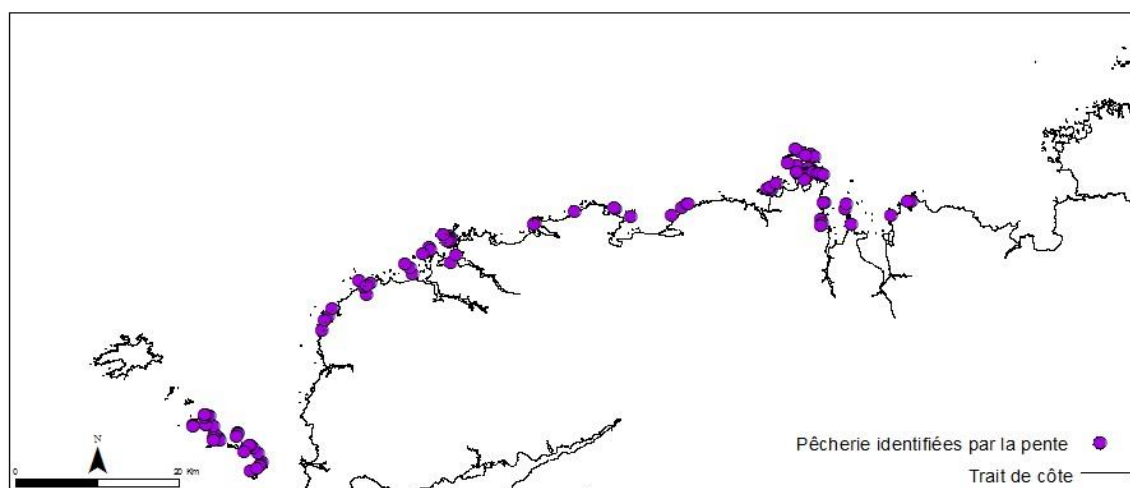


Figure 9 : Pêcheries découvertes par l'utilisation de la pente. (Réalisation: M.Paul).

4.4 Résultats obtenus par l'ombrage

L'utilisation de l'ombrage a permis la mise en évidence d'anomalies de relief dont la plupart ont déjà été visualisées par l'application de la pente sur les MNT du relief. Sur ces anomalies il est possible de confirmer qu'il s'agit bel et bien d'anciens barrages à poissons. Cependant le nombre de ces barrages visibles grâce à ce filtre est fortement inférieur à celui obtenu par la méthode précédente. En effet, un ombrage à 45° a permis de visualiser trente-neuf anomalies, dix-neuf pour l'ombrage à 180°, trente-trois anomalies pour l'azimut de 270 et 315° (tab2 ; fig 10a ; fig 10b ; fig 10c ; fig 10d), contre cent-deux pour le filtre de pente. Comme l'énonçait Crutchley en 2006, certaines structures vont être masquées selon l'azimut choisit. Malgré le choix d'utiliser quatre azimuts différents, la morphologie sous-marine de cette zone ressort très peu. Cela peut s'expliquer par la nature du sol de la zone d'étude. Ce littoral rocheux formé principalement de roches métamorphiques diaclasée ne permet pas d'identifier des anomalies de relief par l'utilisation de ce filtre. Cependant, certaines structures sont observées sous les quatre angles d'éclairage, par exemple celle de Pempoul (St-Pol-de-Léon), le barrage

Lagad-oen (Goulven) ou encore la pêcherie de 780m de l'île de Batz. Cela peut s'expliquer par le caractère bien conservé de ces vestiges et l'environnement sableux, ou encore du fait d'un contraste entre les deux matériaux plus important.

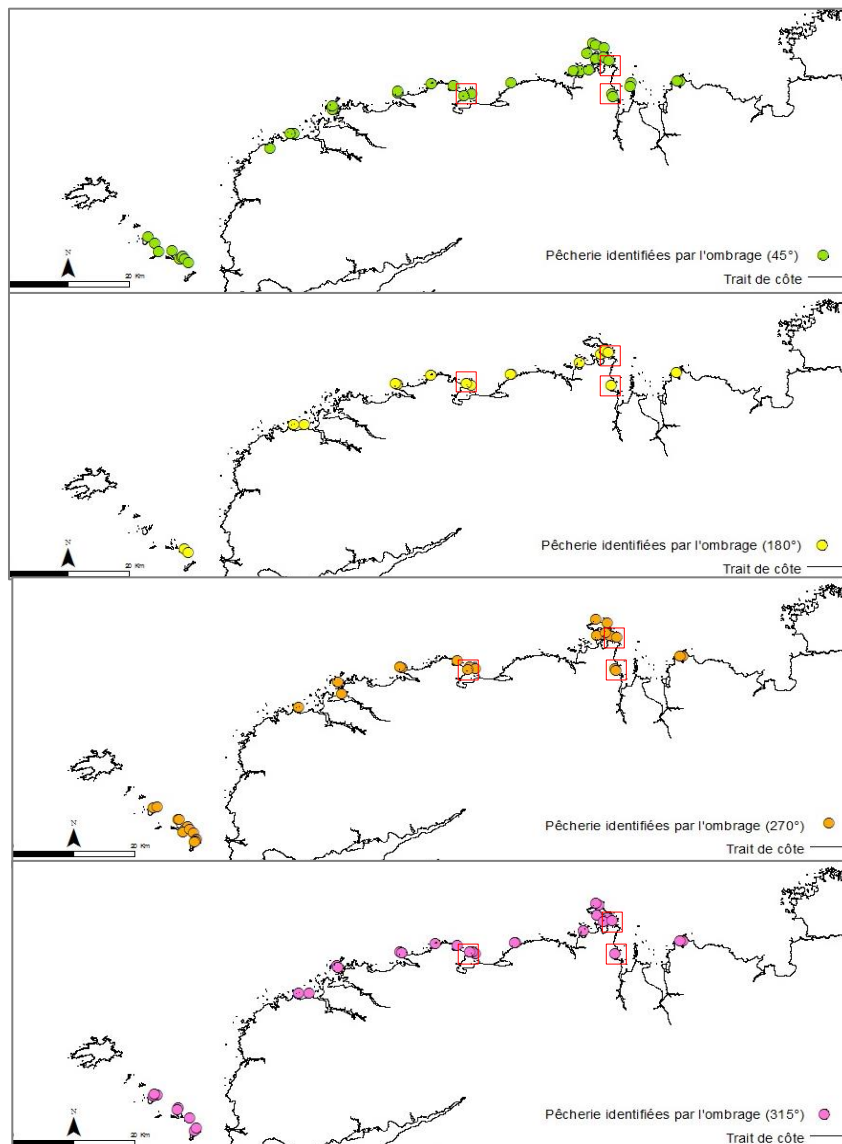


Figure 10 : Pêcheries découvertes par l'utilisation de l'ombrage (a: 45°; b: 180°; c: 270°; d: 315°) (Réalisation: M.Paul)

4.5 Résultats obtenus par la rugosité

Dans le cadre de cette étude l'utilisation de ce filtre ne s'est pas avérée pertinente. En effet, sur les cent trente-neuf nouvelles pêcheries identifiées dans la zone d'étude, seulement six ont pu être visualisées par ce modèle (tab2). Le littoral Nord finistérien étant particulièrement rocheux, la variation de la nature du sol n'est pas suffisamment importante pour l'utilisation de ce filtre. Cependant, la pêcherie visible à Pempoul (St-Pol-de-Léon), est particulièrement mise en avant par l'application de ce modèle. S'agissant d'un barrage construit sur du substrat sableux, la différence de rugosité est plus importante.

4.6 Résultat obtenu par le LRM

L'utilisation du LRM a permis de mettre en évidence quarante-huit anomalies (tab2 ; fig11), visualisées précédemment par l'application du filtre de pente. Les structures mises en évidence sont localisées au niveau de l'île de Batz, de Landéda et de Porstall et de l'archipel de Molène. (fig10). Le LRM permettant de soustraire la valeur moyenne de pente ne sera pas efficace dans les zones trop rocheuses comme, par exemple, sur la côte allant de Plouguerneau à Kerlouan. En effet, les hauts fonds vont biaiser le dénivelé, entraînant le lissage des discordances topographiques pouvant correspondre aux barrages à poissons. Cet outil permet d'obtenir de bons résultats si l'on tient compte de la nature du sol de la zone d'étude.



Figure 11 : Pêcheries découvertes par l'utilisation du LRM (Réalisation: M.Paul. Source).

4.7 Résultats obtenus par la détection des cuvettes

Comme expliqué dans la partie 2.3.6, la détection des zones dites de cuvettes ne permet pas d'identifier directement les barrages à poissons potentiels, mais permet d'évaluer l'environnement afin de trouver des zones favorable l'implantation de ceux-ci. Certaines dépressions (ou chenaux) ont pu être utilisées par les hommes afin de faciliter la construction des pêcheries. Par ailleurs, construire un barrage afin de bloquer les poissons à marée basse nécessite de créer un bassin de rétention de l'eau, en arrière de celui-ci. Ces zones n'étant donc plus soumises au courant de jusant, les sédiments les plus fins vont pouvoir décanter.

Il y aura donc petit à petit un remplissage de ces bassins par les sables (fig 5i) produisant un dépôt anormal dans ces zones, ce qui facilitera la détection de barrages.

Sur trente-sept dalles de 2km² où la présence de barrages a été validée, pour dix d'entre elles la détection de ces zones de cuvettes a facilité l'identification de vestiges d'anciennes pêcheries. L'utilisation d'un tel outil est pertinent dans le cadre de cette étude, cependant et afin d'optimiser les résultats de celle-ci, il est nécessaire de diminuer la taille des dalles étudiées. Par ailleurs tous les barrages à poissons ne se sont pas construits selon une dépression naturelle préexistante. Il est donc nécessaire d'avoir un environnement particulier, comme par exemple en baie de Goulven et contrairement aux pêcheries identifiées de l'archipel de Molène, où aucune cuvette n'a pu être mise en évidence.

5. Discussion

5.1 Pertinence des filtres employés

Un des objectifs de cette étude a été de trouver un algorithme automatique pour la détection des pêcheries. Or le substrat hétérogène de la zone d'étude, la forme variable des vestiges, l'érosion différentielle, ont rendu impossible la réalisation celui-ci. Cependant une méthodologie rigoureuse a été réalisée en utilisant des algorithmes de détection semi-automatique. Au vu des résultats obtenus, le traitement de la donnée bathymétrique par cette méthode s'est avéré efficace car 139 nouvelles pêcheries ont été identifiées. Chaque filtre employé a permis la découverte de barrage à poissons. Mais certains se sont révélés plus pertinent que d'autres, comme le montre le tableau 2. D'après cette illustration la méthode employant la « pente » est la plus efficace pour révéler des structures anthropiques. Sur un total de 139, 102 ont été découvertes grâce à ce filtre. A cela s'ajoute les résultats obtenus par le « LRM » qui a révélé 48 pêcheries. Ces algorithmes de détection semi-automatiques permettent de confirmer ou d'infirmer les anomalies topographiques du relief. La « rugosité » et « l'ombrage » ne se sont pas avérées être pertinent pour cette étude.

Par ailleurs, il serait intéressant d'étudier la combinaison de plusieurs de ces filtres réunis afin d'obtenir l'arrangement qui permettrait une détection maximale des barrages à poissons.

A cela s'ajoute l'utilisation de la photographie aérienne, qui se révèle être un outil important dans le cadre de ce travail. Cette méthode a permis de détecter plus de 700 pêcheries sur la côte bretonne, dont 159 sur le Finistère nord. Les pêcheries découvertes par Daire et Langouët à travers l'imagerie font l'objet de travaux en cours. La méthodologie développée dans le cadre de ce travail est appliqué sur l'inventaire de Daire et Langouët (2011) afin de chiffrer celles qui sont visibles à travers les différents filtres. Cela permettra, par la suite, de réaliser des comparaisons sur quelle méthode employer pour continuer l'actualisation de l'inventaire.

5.2 Filtres et environnement

Au vu de la différence du nombre de pêcheries découvertes selon le filtre employé, la nature du substrat joue un rôle primordial dans l'efficacité des algorithmes semi-automatiques employés. Pour chaque pêcherie identifiée la nature du sol a été renseigné (tab 3).

	Pente	LRM	45°	180°	270°	315°	Rugosité
Sandy seafloor	60	35	25	12	23	21	5
Rocky seafloor	52	13	14	8	10	12	1
Total	102	48	39	19	33	33	6

Tableau 3 : Filtres utilisés et substrat observé.

Comme le montre le tableau 3, la « pente » permet l'identification des barrages quel que soit le type de substrat présent. Sur les 102 pêcheries découvertes, 60 sont en zone sableuse et 52 en zone rocheuse. Cet algorithme semi-automatique qui a permis l'observation de la majorité des structures, est pertinent quel que soit l'environnement et la profondeur. L'érosion ou l'ensevelissement des vestiges reste le facteur limitant la détection avec ce filtre. Le « LRM » va être efficace dans les zones sableuses. 35 des 48 pêcheries visibles par cet outil se trouvent en zone sableuse. En effet, la présence de haut fond va biaiser le dénivelé moyen de la zone étudiée, les structures anthropiques seront donc lissées. L'ombrage est aussi plus pertinent hors zone rocheuse, à faible profondeur, comme l'utilisation des photographies aériennes

Ces résultats vont permettre d'affiner la méthodologie mise en place dans le cadre de ce travail. Selon les sites d'étude certains filtres seront privilégiés, par exemple le « LRM » en zone sableuse et « la pente » en zone rocheuse.

6. Conclusion

Le travail effectué dans le cadre de ce stage a permis la réactualisation de l'inventaire de Daire et Langouët (2011) sur les pêcheries de Bretagne. Rien que sur le Finistère Nord, 139 nouvelles pêcheries ont pu être identifiées grâce à l'exploitation des données litto3D. Il est à présent nécessaire d'appliquer cette méthodologie à l'ensemble de la Bretagne, en privilégiant certaines zones comme l'île de Sein ou l'archipel des Glénan. Parallèlement des travaux sont en cours afin d'effectuer une datation relative de ces structures archéologiques. **Cela permettrait d'obtenir une vitesse de remontée relative du niveau marin depuis le néolithique, comblant ainsi le hiatus existant sur les 8000 dernières années.**

Afin de valider ces observations obtenues par le traitement de données il est impératif d'aller se confronter aux prospections de terrain. Cela permettrait de mieux comprendre la disposition et l'implantation de certaines structures, certaines fouilles pourraient révéler des restes d'éléments ligneux ou d'os de poissons. Dans le cadre de ce stage la pêcherie Lagad-oen (Goulven) a suscité deux prospections pédestres. Cela a permis d'apporter de nombreuses informations sur la nature des roches utilisées, sur la construction de ce barrage.



Bibliographie

Baltzer A., Bonnot-courtois C., Cassen S., Fournier J., Lorin A., Cagna R., Gillier A., 2010. Reconnaissance des menhirs subtidaux par sonar latéral et bathymétrie fine en baie de Quiberon. Xièmes journées nationales génie civil – génie côtier.

Billard et al., 2013(a). Anciens peuplements littoraux et relations Homme/Milieu sur les côtes de l'Europe atlantique. *Archaeological Reports*. pp139-150

Billard et al., (b) . Anciens peuplements littoraux et relations Homme/Milieu sur les côtes de l'Europe atlantique. *Archaeological Reports*. pp 3-12

Bowen 1998. Towards a generic technique for dating stone fish traps and weirs. *Australian Archaeology*. No 47. pp39-43

Cassen S., Baltzer A., Lorin A., Sellier D., Boujot C., Menier D., Rousset JM., 2010. Prospections archéologiques et géophysiques de stèles néolithiques submergées en baie de Quiberon (Morbihan). *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*. No 8.

Cassen S., Baltzer A., Lorin A., Fournier J., Sellier D., 2011. Submarine neolithic stone rows near Carnac (Morbihan), France : preliminary results from acoustic and underwater survey in submerged prehistory archeology . *Oxbow books*. pp 99-110.

Challis K., Forlin P., Kincey M., 2011. A Generic Toolkit for the Visualization Features on Airborne lidar elevation Data. *Archaeological. Prospection*. No 18. pp 279–289

Chase AF., Chase D., Weishampel J., 2011. Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science*. No 38. pp 387–398.

Connaway., 2007. Fishweirs : A world perspective with Emphasis on the Fishweirs of Mississippi. *Archeological Report*. No 33. pp 5-47.

Coutts PJ., Frank RK., Hughes PJ., 1978. Aboriginal engineers of the western district, Victoria. *Records of the Victorian. Archaeological Survey*. No 7.

Crutchley S., 2006. Light detection and ranging (lidar) in the Witham Valley, Lincolnshire: an assessment of new remote sensing techniques. *Archaeological Prospection*. No13. pp251–257.

Daire MY., Langouët, L., 2008. Les pêcheries de Bretagne. *Archéologie et Histoire des pêcheries d'estran*. Rennes, coédition Centre Régional d'Archéologie d'Alet et Association Manche Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les Îles AE.

Daire MY., Langouët L., 2010. Les anciens pièges à poissons des côtes de Bretagne, un patrimoine au rythme des marées... Rennes, coédition Centre Régional d'Archéologie d'Alet et Association Manche Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les Îles AG

Devereux BJ., Amable GS., Crow P., Cliff AD., 2005. The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. *Antiquity*. No 79. pp 648–660

Docteur., Young., 2013. An evaluation of automated gis tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data. Sinkhole conference nckri symposium 2.

Dortch CE., 1997. New Perceptions of the Chronology and Development of Aboriginal Fishing in South-Western Australia. *World Archaeology*. No. 1. pp 15-35

Durand S., 1960. Le Tertiaire de Bretagne : Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique. Thèse d'état, Mémoire de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 389 p

Freeman, TG., 1991. 'Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid'. *Computer Geosciences*. No 17. pp 413-422.

Fulford M., Champion T., Long A., 1997. England's Coastal Heritage: A Survey for English Heritage and the RCHME. *English Heritage Archaeological*. No 15.

Gandois et al., 2013. Rapport sur les prospections sous-marines et sur la zone d'estran en mer d'Iroise, opération n° OA-1746, DRASSM, 49p

Garbrecht J., Martz L., 1995. 'TOPAZ: an automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and sub catchment parameterization'. *Usda-Ars Publication*. 110 p.

Hallégouët B., Vliet-Lanoë B., 1989. Héritages glaciels sur les côtes du massif Armoricaïn, France, *Géographie physique et Quaternaire*. No 2. pp223-232.

Hesse R., 2010. LiDAR-derived local relief models (LRM) –a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection*. No 17. pp 67–72.

Imhof E., 2007. Cartographic relief presentation. Steward. ESRI Press.

Jeffery B., 2013. Reviving Community Spirit: Furthering the Sustainable, Historical and Economic Role of Fish Weirs and Traps. *Journal of Maritime Archaeology*. No 8. pp 29–57

Martz L., deJong E., 1991. 'Using cesium-137 and landform classification to develop a net soil erosion budget for a small Canadian prairie watershed'. *Catena*. No 18. pp 289-308.

Martz L., Garbrecht J., 1992. 'Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models', *Computer Geosciences*. No 18. pp 747-761.

Martz L., Garbrecht J., 1998. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. *Hydrological Processes*. No 12. pp 843-855.

Martz L., Jurgen Garbrechtb J., 1999. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEMp. *Computers Geosciences*. No 25. pp 835-844.

Morzadec-Kerfourn MT., 1974. Variation de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire : Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux, Thèse d'état, Rennes, Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne 17, 208 p.

Moss L., 1990. Wood Stake Weirs and Salmon Fishing on the Northwest Coast: Evidence from Southeast Alaska. *Canadian Journal of Archaeology*. No 14. pp.143-158.

O'Sullivan., 2004. Place, memory and identity among estuarine fishing communities: Interpreting the archeology of early medieval fish weirs. *World Archaeology*. Pp 450-468.

Pailler Y., Gandois H., Dreano Y., Duigou L., Josselin J., Nicolas C., Stephan P., 2011. Sondage sur un tertre funéraire du Néolithique moyen à la pointe nord du Ledenez Vihan de Kemenez (Le Conquet, Finistère)-Sites nouvellement découverts dans l'archipel (Kemenez, Béniguet). *Programme archéologique molénais*. No 16.

Pedersen L., 1995. 7000 years of fishing: stationary fishing structures in the Mesolithic and afterwards. In *Man and Sea in the Mesolithic, Coastal Settlement above and below Present Sea Level*. *Oxbow Monograph*. No 53. pp. 75-86.

Pedersen L., 1997. They put fences in the sea. In *The Danish Storebælt since the Ice Age: Man, Sea and Forest*.

Table des illustrations

Figure 1 : Classification des pêcheries selon Connaway (2007).....	2
Figure 3 : Géologie de la Bretagne (BRGM).	5
Figure 4 : Photos aériennes (1948, 1976, 2016) de la Baie de Goulven	6
Figure 5 : Extraction des dalles Litto3D de 2km ² et création de MNT	8
Figure 6 : Filtres et modèles appliqués pour la détection des barrages à poissons	11
Figure 7 : Pêcheries inventoriées par Daire et Langouët et par Litto 3D.....	12
Figure 8 : Pêcheries découvertes par l'utilisation du relief.....	13
Figure 9 : Pêcheries découvertes par l'utilisation de la pente.	14
Figure 10 : Pêcheries découvertes par l'utilisation de l'ombrage	15
Figure 11 : Pêcheries découvertes par l'utilisation du LRM	16
Photo 1 : Pêcherie de Lagad-oen (Goulven).....	18
Tableau 1 : Filtres appliqués aux dalles Litto3D	9
Tableau 2 : Nombre de pêcheries observées selon le filtre appliqué.	13
Tableau 3 : Filtres utilisés et substrat observé	17