

# MASTER SML

SCIENCES DE LA MER ET DU LITTORAL  
MENTION

EXPERTISE ET GESTION DE  
L'ENVIRONNEMENT LITTORAL

**Noémie Martin**

Suivi du trait de côte et dynamique  
sédimentaire des cordons littoraux du  
Nord- Ouest de l'Islande

Mémoire de stage de Master 1

Année Universitaire 2015-2016

Structure d'accueil : **IUEM Geomer-Letg BREST**

Tuteur universitaire : **Serge SUANEZ**

Maître de stage : **Pierre STEPHAN**



# Dynamique du trait de côte et bilan sédimentaire des cordons littoraux du Nord-Ouest de l'Islande.

## Sommaire :

<b>Remerciements :</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé :</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract:</b> .....	<b>4</b>
<b>Introduction :</b> .....	<b>5</b>
<b>I- Caractéristiques morphosédimentaires des flèches en Islande du Nord Ouest</b> .....	<b>7</b>
1- Particularités morphologiques et sédimentologiques des formes d'accumulation étudiées .....	7
1.1 Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande : .....	8
1.2 Caractéristiques morphosédimentaires des sites étudiés. ....	11
2- Caractéristiques géomorphologiques des formes d'accumulations. ....	21
2.1 Structure morphologique d'après les images landsat : .....	21
2.2 Carte sédimentologique, géomorphologique et bathymétrique : .....	22
<b>II- Les agents de la morphogène à l'échelle de l'Islande : acteurs de la mobilité des flèches et des cordons</b> .....	<b>27</b>
1- La glace et les cours d'eaux .....	27
2- La géologie en Islande : .....	29
3- La marée et la houle .....	29
4- Le vent .....	29
<b>III- Matériel et Méthode :</b> .....	<b>30</b>
1- Instruments et protocoles des levés topographiques (DGPS), KAP (kite aerial photogrammétrie), Cadrats, Photogrammétrie .....	30
1.1. Le kite aerial photography (KAP) .....	31
1.2 Le DGPS .....	31
1.3 La photographie aérienne .....	32
1.4 Analyse granulométrique par la technique du cadrat .....	32
2- Constitution d'une base de données SIG et réalisation des cartes .....	33
3- Méthode d'analyse et de traitements des traits de côtes .....	33
3.1 Arc Gis : Géoréférencement des photographies aériennes : .....	33
3.3 Mobi TC .....	33
4- Traitements des données topo-morphologiques par l'utilisation du logiciel Agisoft Photoscan	
33	
<b>IV- Evolution du trait de côte des formes d'accumulations</b> .....	<b>34</b>

1- Résultats liés au Trait de Côte : 12 sites .....	34
2- Modèle numérique de terrain : Straumeyri.....	44
<b>V- Conclusion :</b> .....	<b>46</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>47</b>
<b>Table des photographies, figures</b> .....	<b>49</b>
<b>Annexes :</b> .....	<b>51</b>

## **Remerciements :**

Mes premiers remerciements s’adressent à mon maitre de stage Pierre Stephan, chercheur au CNRS Géomer Brest, pour son aide et ses conseils. Je tiens à remercier mon tuteur universitaire Serge Suanez, professeur en géomorphologie littorale à l’IUEM, Géomer Brest.

Je tiens à remercier l’ensemble de l’équipe du laboratoire LETG-Géomer Brest dont Bernard Fichaud, maitre de conférences en géomorphologie, Laurence David, ingénieure au CNRS et Mathias Rouan, ingénieur au CNRS pour leurs aides précieuses.

Je remercie Jérôme Ammann et Ronan Autret pour m’avoir conseillée sur le logiciel Agisoft Photoscan. Je remercie Emmanuel Blaise pour son aide dans la compréhension de la numérisation et le traitement des traits de côte.

J’exprime toute ma gratitude à Mme Ingibjorg Jonsdottir, professeure à l’université d’Islande, qui m’a accueillie au sein de l’université et aidée dans la recherche des ortho-photographies et photographies aériennes d’Islande.

Je tiens personnellement à remercier l’aide précieuse de Bleuenn Bodin, stagiaire au CEREMA de Brest, pour m’avoir donné des conseils dans l’apprentissage du logiciel MobiTC.

Je remercie enfin Paul, pour m’avoir soutenue durant la rédaction de ce rapport.

*Ce stage a bénéficié du soutien à la mobilité internationale du LabexMER, sous la forme d'une aide de l'état gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-LABX-19-01.*

## **Résumé :**

Les cordons littoraux présentent une morphologie qui dépend de leur granulométrie et également d'évènements météorologiques. Un des éléments permettant de comprendre la dynamique du trait de côte est la capacité d'établir une connaissance morphologique de la zone dans le temps et l'espace. Nous allons donc focaliser notre attention sur l'évolution des mobilités morphologiques des cordons et flèches le long du littoral Nord-Ouest Islandais. Ces environnements sédimentaires étant des milieux abondants sur ce type de côtes, ils constituent des écosystèmes fragiles et un héritage géomorphologique important. Leur étude permettra donc également de prendre connaissance des dynamiques évolutives des formes littorales en Islande.

## **Abstract:**

Barrier beaches has a morphology which depends on their particle sizes and also the intensity of the storm surges (Lewis 1936, Bodéré and Guilcher 1947). One element to understanding the dynamics of the coastline is the ability to establish a morphological knowledge of the area in time and space. We will therefore focus our attention on the evolution of morphological mobility coastal zone and arrows along the coastline N-W Iceland. These sedimentary environments being abundant environment on this coast, they are fragile ecosystems and significant geomorphologic heritage. Their study will therefore also to learn about the dynamics shoreline of coastal forms in Iceland. This study aims to characterize a morphological point of view and sedimentary barrier beaches Northwest Iceland and to study the cinematic of the coastline.

## Annonce du plan

L'étude présente dans un premier temps la zone d'étude. Cette partie sera basée sur la présentation de cartes indiquant les secteurs étudiés, leur caractéristique sédimentaire et géomorphologique. Dans un second temps, nous analyserons les agents de la morphogène : acteurs de la mobilité des flèches et des cordons en Islande. Nous verrons par la suite le choix des méthodes et matériels utilisés durant ce stage, à savoir la description des outils mis en œuvre et les méthodes de traitement des données acquises. Puis nous exposerons, croiserons et discuterons des résultats obtenus sur l'évolution des traits de côte. Et enfin nous discuterons du comportement morpho dynamique des cordons au cours du temps.

## **Introduction :**

### Le but du stage :

Cette étude a pour but de caractériser d'un point de vue morphologique et sédimentaire les cordons littoraux du Nord-Ouest de l'Islande et d'en étudier la cinématique du trait de côte.

Ce travail permettra aussi de réaliser un état topo-morphologique sur cinq secteurs bien ciblés à partir de modèles numériques de terrain obtenus par photogrammétrie et de sept autres secteurs étudiés par l'analyse de la cinématique du trait de côte. Cette étude permettra enfin de mieux connaître la dynamique des cordons de galets dans cette région d'Islande qui n'a jamais fait l'objet d'études exhaustives. L'Islande est une côte dont l'évolution est pratiquement libre car elle reste peu soumise aux contraintes humaines (Guilcher., 1979).

### Contexte scientifique, contrats de recherche, collaboration scientifique

Ce stage a été réalisé au sein du laboratoire LETG-Brest-Géomer-UMR 6554 du CNRS, basé à l'Institut Universitaire Européen de la Mer, sous la direction de Monsieur Serge SUANEZ et de Monsieur Pierre STEPHAN.

Il s'inscrit également dans le cadre d'une collaboration établie avec l'institut des Sciences de la Terre de l'université d'Islande (Reykjavík), en la personne de Mme Jonsdottir Ingibjörg (enseignante chercheuse). Cette collaboration Franco-Islandaise entre ces deux laboratoires fait d'ailleurs l'objet d'une réponse à l'appel d'offre Hubert Curien en 2015. Ce stage s'inscrit enfin dans la thématique scientifique de l'axe 5 du LabexMer intitulée « Dynamique et vulnérabilité des zones côtières ».

### Historique des recherches sur le sujet :

Les cordons de galets se distinguent des plages sableuses par leur profil réfléchissant (Wright et Short., 1984). En France, le sillon du Talbert (Stéphan et al., 2010) a fait l'objet de nombreuses études qui peuvent aider à la compréhension des cordons littoraux en Islande. Les travaux de thèse de Pierre Stephan (2008) se sont focalisés sur les évolutions morphodynamiques récentes et passées des flèches de galets en Bretagne, on peut y retrouver des ressemblances avec les flèches présentes en Islande. De plus, nombreux auteurs s'interrogent sur la dynamique du trait de côte (Blaise et al., 2015 ; Stephan., 2008 ; Suanez et al., 2011 ; Hallegouët., 1981). J-C Bodéré en 1973 caractérise et décrit le tombolo double de Thordarhofdi au Nord de l'Islande.

La dynamique du trait de côte est définie par une limite qui peut varier selon les auteurs (Carter., 1992, Suanez et al., 2015, Stephan et al., 2011). L'évolution du trait de côte peut être étudiée selon différentes méthodes de suivies tel que la photographie aérienne (Moore., 2000 ; Fenster et al., 1993 ; Dolan., 1978), le DGPS (Boak et al., 2005 ; Suanez et al., 2015) et le kite aerial photography (KAP)( Smith et al., 2006).

L'Islande est située sur un rift océanique, sa morphologie reste très actif et récente, il a subi plusieurs phases d'érosion au cours du temps (Caseldine et al., 2005). Il existe de nombreux facteurs qui mettent en évidence ces différentes phases, par exemple les changements climatiques et les phases glaciaires (Ingolfsson., 1985 ; Ingolfsson et Norddalh., 1994). L'Islande se met en place dès l'Eocène, sa dynamique actuelle est tributaire de l'activité volcanique. La côte Islandaise connaît une

forte variabilité dans ses paysages liée à des processus de météorisation particuliers (Etienne et André., 2003).

#### La localisation des secteurs étudiés :

Les sites choisis dans le stage sont situés au Nord Ouest de l'Islande (cf fig.1). Nous avons dans un premier temps choisi d'étudier cinq sites sur le terrain qui se concentrent au Nord Ouest de l'Islande. Les sites 1 et 2 se situent le plus au nord sur la pointe du Snafellsjokull. Le site 1 se situe près de Helgafellsveit dans une anse, il présente trois flèches, nous allons nous focaliser sur une de ces flèches du nom d'Akrastapar. Le site 2 se décompose de deux secteurs, une plage proche de Sandvik, et une flèche du nom de Vikurrif qui est située près de la mer de Latravik. Le site 3 correspond à un cordon littoral attaché à un promontoire rocheux, dans une petite anse du nom d'Akraos. Le site 4 est un ancien fjord, située sur le Borgarfjordur. La plus proche ville est Borganes, il s'agit d'une flèche subparallèle à la côte du nom de Straumeyri. Le site 5 est une flèche de mi-baie qui se situe également au fond d'un fjord, elle s'appelle Hvalfjordur, la ville la plus proche est Akranes. Dans un second temps, nous avons étudié d'autres sites par photographie aérienne dont n'avons pas de données acquises sur le terrain.

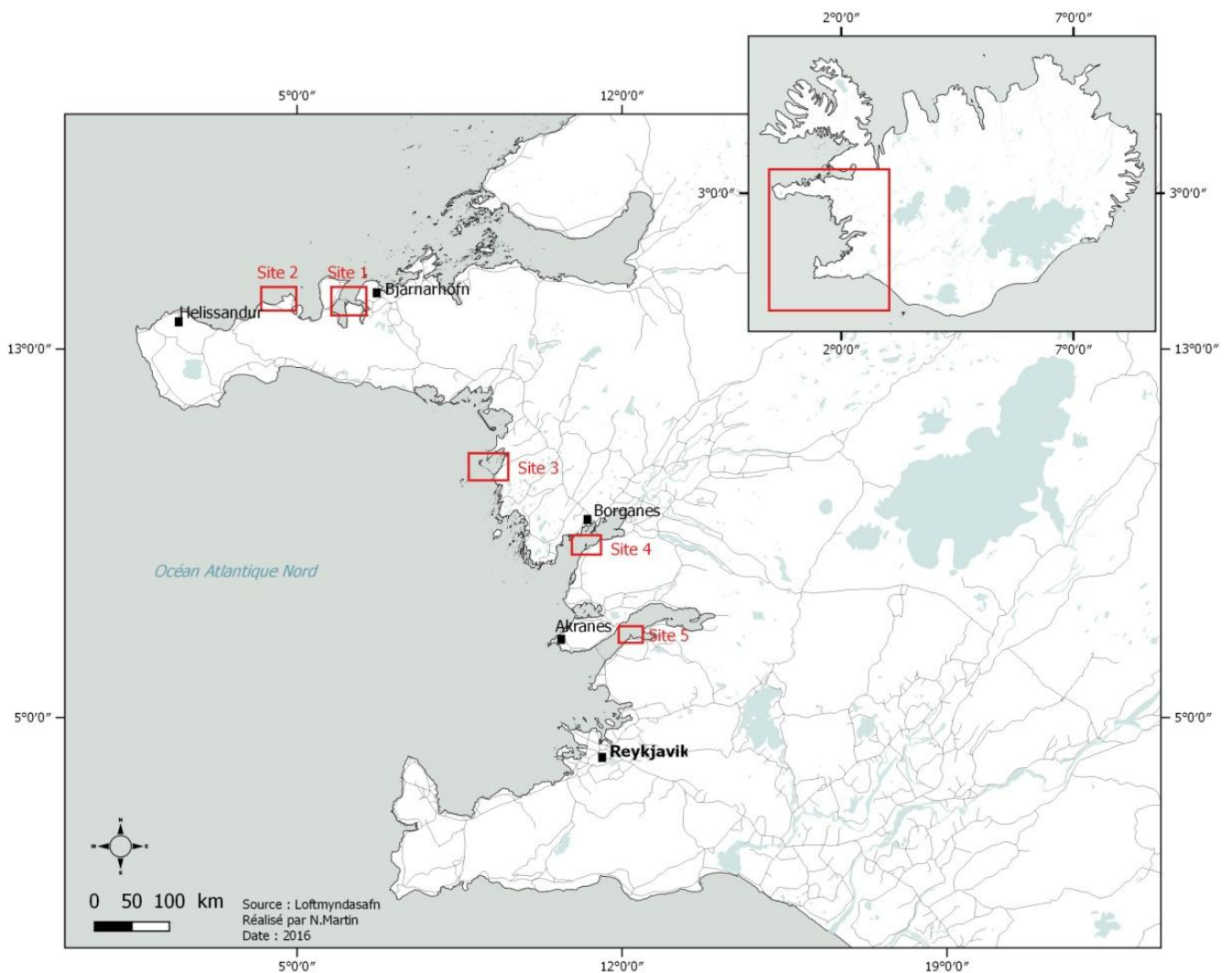


Figure 1 : Localisation des sites d'études

## **I- Caractéristiques morphosédimentaires des flèches en Islande du Nord Ouest**

### **1- Particularités morphologiques et sédimentologiques des formes d'accumulation étudiées**

L'Islande est un pays qui présente une morphologie côtière diversifiée d'un secteur à l'autre.

Au Nord de l'Islande on retrouve peu de formes sédimentaires. Au Nord- Nord- Ouest on retrouve principalement des fjords qui abritent de nombreux cordons en fond de vallée. Au nord de la péninsule du Snæfellsjökull, on identifie de nombreuses flèches et cordons, au sud de cette péninsule on retrouve d'avantage de falaises rocheuses et de plage adossée. Au Nord-Ouest, on a beaucoup de formes d'accumulation, on retrouve la présence de nombreuses formes d'accumulations, on a donc un apport sédimentaire important lié aux cours d'eaux présents le long de cette côte et au contexte bathymétrique et hydrologique de cette zone. Le paysage semble morcelé, c'est l'héritage des éboulis provoqués par les débâcles fluvio glaciaires. Près de Borganes, le long de la rive gauche du fleuve de Hvifta on a la présence de nombreuses flèches qui se forment par l'action marine et fluviale. La bathymétrie reste relativement faible dans la baie de Faxafloi.

Au Sud de l'Islande le paysage présente de nombreuses formes estuariennes. On observe la présence de sandur, il s'agit d'une plaine d'épandage fluvio-glaciaire située à l'aval d'un glacier et qui peut occuper tout ou partie de la marge glaciaire. Au Sud-Est de l'Islande on retrouve de nombreux cordons et des flèches puis lorsque l'on se dirige vers l'Est on retrouve des paysages composés de fjords comme au Nord de l'Islande. Les cordons du Sud de l'Islande contrairement au Nord Ouest de l'Islande ont la même orientation. On a de nombreuses éruptions sous glaciaires et un matériel friable, ces facteurs favorisent un apport sédimentaire important au niveau des cordons du secteur Sud de l'Islande.

On a donc bien un littoral diversifié le long des côtes islandaises. La côte N-W de l'Islande reste très riche en formes d'accumulations (flèches, cordons...). Son tracé semble très découpée par rapport aux autres secteurs, son réseau hydrographique est divisé en de multiples fleuves. La pente sous marine reste relativement faible à l'Ouest de l'Islande.

## 1.1 Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande :

Le Nord Ouest de l'Islande est un secteur riche en flèches et cordons. En effet il existe 25 cordons et flèches répartis sur la côte (cf fig2). On retrouve 8 flèches sub-parallèles dont 3 que nous avons étudié sur le terrain (Hvalfjaröareyri, Seljaoddi et Hjarðarbolsoddi), 5 flèches en chicane dont celle d'Akrastapar que nous observerons sur le terrain, 4 flèches barrants une baie (dont Hvalfjaröareyri, Vikurriif), 2 flèches en vis-à-vis et 6 cordons (Akraos). Dans la baie de Breidafjörður au nord de la péninsule du Snæfellsnes, les houles dominantes ont pour direction celle du Nord alors qu'au Sud de la péninsule de Snæfellsnes, dans la baie de Faxafloi les houles dominantes sont du S-O. Cette classification à été établie d'après une classification de P. Stephan (2011).

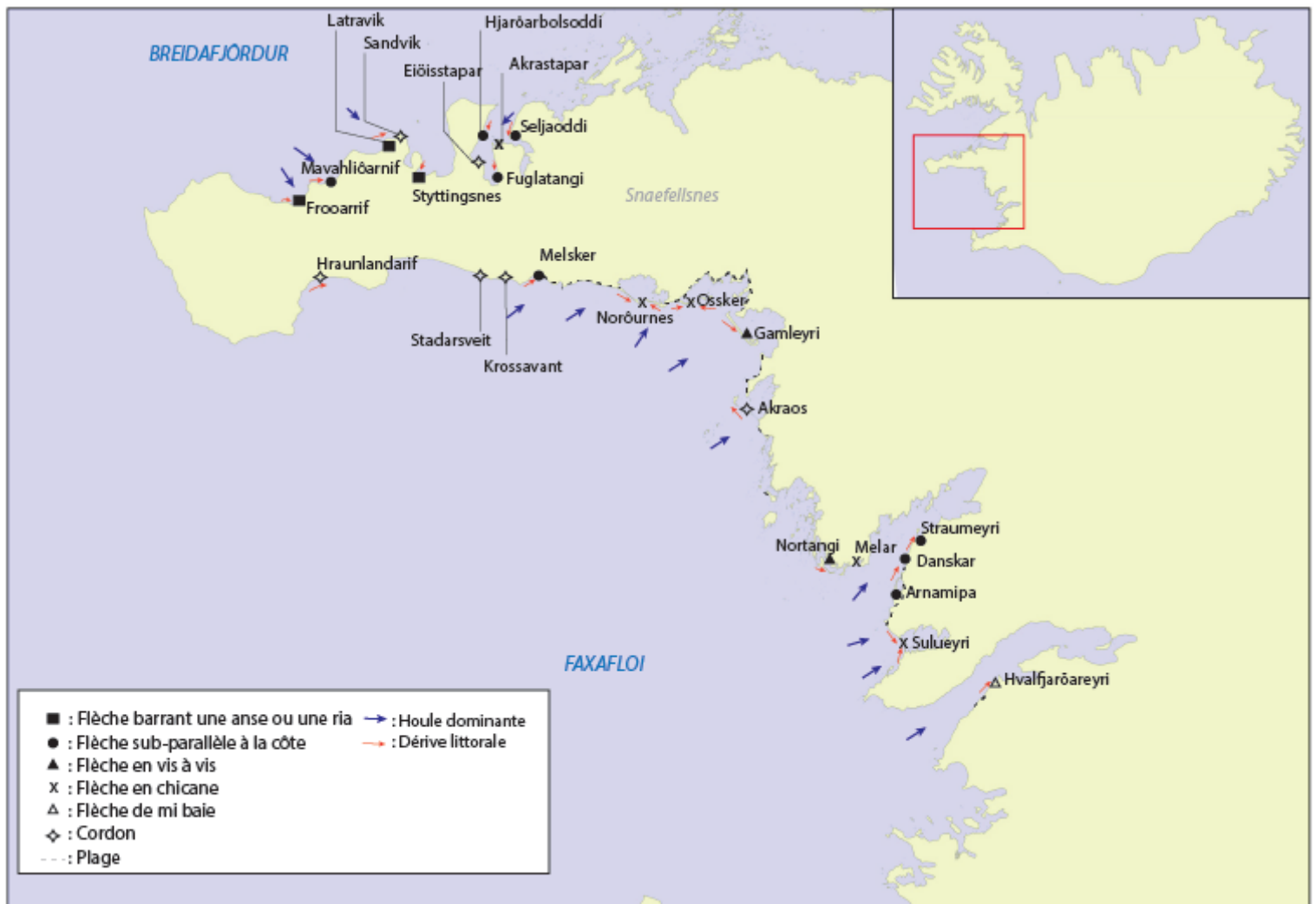


Figure 2 : Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande

Nous avons choisi parmi tous ces sites 5 secteurs possédant des caractéristiques morphologiques et sédimentaires différentes. On retrouve en effet un cordon (Akraos), des flèches sub-parallèles (Hvalfjaröareyri, Seljaoddi et Hjarðarbolsoddi), deux flèches de mi-baie (Hvalfjaröareyri, Latravik) et une flèche en chicane (Akrastapar). L'accessibilité qui peut être difficile au niveau des côtes en Islande a également un élément important dans le choix de ces sites. Nous pouvons remarquer la grande taille de ces flèches dont quelques unes mesurent plusieurs kilomètres de long. Nous avons choisi ces cinq secteurs à étudier sur le terrain, mais en raison des mauvaises



conditions météorologiques et du manque de temps, nous n'avons pu en étudier que 3 (Straumeyri, Vikurri et Akrar).

Il existe plusieurs définitions pour caractériser les formes d'accumulation sédimentaires :

- Un cordon littoral est une accumulation sédimentaire accrochée à ses deux extrémités. On peut aussi bien trouver des cordons de types sableux que composés de graviers et de galets, en effet la nature du sédiment ne détermine pas la typologie de la forme ( Pinot., 1998).
- Les flèches sub-parallèles à la côte ( cf fig. 3) s'allongent dans le sens du rivage et s'en détachent légèrement dès lors qu'un léger rentrant marque localement le tracé de la côte.
- Les flèches barrant une baie isolent souvent un marais maritime, elles barrent pratiquement une anse ou une baie.
- Les flèches en chicane (cf fig 4) se forment lorsque deux flèches prennent racine sur les rives d'une anse ou d'un estuaire et s'étirent respectivement l'une vers l'autre (Stephan., 2008). L'une des pointes d'une flèche se développe en avant de la seconde, il faut que les courants de dérive littorale soient convergents. Les flèches en vis-à-vis se forment lorsque l'allongement n'est pas suffisant, elles se font face.
- Une plage adossée est créée lorsque le sable est transporté jusqu'à la côte par les houles. On parle de flèche littorale si il y a un ancrage à la terre ferme que d'un côté.



Figure 3 : Flèche sub parallèle à la côte Straumeyri  
Photo : N. Martin

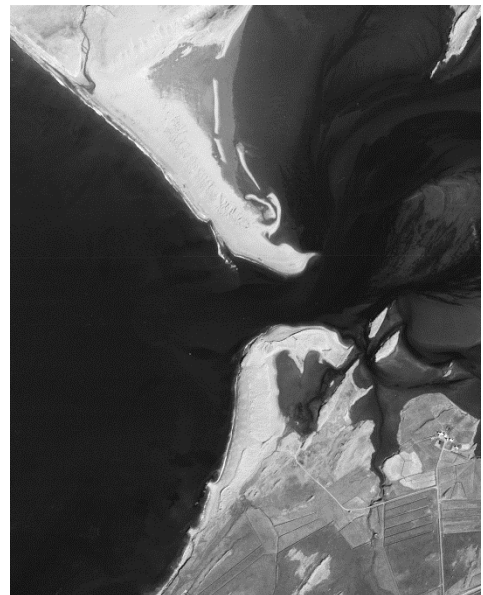


Figure 4 : Flèche en chicane Suluyeri (Akranes)  
Photo : Land Survey Island

Nom du site	Morphologie	Longueur (km)	Largeur (base-spatule)	Sens de la dérive littorale	Houle dominante	Observation
Seljaoddi	Flèche sub parallèle	0,408	381	N-O à S-E	N-N-E	terrain
Akrastapar	Flèche en chicane	0,869	33-96	N-E à S-O	N-N-E	terrain
Hjarðarbolsoddi	Flèche sub parallèle	0,576	82-483	N-O à S-E	N-N-E	terrain
Eiðisstapar	Cordon	0,925	56	N-O à S-E	N-N-E	-
Fuglatangi	Flèche sub parallèle	0,909	40-49	N-O à S-E	N-N-E	-
Styttingsnes	Flèche barrant une baie	0,237	déc-20	N-O à S-E	N	-
Sandvik	Cordon	0,916	90-188	O à N-E	N-O	-
Latravik (Vikurrif)	Flèche barrant une baie	1,5 km	62-207	O à N-E	N-O	terrain
Mavahlíðarnif	Flèche sub parallèle (avec lagune en arrière)	2,1 km	118-201	O-E	N-O	-
Frooarrif	Flèche barrant une baie	2,3 km	50-90	O-E	N-O	-
Hraunlandarif	Cordon	5,3 km	320	O-E	S	-
Stadarsveit	Flèche sub-parallèle à la côte	2,0 km	109-179	N-O à S-E	S-O	-
Krossavant	Cordon	1,8 km	50-102	N-O à S-E	S-O	-
Melsker	Flèche sub-parallèle à la côte	3,5 km	86-102	S-O à N-E	S-O	-
Norðurnes	Flèche en chicane	6,6 km	160-459	N-O à S-E + S-E à N-O	S-S-O	-
Ossker	Flèche en chicane	2,6 km	350-374	O à E + E-O	S-O	-
Gamleyri	Flèche en vis à vis (île barrière ?)	6,3 km	451-456	N-O à S-E	S-O	-
Akraos	Cordon barrage	5,3 km	113-576	S-E à N-O	S-O	terrain
Nortangi	Flèche en vis à vis	3,1 km	108-240	O-E	S-S-O	-
Melar		3,3 km	170-422	O-E	S-S-O	-
Straumeyri	Flèche sub-parallèle à la côte	2,4 km	47-326	S à N-E	S-S-O	terrain
Danskar	Flèche sub-parallèle à la côte	2,1 km	78-143	S à N-E	S-S-O	-
Arnamipa	Flèche sub-parallèle à la côte	3,7 km	90-224	S à N-E	S-O	-
Suluyeri (Akranes)	Flèche en chicane	1,6 km - 773 m	278 - 185	N-O à S-E + S-O à N-E	O	-
Hvalfjaröareyri	Flèche de mi baie	2,1 km	32-656	S-O à N-E	S-O	terrain

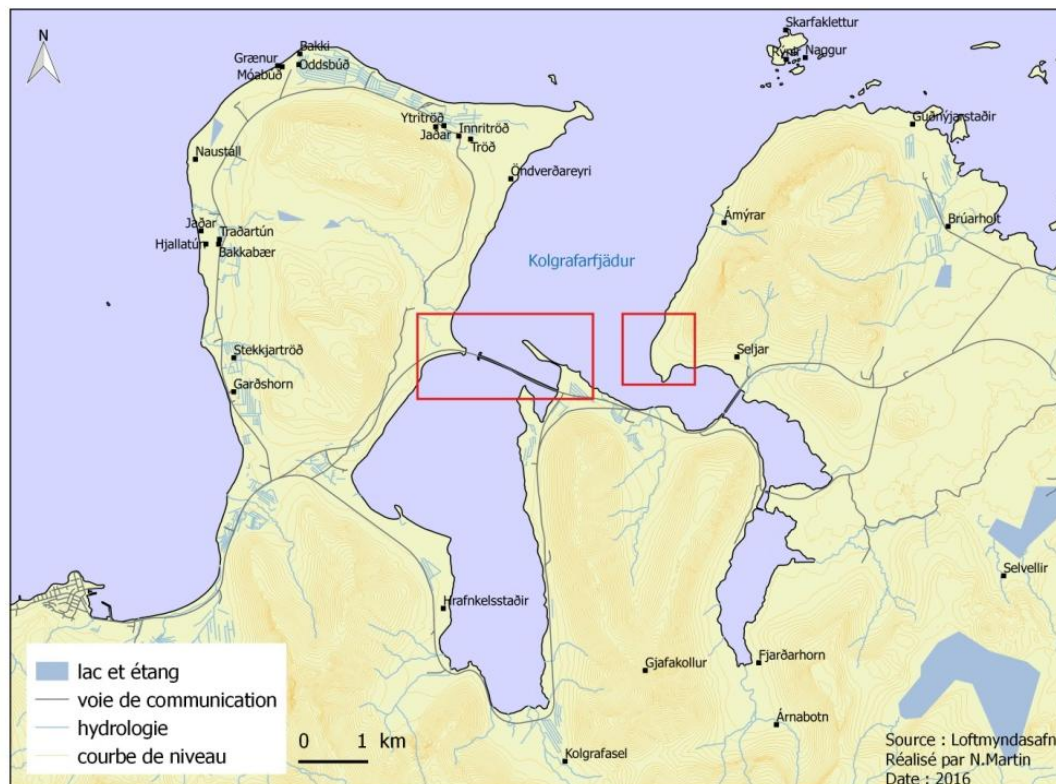
Tableau 1 : Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande

## 1.2 Caractéristiques morphosédimentaires des sites étudiés.

### a- Site 1 : Helgafellssveit

La dynamique sédimentaire du site de Helgafellssveit est perturbée par des aménagements anthropiques (cf fig 5). En effet, il existe une digue reliant les deux rives du fjord. Nous remarquons qu'elle est renforcée par des enrochements le long de l'axe routier 54 du nom « Snæfellsnesvegur» et qu'elle présente une ouverture au niveau de la rive Ouest (cf fig 6). L'ouvrage s'appuie à l'Ouest sur une flèche préexistante, Hjarðarbolsoddi. L'ouverture de la digue a généré de forts courants de marée sur la rive Ouest et a donc impacté localement le transit sédimentaire et la morphologie de la flèche. A l'Est de la digue, nous retrouvons deux flèches. L'une mesure 245 mètres de longueur et 93 mètres de largeur. Elles sont séparées par un marais maritime et par la digue. La deuxième flèche Akrastapar mesure 875 mètres de longueur, 85 mètres de largeur à sa partie proximale, 65 mètres en partie médiane et 166 mètres de largeur au niveau de la partie distale. Ces mesures ont été réalisées sur « mapjà ». Cette flèche plus longue et étroite, se forme à l'arrière d'une plateforme rocheuse qui la protège de la houle marine. Elle profite également de l'apport sédimentaire fluvial du fleuve de Hraunsfjardarvatn. Dans la deuxième partie de l'étude nous observons une flèche près de Seljar (cf fig 5). Elle est très large (400 m) et longue de 500 mètres.

Figure 5 : Carte de localisation du site 1 : Helgafellssveit



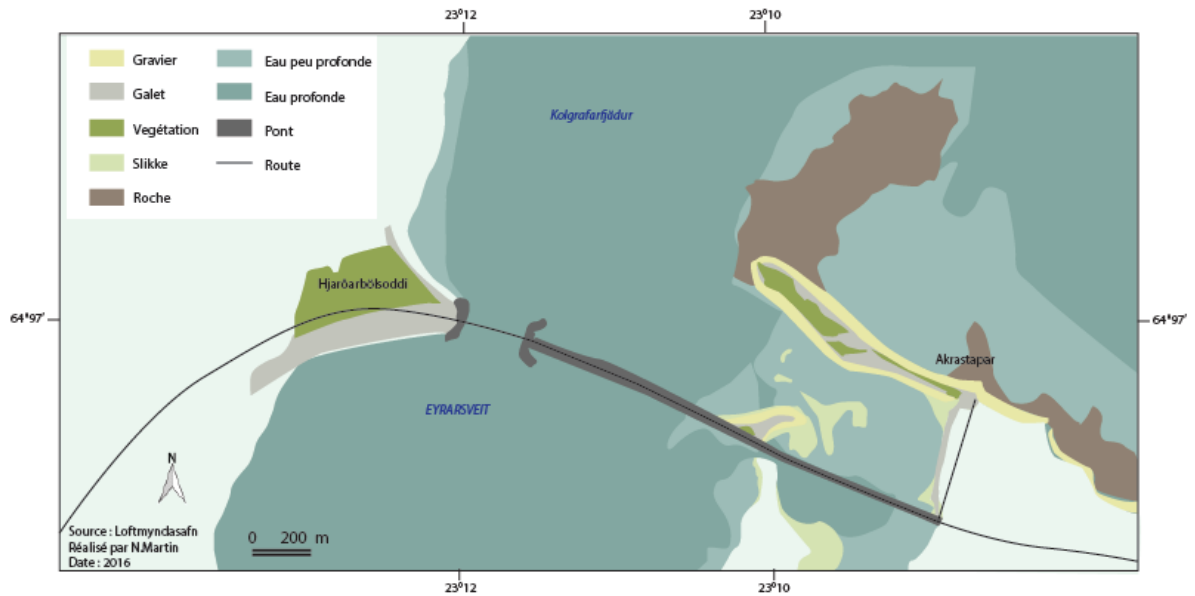


Figure 6 : Carte géomorphologique et sédimentaire des flèches du site 1

### b- Site 2 : Eyrarsveit

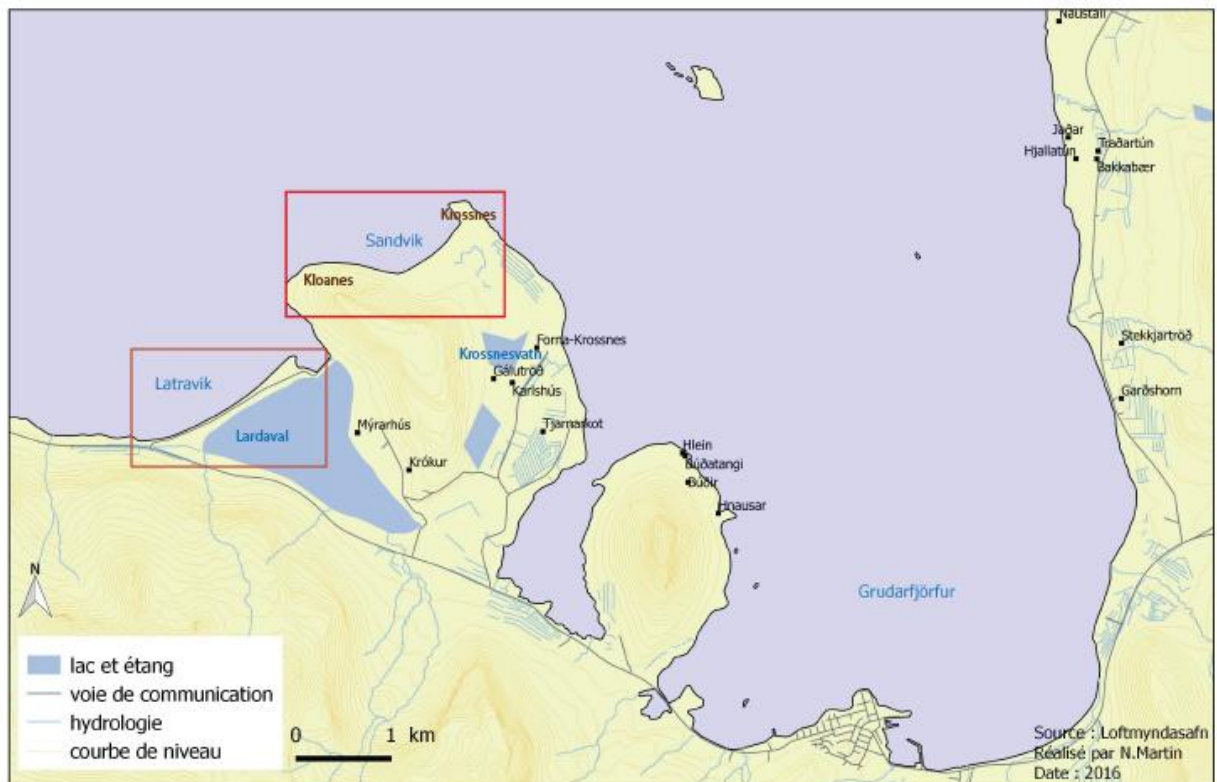


Figure 7 : Carte de localisation du site 2 : Sandvik et Latravik

Au nord du Site 2 on retrouve un cordon au fond de la baie de Sandvik. Ce cordon relie deux époutements rocheux que sont Krossnes au Nord et Kloanes au Sud. Il s'étire sur de 900 mètres de longueur et large de 400 mètres. A l'arrière du cordon nous devinons grâce à une photographie aérienne la présence d'un marais maritime. Ces chenaux communiquent à un lac appelé le Krossnesvatn (cf fig.5 et cf.fig 7).

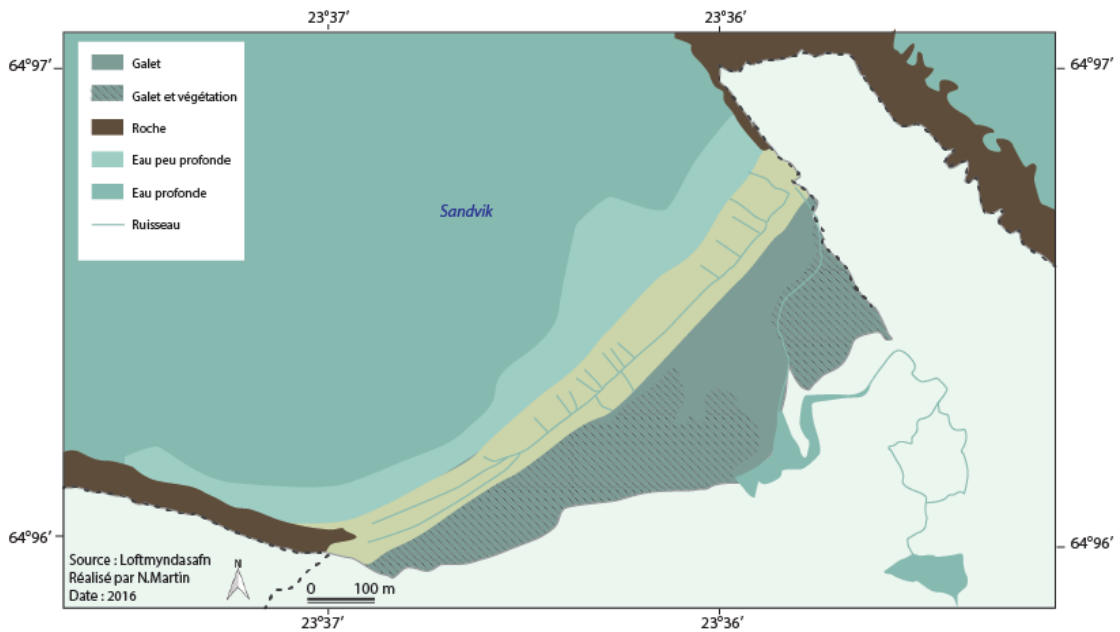


Figure 8 : carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche de Sandvik

Au sud du site 2, il existe une flèche appelée Vikurrif qui se situe dans la baie de Latravik. Elle est ancrée à une extrémité de façon naturelle, et à son autre extrémité de façon anthropique par l'existence d'une route consolidée par un enrochement. Elle mesure plus de 2km de longueur et 400 mètres de largeur, la largeur est seulement de 60 mètres à la base. A l'arrière de la flèche on retrouve un bassin du nom de « Lardaval ».

La flèche de Vikurrif est une flèche de mi baie, en effet elle sépare la mer d'un bassin. Cette flèche reste très anthropisée. On retrouve plusieurs aménagements sur le site, comme une route à l'arrière des dunes et une digue. La flèche est également un lieu d'aquaculture, on retrouve des bassins d'aquaculture en bout de flèche (cf fig 9) et la présence de chevaux sur le site.



Figure 9 : Bassin aquaculture Vikurrif, Photo : N. Martin

Vikurrif est composée également de nombreux enrochement. La flèche était présente avant les enrochements et le propriétaire des lieux a voulu consolider la base de la flèche pour éviter sa rupture. Le lieu reste en tout cas propice à l'accumulation sédimentaire car on est dans des fonds assez plats

mais contrairement au site d'Akrastapar, la flèche est soumise directement aux houles. La base de la flèche est composée de sable et de galet en contrebas de la plage puis en haut de plage prédomine une dune embryonnaire soutenue par l'enrochement (cf fig. 10). Au bout de la flèche il n'y a plus de galet mais uniquement du sable en bas de plage.



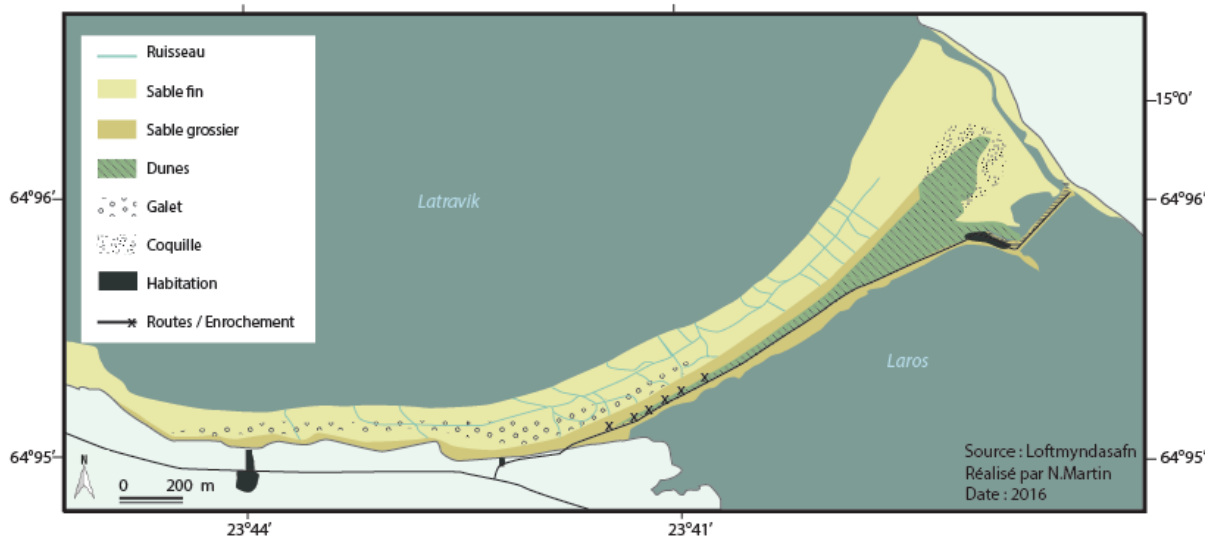
Figure 10 : Flèche de Vikurrif Photo N. Martin

En haut de plage on trouve une dune à oyat, cette dernière a une hauteur plus élevée au niveau de la spatule

qu'à la base de la flèche. On remarque également un grand stock de coquilles sur la pointe de la flèche (cf fig 11).

L'apport sédimentaire important au niveau de la flèche de Vikurrif provient de falaises basaltiques très gélifractées à l'Ouest de la flèche. Le sens de la dérive littorale est d'Ouest vers le Nord-Est. Le transit sédimentaire va de la base de la flèche vers la pointe de la flèche, Vikurrif est une flèche qui se « cannibalise ». Le stock de sable est beaucoup plus important sur la spatule que sur la base de Vikurrif. Les houles dominantes arrivent du Nord-Ouest, ces houles sont réfractées, le sable est donc transporté vers la pointe de la flèche.

Figure 11 : Carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche de Vikurrif



### c- Site 3 : Akar

Le Site 3 correspond à un long cordon sableux d'une longueur de 5 km. Au niveau du crochet distal la largeur est d'environ 500 mètres, à sa base elle atteint 150 mètres. Ce cordon dispose d'un crochet distal recourbé vers l'intérieur d'une anse appelée Akraos. Akar est un cordon puisqu'il est fixé à des affleurements rocheux à sa pointe. Le site constitue en période de nidification un lieu habité par les goélands marins.

Ce cordon sablo-galets se compose d'une pelouse et de falaises très friables, on retrouve des galets en bas de plage et du sable en haut de plage. Au sommet on distingue des dunes de hauteurs différentes. Près de la pointe, les dunes sont hautes (environ 4 mètres au dessus du niveau de la mer) et elles sont taillées en falaise. Plus on se rapproche de la partie fixée au rivage terrestre, plus les dunes sont petites. On constate un tri granulométrique le long de la plage entre le sable coquillé et le sable non coquillé plus fin. Le sommet des dunes est recouvert d'une végétation dense composée d'oyat principalement. A l'arrière du cordon on retrouve un marais maritime composée de sable (cf.fig 13).

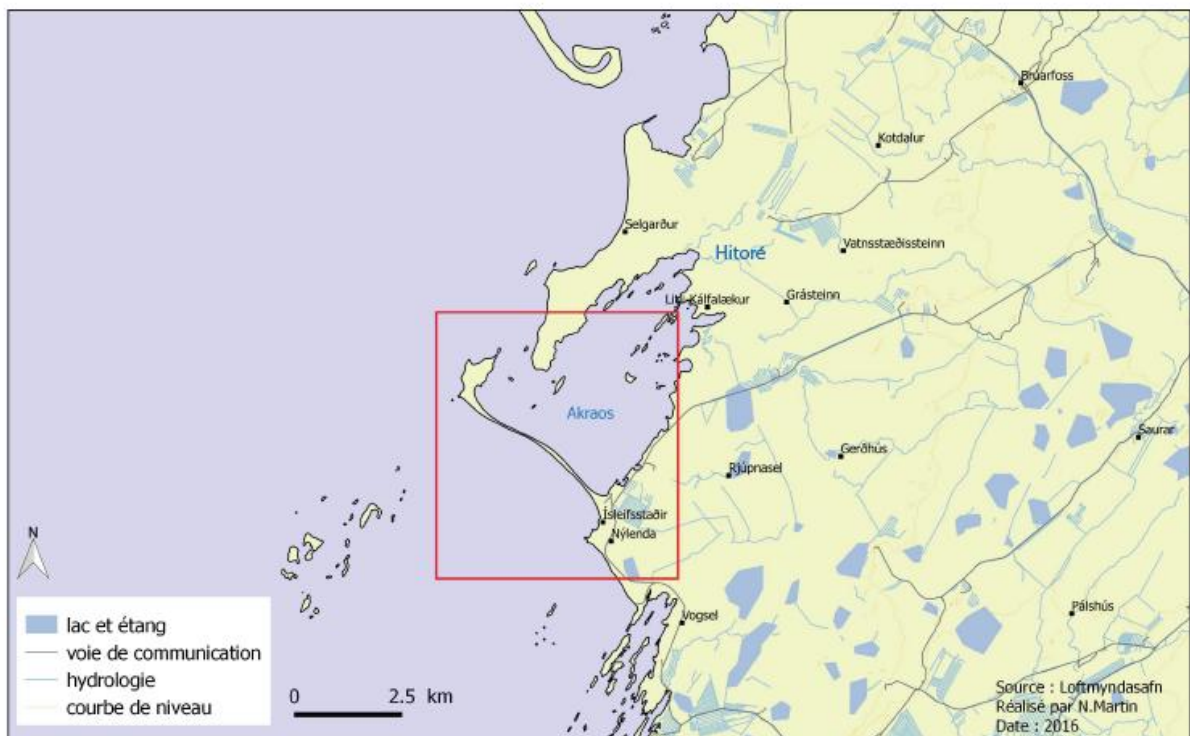


Figure 12 : Carte de localisation du site 3 : Akar

Nous avons pu constater sur le terrain deux amorces de brèches et une brèche conséquente reliant la vasière à la mer. On a également la présence de dunes saisonnières embryonnaires au pied des dunes vives taillées en falaise.



Figure 13 : Carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche d'Akar

L'estran est composé principalement de sable. On peut percevoir des intercalations de galets, cela reflète des périodes de forts démaigrissements où le sable est parti et à laissé place aux galets. Akar a des pentes plus faibles en bas de plage et des pentes plus élevés en haut de plage, à l'arrière du cordon se trouve une vasière.

#### **d- Site 4 : Borgarfjordur**

La flèche de Straumeyri s'est formée à l'intérieur d'une ancienne vallée glaciaire, elle est sous l'influence de l'action marine et fluviale. Sa longueur atteint 2.4 km avec un grand crochet distal large de 380 mètres (cf fig. 14). Ce fjord porte le nom de Borgarfjordur. Cette flèche a une forme particulière, très étroite à sa base et large à son extrémité. Elle se situe non loin de la ville de Borganes. Cette ville est reliée à l'autre rive par un pont. Ce dernier peut influencer le transit sédimentaire du cours d'eau et par conséquent l'apport sédimentaire sur la flèche de Straumeyri. Il sera donc important d'observer les évolutions de cette flèche en comparant sa forme morphologique avant la construction de ce pont et l'actuel.

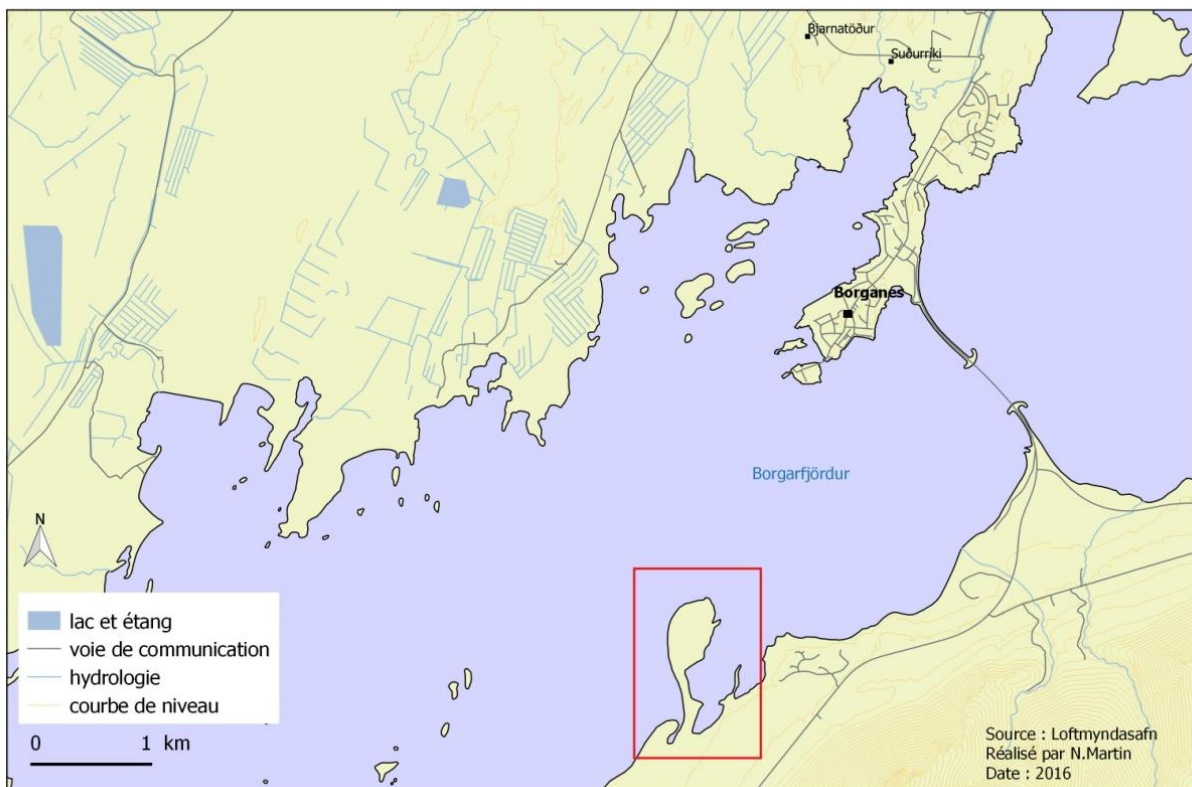


Figure 14 : carte de localisation du site 4 : Straumeyri

#### **Observations sur le terrain :**

A marée basse, nous remarquons la présence d'un marais maritime, accueillant de nombreux oiseaux et arénicoles. Cette vase est sablo-argileuse. A l'intérieur de cette vasière se forment des deltas de flots et de jusant plus ou moins importants selon la sinuosité du chenal et du dépôt sédimentaire. Ces deltas ont été par la suite stabilisés par une végétation de type herbacée. On peut souligner la présence également de gros blocs épars situés dans la vasière, ils sont liés à l'éboulement de la falaise. La falaise près de la flèche est très friable, elle fournit donc beaucoup de matériel. Au pied de ces falaises on retrouve à certains endroits des encoches



Figure 15 : Encoche basalte, Straumeyri, Photo N. Martin



dans la roche basaltique (cf fig 15). Aujourd'hui ces falaises ne sont plus soumises aux actions marines.



Figure 16 : Micro falaise Straumeyri  
Photo : N. Martin

On a au pied de la falaise du sable fin. Puis on retrouve une pelouse très épaisse et humide, elle gagne sur la plage et sur la vasière. On remarque qu'à l'intérieur de cette pelouse se trouvent des galets et du sable, ce que l'on retrouve aussi en bas de plage (cf fig 16).

Les falaises sont moins érodées près de la vasière que du cordon car elles sont abritées par ce dernier (cf fig 17). Elles restent cependant très friables, leur versant est assez abrupte, couvert de lande et de pelouse.

La spatule est très large elle est composée principalement de dunes embryonnaires et d'une pelouse en forme de coussinet dégradée. Elle est cependant dégradée par la présence d'overwash. Les dunes bordières peuvent atteindre 1 à 2 mètre de hauteur. On a donc une spatule généralement stabilisée en période estivale. La spatule est interrompue au Nord-est par l'entrée d'un chenal (cf. fig 18). Ce chenal incise la spatule d'un mètre environ. En fin de chenal on retrouve principalement de la vase et en début de chenal des galets. La pointe de la flèche est la zone la plus végétalisée avec la présence d'oyat, mais aussi de jeunes pousses vertes entre les galets et le sable. La spatule isole un marais maritime, à faible hydrodynamisme.



Figure 17 : Chenal dans la spatule  
Straumeyri Photo : N. Martin



Figure 18 : Falaise friable, Straumeyri  
Photo : N. Martin



Figure 19 : Dune embryonnaire Straumeyri  
Photo : N. Martin

En bas de l'estran on retrouve principalement du sable fin, puis en milieu d'estran on a des graviers avec du sable (cf fig 20). En haut d'estran, on a la présence de galets grossiers. Le haut de plage est souvent colonisé par des dunes embryonnaires (cf fig 19) et de gros galets. Au niveau de la spatule on identifie une végétation dense, une pelouse avec des galets et du sable. Le revers de la

flèche est composé de galets plats. On peut aussi distinguer sur le revers de la spatule la présence micro falaise (cf. fig 16).

La flèche actuelle est composée de 3 flèches qui se sont développées successivement au cours du temps. La plus ancienne flèche est proche de la falaise, son topographie est faible, elle se compose au sommet de galets grossiers et d'oyat. Cette ancienne flèche est aujourd'hui protégée par la flèche actuelle. La deuxième flèche est parallèle à la plus ancienne, son sommet est constitué d'une lande et de pelouse. Et enfin la troisième flèche correspond à la flèche actuelle, toujours active. Ces différentes flèches ont été stabilisées par de nombreux végétaux et peuvent être interrompues par la présence de chenaux.



Figure 20 : Carte géomorphologique et sédimentologique de la flèche de Straumeyri

### e- Site 5 : Hvalfjordur

Le site 5 est dans un fjord au nom de Hvalfjordur (cf. fig. 22). Il s'agit d'une flèche qui s'étend sur 1 km avec un grand crochet distale de 1 km de largeur et à la base de 60 mètres de largeur. Un marais maritime est présent en arrière de la flèche. Il peut s'agir d'un double cordon, comme A Moign, A Guilcher, en 1967 qui décrivent la flèche de Sars comme une pointe triangulaire, et qui est en réalité formée de 2 cordons qui enserrant une lagune. Notre site peut correspondre à cette description il y a cependant une passe à l'est du cordon. Hvalf est une flèche composée de galets en haut de plage et sur la spatule ( cf fig 21). Le port de la ville est protégé depuis 1950 par une longue digue de 300 mètre de long (Sigurdur et Sigffryggur. 1995). Ces aménagements peuvent perturber le transit sédimentaire et par conséquent, l'apport sédimentaire sur la flèche.

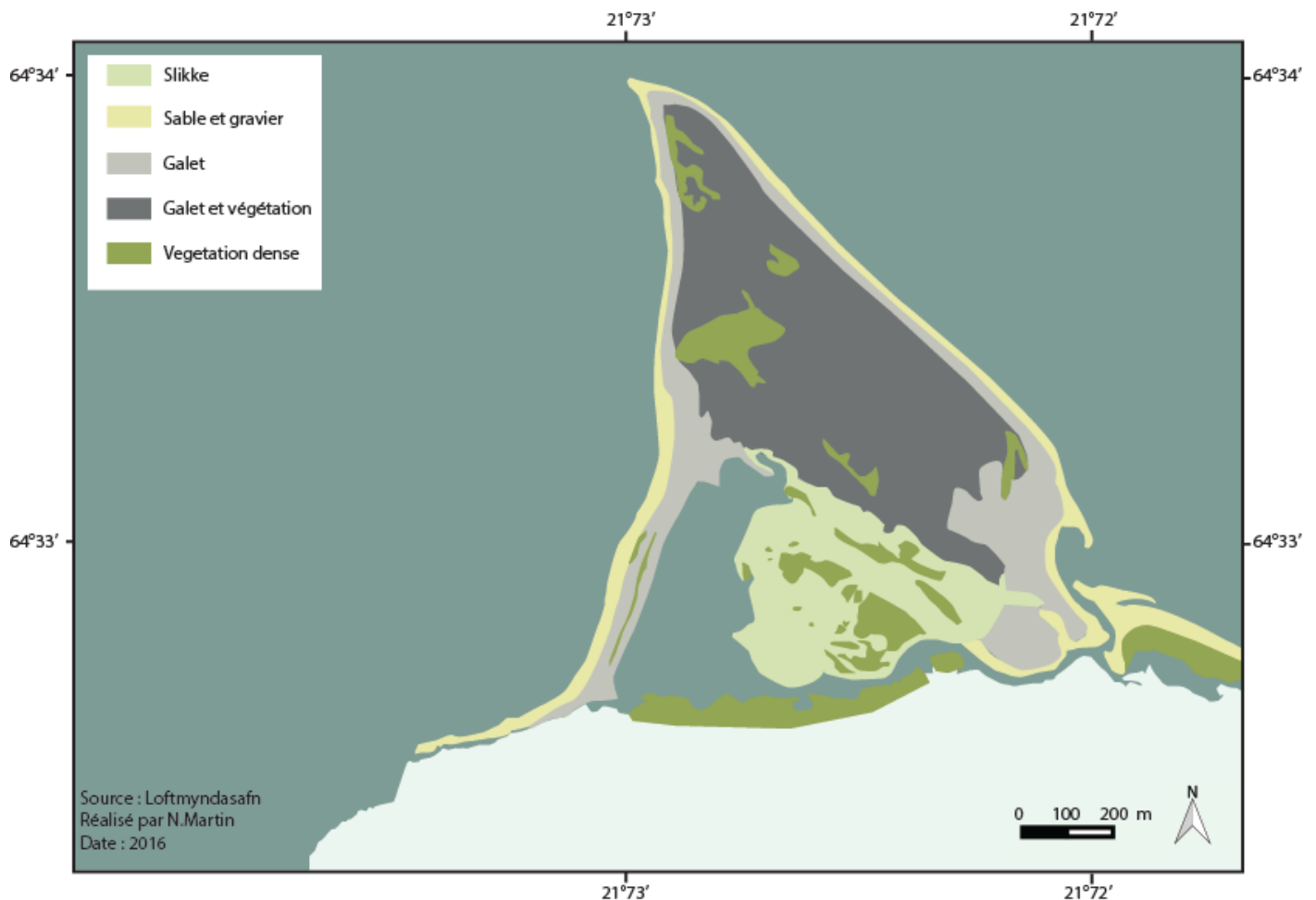


Figure 21 : Carte géomorphologique et sédimentologique de Hvalf

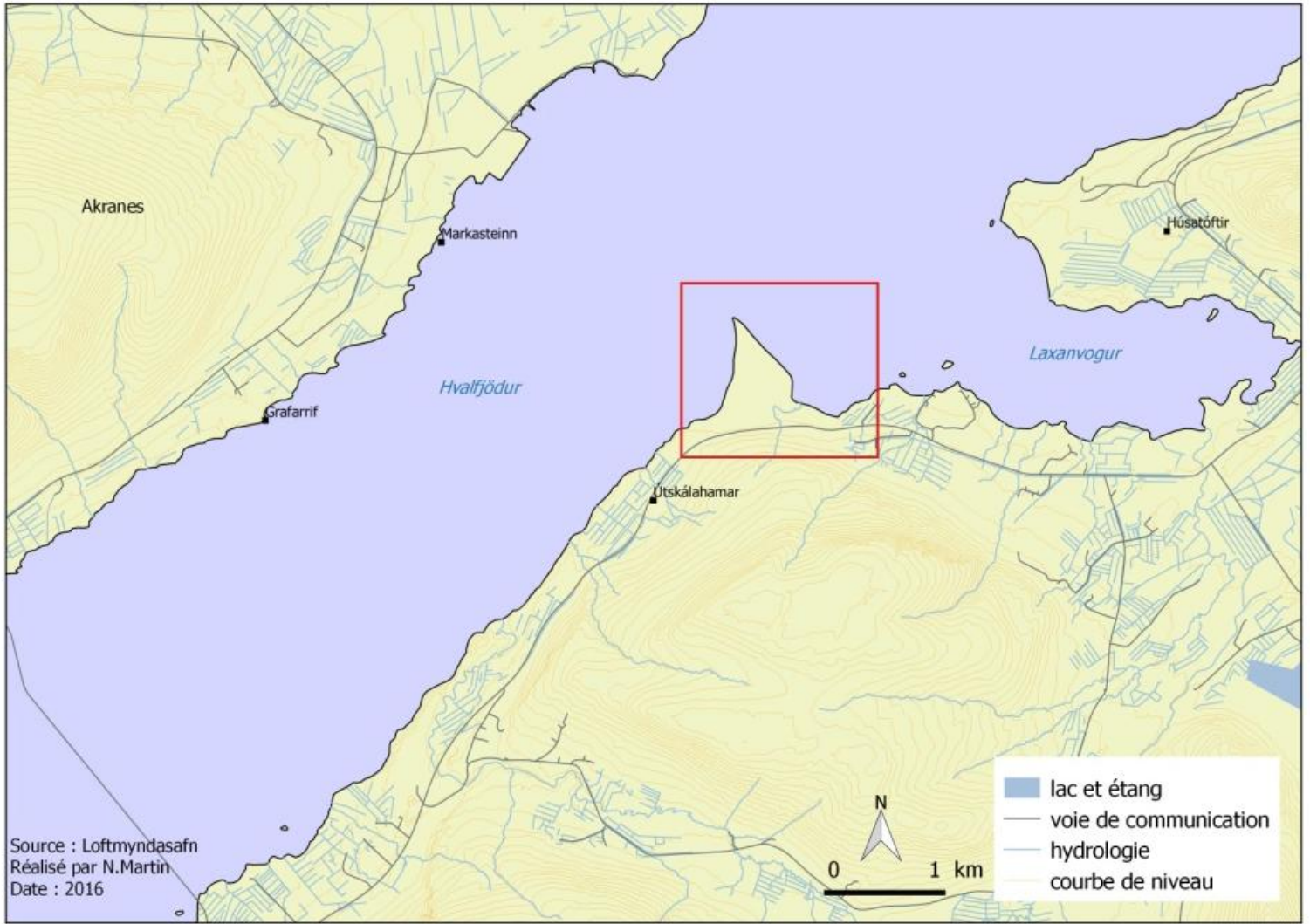


Figure 22 : Carte de localisation de Hvalf

## 2- Caractéristiques géomorphologiques des formes d'accumulations.

### 2.1 Structure morphologique d'après les images landsat :

On remarque que les flèches du Snaeffellness se forment en fond de baie là où l'action marine est moins importante. Le niveau de la mer a monté et rempli ces vallées glaciaires, on a une bathymétrie qui reste donc assez faible. Au Nord dans les fjords, on retrouve des cordons, là où les fonds sont plus faibles.

Dans la baie de Faxafloï on retrouve la présence de cordons, les fonds sont généralement faibles permettant l'accumulation sédimentaire. Les flux sédimentaires fluviaux et maritimes sont importants à l'intérieur des deux bras de mer vers Borganes et Akranes qui sont larges et peu profonds. On constate également la présence de nombreux îlots rocheux qui génèrent de la diffraction des houles.

Le profil 1 de la figure 23 est situé près du site d'Akar, on remarque une grande plaine, les altitudes sont inférieures à 70 mètres de hauteur, puis à l'Est du site d'Akar, on distingue un relief montagneux atteignant 370 mètres de hauteur. Le profil 2 de la figure 23 est situé près du site de Straumeyri, la flèche est située près d'un relief montagneux qui atteint près de 750 mètres d'altitude, la pente des versants est assez raide, puis le relief tend à s'aplanir proche de la mer.

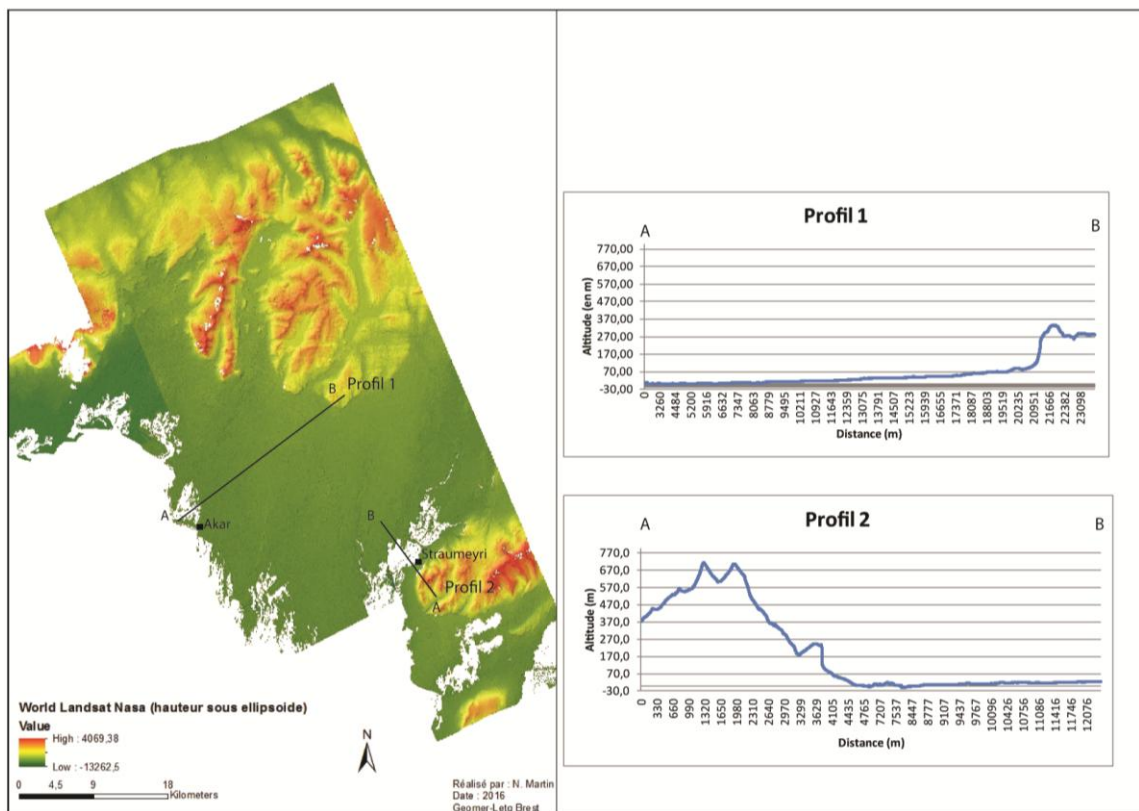


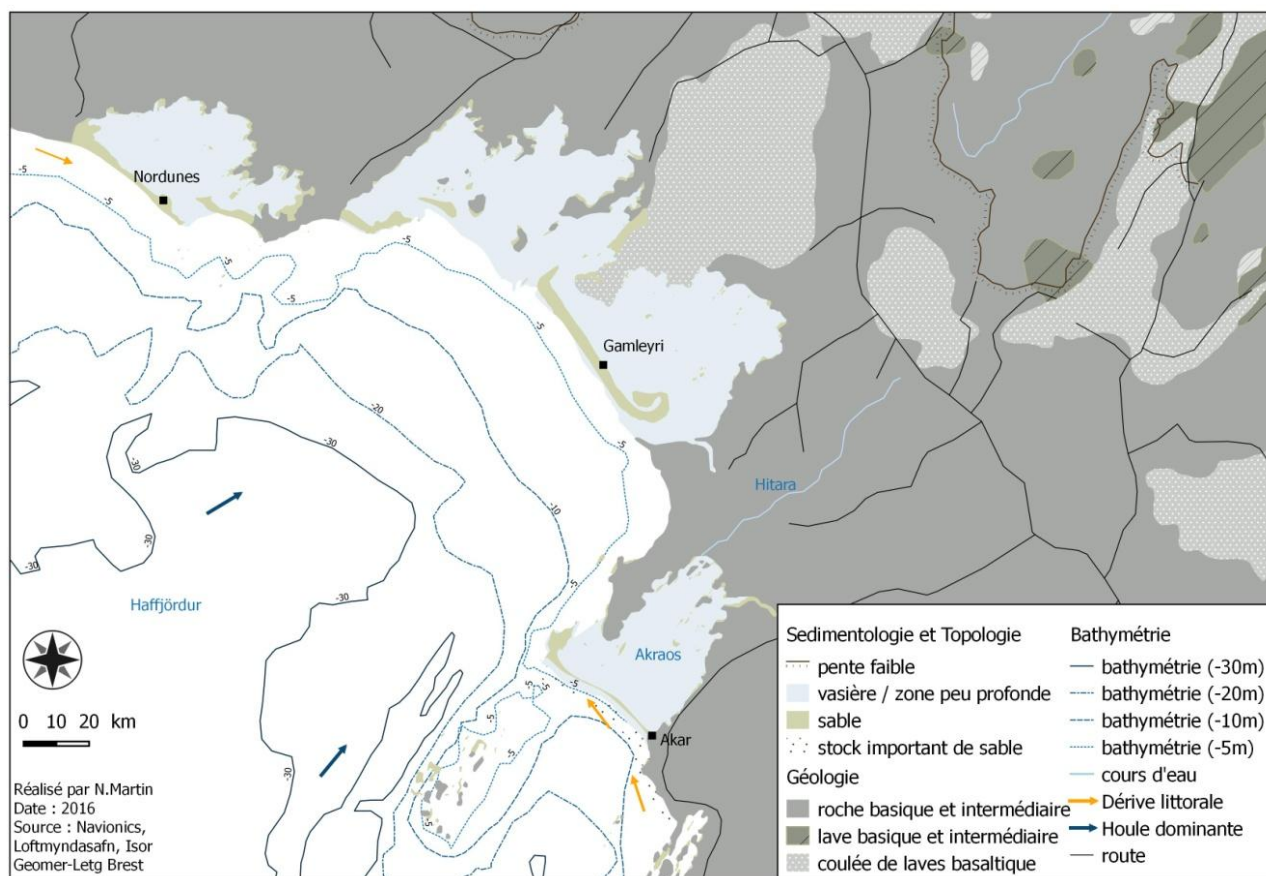
Figure 23 : Topographie par des images Landsat NASA du site d'Akar et de Straumeyri

## 2.2 Carte sédimentologique, géomorphologique et bathymétrique :

### Akar :

La bathymétrie est faible, on atteint des valeurs comprises entre -5 mètres et -10 mètres de profondeur (cf fig 24). Akar est situé près de grandes plaines, il n'y a donc pas de grandes ruptures de pente. Les plages situées à côté de ce site sont constituées majoritairement de sable. La dérive littorale est orientée du S-E vers le N-O. Ce cordon se cannibalise, les sédiments présents à la base se déplacent et s'accumulent près de la pointe rocheuse. Ce cordon fait face aux houles, la partie exposée est soumise à un fort hydrodynamisme. Ce cordon isole un marais maritime. Le substrat est de type roche basique. On observe également sur le terrain de nombreuses parcelles agricoles.

Figure 24 : Carte géomorphologique du secteur d'Akar à Nordunes



## Vikurrif :

Cette flèche barrant une baie est constituée majoritairement de sable (cf fig 25). Les pentes des reliefs montagneux sont très élevées, on a la présence de tabliers d'éboulis le long de ces montagnes. Ils peuvent constituer un petit aune source d'apports sédimentaires à la flèche. Mais l'apport principal de sédiments provient de falaises à l'ouest du site et se fait grâce à la dérive littorale qui est orientée de l'Ouest vers le N-Est. Cette flèche reste très exposée aux houles, mais celles-ci sont amorties par une bathymétrie assez faible. La bathymétrie est e à 10 mètres de profondeurs sur 5 km. Cette flèche est raccrochée à son extrémité à un enrochement qui bloque les transits entre le marais et la mer, cela provoque la formation d'un bassin.

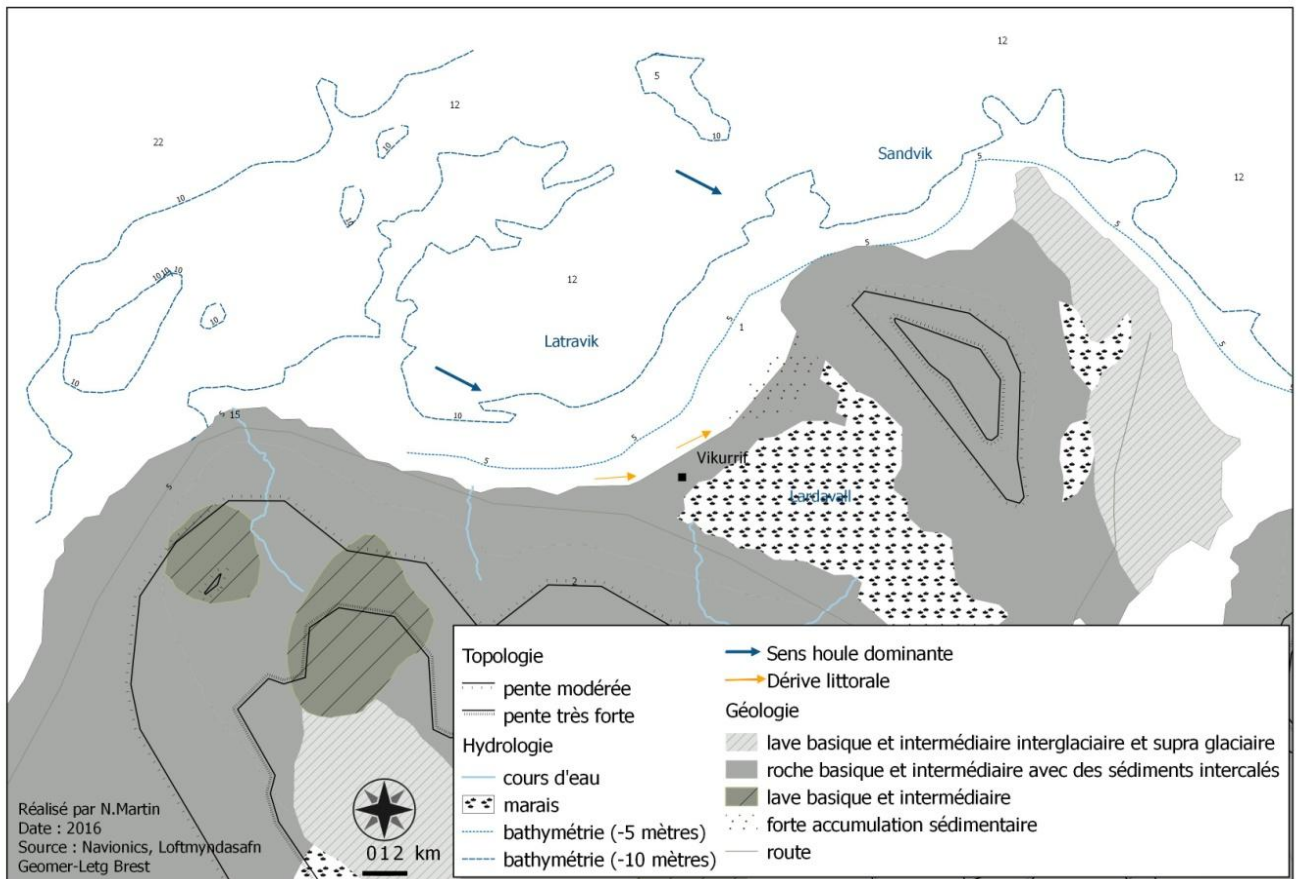


Figure 25 : Carte géomorphologique du secteur de Vikurrif

## Hvalf :

Hvalf est une flèche de mi-baie, elle se situe au fond du fjord d'Hvalfjordur, et est donc plus abritée des houles dominantes (cf fig 27). La dérive littorale s'oriente du S-O au N-E. La baie de Hvalfjordur est encaissée en son centre, les fonds atteignent -30 mètres de profondeurs. La pointe de la flèche de Hvalf est située dans cette zone de bathymétrie profonde, et est soumise à des courants plus importants que la partie proximale. La source principale de sédiments de cette flèche provient de falaises très friables et tendres. A l'ouest du site on constate une alternance de falaises plus ou moins érodées en fonction de la dureté de la roche, le tracé de l'escarpement de falaise présente donc une alternance de rentrants et de promontoires (cf fig 26). Cette morphologie de la falaise permet de retenir le sable et forme naturellement des « épis » au niveau des promontoires. A l'entrée de la baie on a la présence d'un tunnel reliant Reykjavik à Akranes. Cette flèche est également soumise à des actions anthropiques, on remarque la présence de zones d'extraction de sable et d'accumulation de ce sable en tas le long de la flèche.

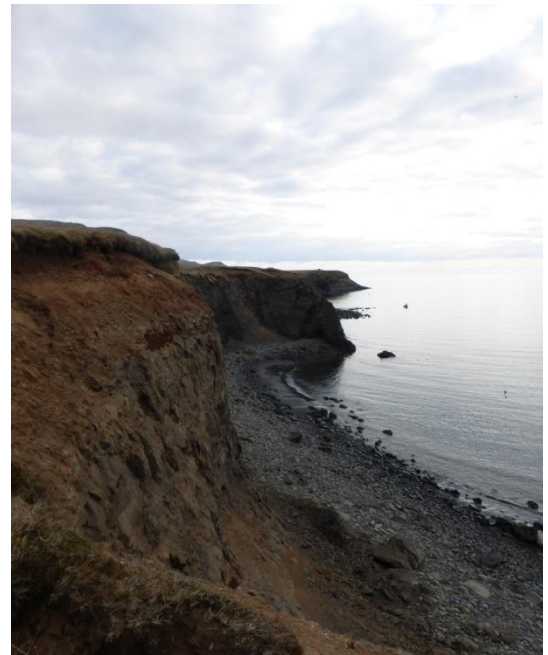


Figure 26 : Falaise meuble Hvalf

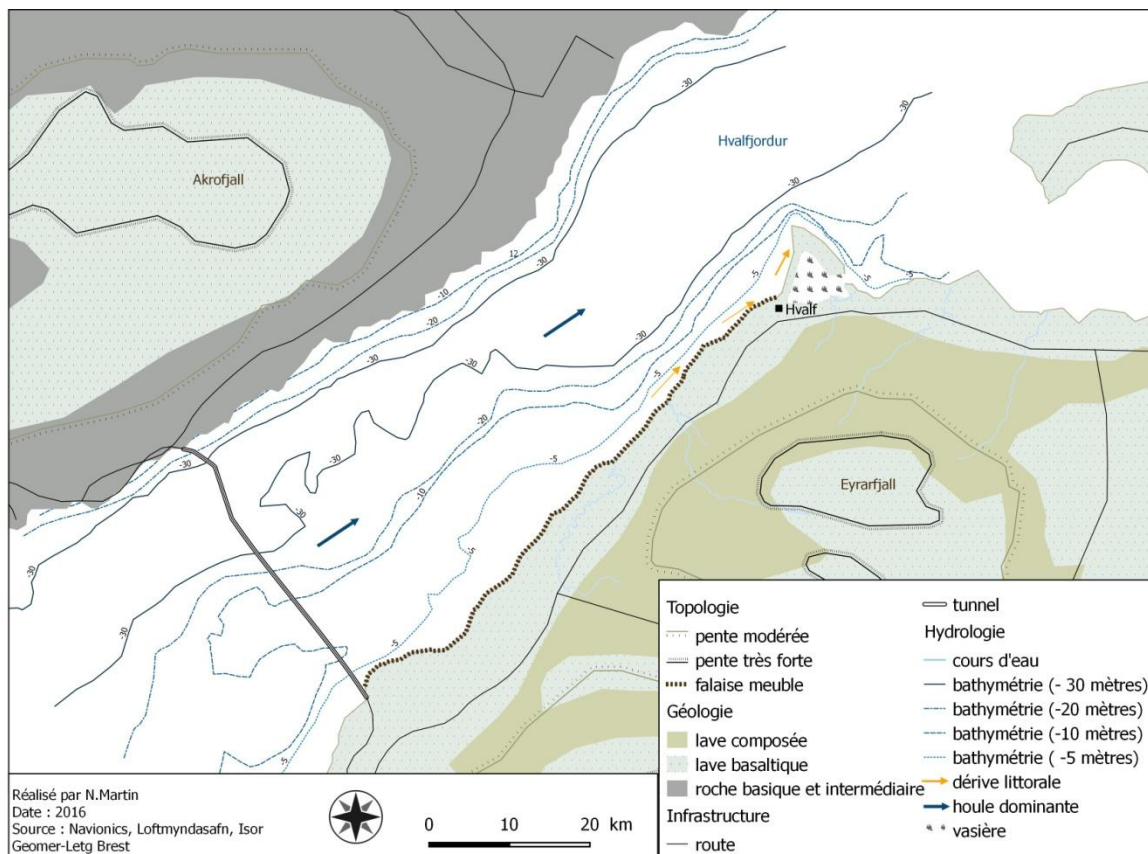


Figure 27 : Carte géomorphologique du secteur de Hvalf



### Akrastapar :

Les flèches et le cordon Akrastapar, Seljaoddi, Eiosstapar et Hjarðarbolsoddi sont situés dans la vallée peu profonde de Kolgrafarjádur. La profondeur varie entre 0 et -20 mètres (cf fig 28). Cette vallée est peu encaissée, s'inscrit entre deux reliefs montagneux très abrupts. Eiosstapar est un cordon situé en fond de vallée. Akrastapar, Seljaoddi et Hjarðarbolsoddi sont des flèches sub-parallèles. Le sens de la dérive littorale est N-O à S-E. La houle est Nord-Nord-Est. On remarque à l'est du site la présence d'une grande coulée de lave.

De nombreux aménagements comme des ponts, des routes, et des enrochements ont été construits près, voir sur certaines flèches. C'est le cas de la flèche de Hjarðarbolsoddi qui a servi de support à l'édification d'un pont et d'une route dans les années 1990.

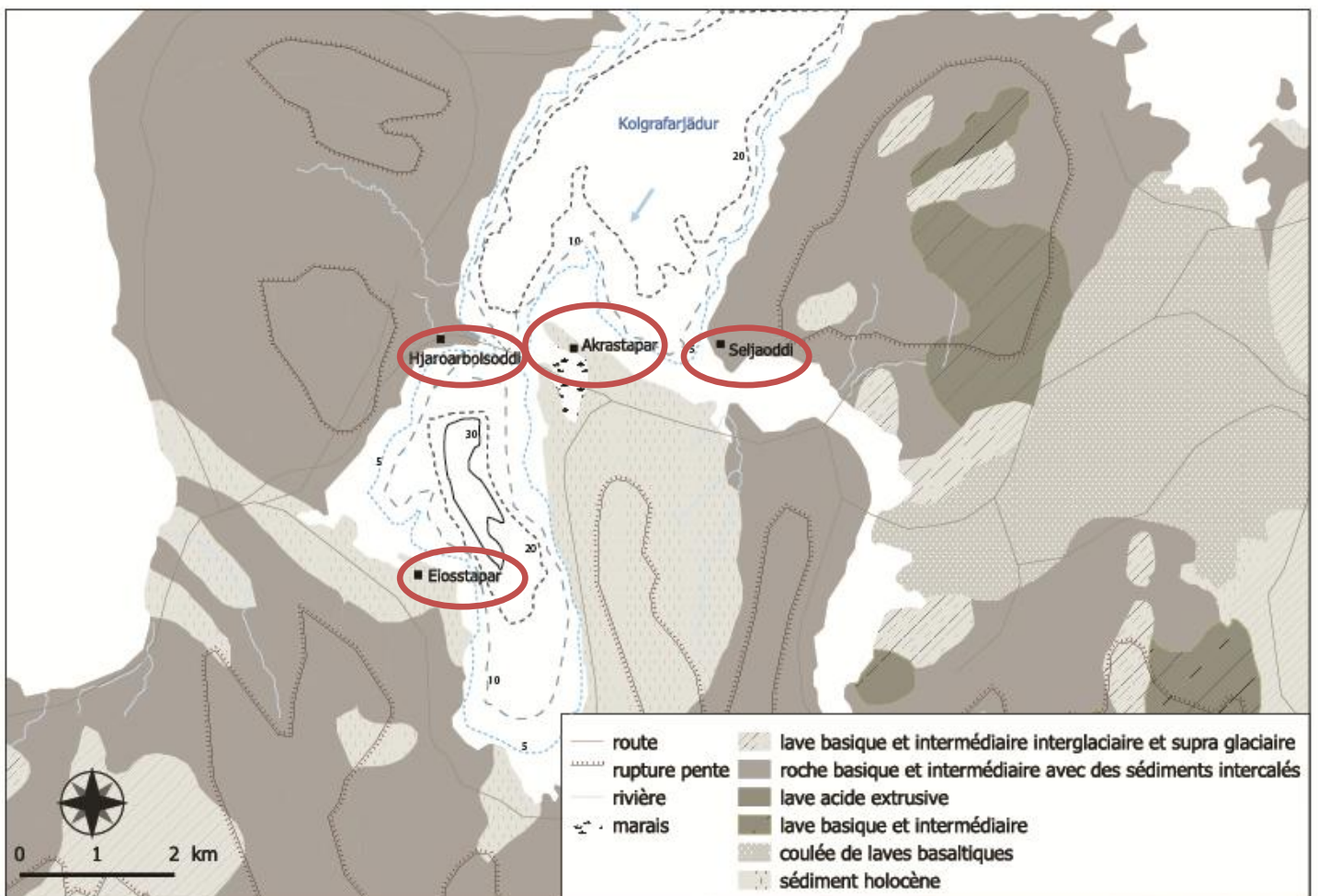


Figure 28 : Carte géomorphologique du secteur du fjord de Kolgrafarjádur

## Straumeyri :

La baie de Borgarfjordur est moins profonde que celle de Hvalfjordur (cf fig 29). Les fonds sont compris entre -3 à -5 m de profondeur le long de la flèche de Straumeyri. Cette flèche est située en contrebas d'un tablier d'éboulis et d'un relief montagneux très abrupt. Cette flèche sub-parallèle à la côte est influencée par une dérive littorale venant du S à N-E. On constate la présence de nombreux rochers à l'intérieur de cette baie qui créent des obstacles à la houle.

Plus au Sud, on a la présence d'une ancienne flèche qui se trouve près d'une falaise érodée. Les deux pointements rocheux basaltiques de part et d'autre de cette deuxième flèche sont plus résistants et ont donc été moins touchés par l'érosion différentielle. Cette flèche bloquée entre deux pointements rocheux n'est plus alimentée car elle se retrouve déconnectée des houles dominantes. Ne pouvant plus évoluer, elle a donc reculé et formé une seconde flèche parallèle séparée par un bassin de rétention. On remarque l'existence de ce phénomène par le dépôt de gros galets sur l'estran, en effet les particules fines ont été transportées plus facilement que les galets d'une masse plus importante. Sur l'accumulation de galets, on remarque la présence d'overwash, la flèche a donc été submergée. La flèche est interrompue par un chenal qui rejoint un cours d'eau au niveau de l'épionnement rocheux le plus au Sud. A ce niveau on identifie des deltas de flot et de jusant, cette flèche est donc peut-être toujours alimentée par un apport fluvial.

On découvre une autre flèche sableuse, plus grande, qui est également ancrée à deux promontoires rocheux. Elle est cependant non protégée des houles dominantes provenant de l'Ouest et son revers est abrupt du fait du cours d'eau qui la longe.

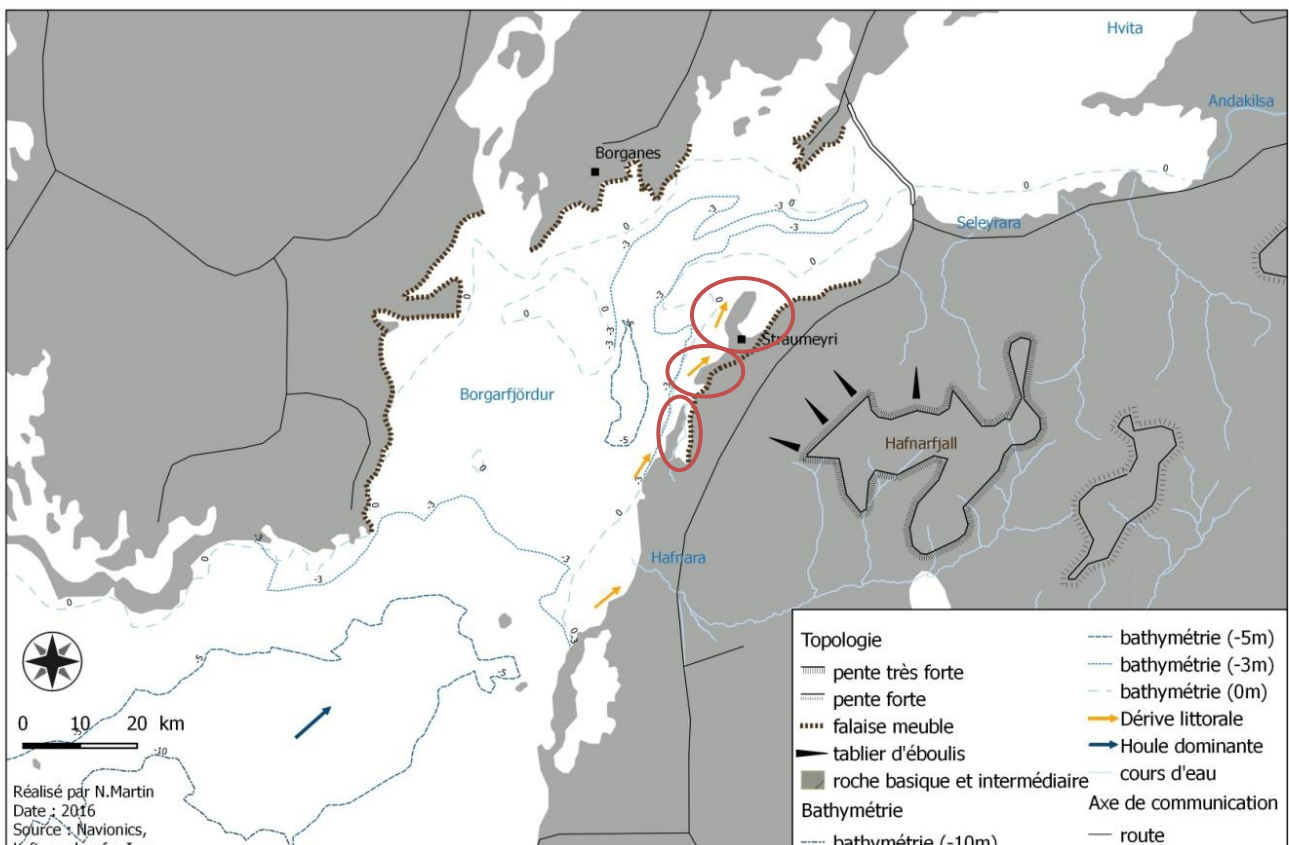


Figure 29 : Carte géomorphologique du secteur de Straumeyri

## **II- Les agents de la morphogène à l'échelle de l'Islande : acteurs de la mobilité des flèches et des cordons.**

### **1- La glace et les cours d'eaux**

Le quaternaire et avec lui l'alternance de phases froides et chaudes commence il y a 1.8 Milliards qui a entraîné un rebond isostatique (cf fig 30). Ce mouvement isostatique a contribué à la mise en relief des terres du Nord de l'Islande et a accentué l'effet de l'érosion. La glaciation de l'hémisphère Nord débute au début du Miocène, suite à l'orogénèse Save. Le dernier âge glaciaire est marqué par deux fins successives de fin de glaciation, la première est liée au réchauffement astronomique Tardiglaciaire (12,500 BP) et le deuxième réchauffement au Dryas récent (10,000 BP). En Islande, l'englaciation est maximale jusqu'en bordure de plateforme (-200 m), lors du Last Glacial Maximum.

L'Islande est une zone de référence pour l'étude de l'évolution du climat. La colonisation par l'homme fut tardive. Nos connaissances actuelles de l'histoire glaciaire Weichsélien de l'Islande se limitent à la fin de cette période (13,000 à 10,000 BP). L'histoire de la déglaciation de l'Islande est principalement basée sur des études morphologiques et stratigraphiques de moraines (Caseldine et al., 2005).

En Islande occidentale, Ingolfsson (1985) a conclu que les glaciers étaient étendus au-delà du littoral actuel dans la région de Borgarfjordur durant le 12000 B.P à 10.300 B.P. Cette région a connu deux épisodes glaciaires, l'événement Skipanes et l'événement Skorholtsmelar. Il a proposé que les glaciations en Islande occidentale centrale étaient considérablement plus étendues au cours des plus récentes périodes du Dryas. Les moraines des vallées tributaires du Borgarfjödur datent du Préboréal, ce qui suggère un début de glaciation durant la période de l'Holocène.

La Période de la transgression de l'holocène se situe juste après la période pléistocène, cette dernière se caractérise par une alternance de glaciation et de phases interglaciaires. La période de la transgression holocène intervient entre 15 000 et 20 000 ans BP, le niveau marin se situait à environ 120 voir 140 m plus bas qu'aujourd'hui. Il y a -14000 ans de grandes calottes glaciaires ont fondu, elles ont provoqué une remonté du niveau de la mer. La montée du niveau de la mer a été très rapide vers -11 000 où le réchauffement a été le plus vigoureux. Puis vers -6000-7000 ans le niveau de la mer s'est stabilisé, on parle alors de la transgression flandrienne. En Islande, le niveau marin aurait été inférieur de 2 à 4 m de l'actuel en 9000 à 3000 ans BP (Johnson, 1957).

Les sites 1, 2 et 3 sont situés au Nord de la limite de Köppen, il s'agit de la délimitation de l'isotherme de 10 °C pour la moyenne du mois le plus froid. En Islande, prédomine une activité volcanique, elle est la cause de Jökulhlaups. Lors d'événements volcaniques Islandais on peut avoir des pics de débits qui excèdent 100 à 1000 fois les pics de débits ordinaires dans les fleuves (Godard et André. 1999).

Au Nord-Ouest de l'Islande on peut avoir des phénomènes de gélifractions, des processus de cryoptation, de gélifluxion et de cryoplanation. Ces phénomènes peuvent impacter les formes morphologiques. On constate sur la flèche de Staumeysi la présence de cercles de pierres sur terrain plat et de sol strié en présence d'une pente ( cf. fig 31 et 32), signe de cette alternance gel et dégel.



Figure 30 : Cercle de pierre, Straumeysi  
Photo : N. Martin



Figure 32 : Sol strié, Straumeysi. Photo : N. Martin

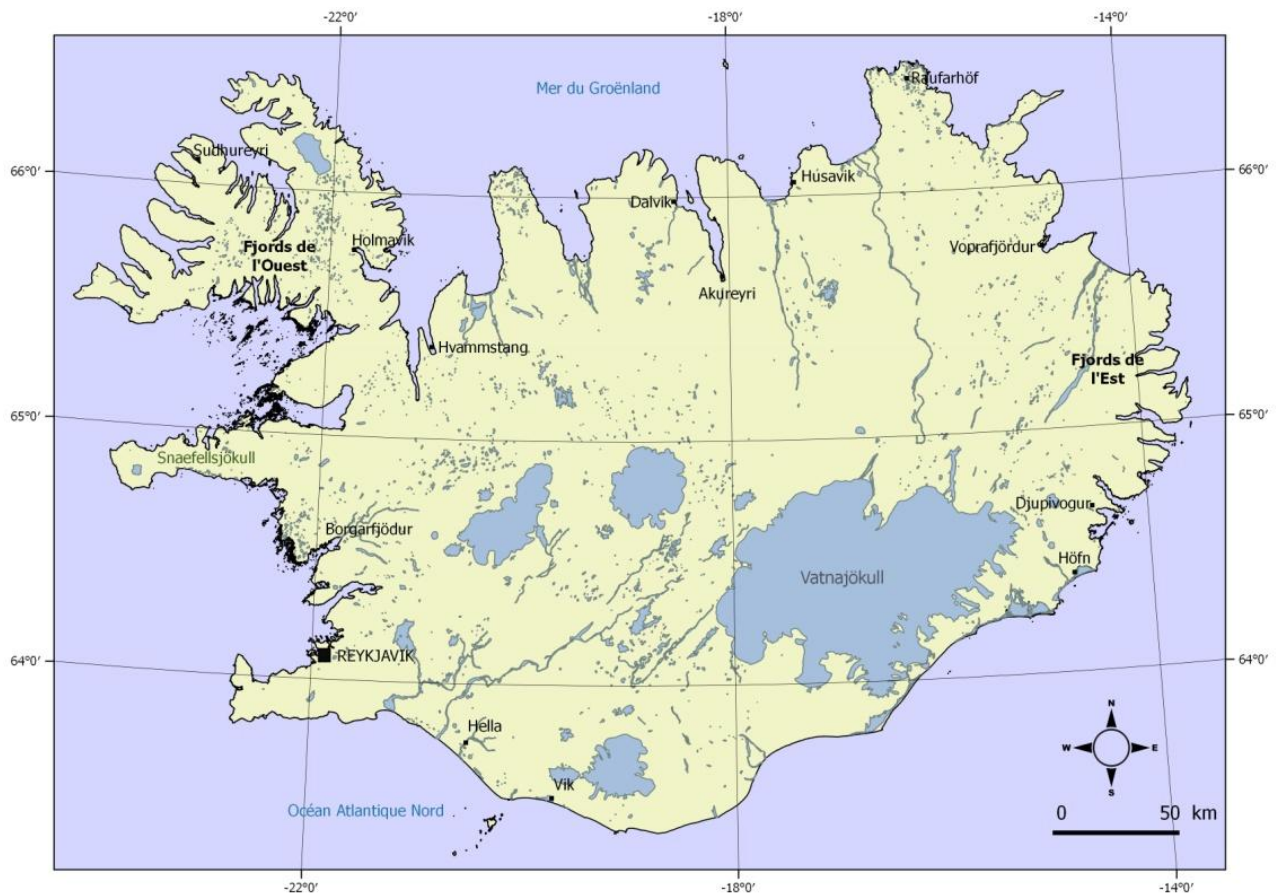


Figure 31 : Carte des cours d'eau et des glaciers d'Islande

## 2- La géologie en Islande :

On observe une hétérogénéité du substrat au niveau de l'Islande. En effet au Sud et Centre de l'Islande on retrouve des roches basiques, des laves basiques et intermédiaires d'âges différents (cf fig 34). Au Nord Ouest on retrouve les fjords islandais, les sols contiennent globalement des roches basiques et intermédiaires extrusives avec des sédiments âgés de moins de 3,1 Ma. On retrouve des formations holocènes le long des côtes et principalement au Sud de l'Islande. Ce matériel sédimentaire a pu être apporté par les courants le long de la côte Nord Ouest de l'Islande. Au niveau des sites 1 et 2 on retrouve la présence de laves basiques et intermédiaires d'âge récent (<10000 ans) et de lave acide et extrusive. Pour les sites de Akar et de Straumeyri on retrouve principalement des sédiments datant de l'holocène.

## 3- La marée et la houle

La houle est le principal agent de la morphogénèse des flèches de galets car elle fournit, lors du déferlement, l'énergie motrice suffisante pour enclencher un mouvement des sédiments grossiers sur l'estran. Elle contribue à l'alimentation des cordons, en faisant transiter les sédiments de manière longitudinal et transversal par rapport à la ligne de rivage. La présence d'indentation dans le tracé de la côte favorise alors la construction des formes d'accumulation qui, dès lors, tendent à s'allonger dans le sens du transit sédimentaire dominant en adoptant une forme de flèche à pointe libre (Stephan, 2008). L'accumulation s'effectue dans l'axe qui est perpendiculaire aux houles dominantes. Les galets, plus volumineux que le sable sont plus difficiles à transporter.

La marée participe de façon indirecte à la morphogénèse des flèches. Elle entraîne des fluctuations significatives du niveau d'eau et fait varier la ligne d'attaque des vagues qui entraîne des surcotes et donc une érosion des cordons littoraux. La marée génère des courants de flot et de jusant. Les marnages sont relativement faibles, dans la baie de Faxaflöi on a environ 2,5 m de marnage, dans la baie de Breidafjordur le marnage est de 2,6 m ([www.Vegagerdin.is](http://www.Vegagerdin.is)).

## 4- Le vent

Les directions du vent dominant en Islande sont des directions de l'est, NE-SE, et reflètent le passage de tempêtes au sud de l'Islande ( cf fig 35). Les vents d'ouest et du nord-ouest sont rares. À l'échelle régionale et locale, la direction et la vitesse du vent sont fortement influencées par la topographie locale. En règle générale, les vitesses de vent sont plus élevées dans les hautes terres que dans les basses terres côtières. Toutefois, la topographie locale peut canaliser les vents et provoquer des vents très élevés dans certaines vallées de plaine. La fréquence des tempêtes est plus élevée à l'automne et pendant les mois d'hiver. Les grandes calottes glaciaires, Vatnajökull, en particulier, peuvent générer des vents forts catabatiques.

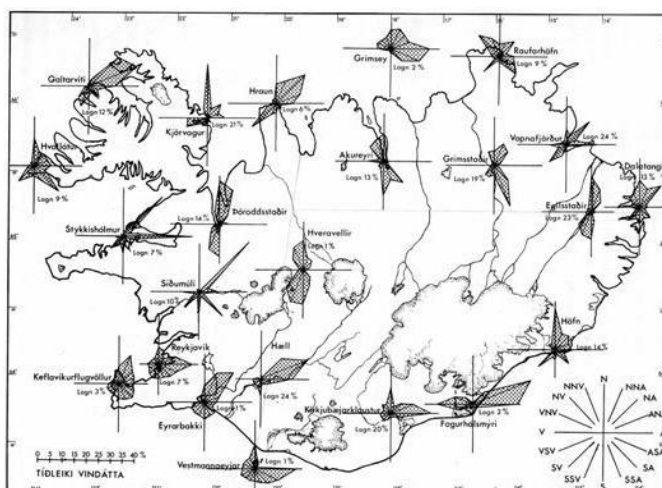


Figure 33 : Carte des vents : Einarsson (1976)

### III- Matériel et Méthode :

Durant mon stage, je suis partie en Islande pendant 4 semaines au mois de mai, les deux premières semaines m'ont permis d'acquérir une connaissance sur les sites de Ronan Autret, sur le cerf volant, sur son sujet d'étude traitant des blocs cyclopéens et mon sujet d'étude. Les 10 derniers jours ont été consacrés aux investigations de terrain sur mes sites d'études. Nous avons réalisé un vol au cerf volant sur le site de Straumeyri, en raison des mauvaises conditions météorologiques, nous n'avons pas pu utiliser le cerf volant sur les cinq sites d'étude pré choisis. Il n'y avait soit pas assez de vent, soit trop de vent et de pluie, ce qui empêche la prise de photographies. Nous avons donc réalisé sur le terrain :

-Pour le site de Vikurrif : 9 profils correspondant aux profils réalisés en 2015 + 4 analyses granulométriques + un relevé du trait de côte (végétation) + cheminement

-Pour le site Akrastapar : nous n'avons pas pu acquérir de la donnée, au mois de mai car cet espace est protégé pour la nidification des oiseaux à cette période.

-Pour le site Akar : Trait de côte au DGPS (limite végétation) de la base de la flèche jusqu'au platier rocheux.

-Pour le site Straumeyri : 60 analyses granulométriques réalisés + Cerf volant + DGPS pour la vasière + cheminement

-Pour le site Hvalf : Aucune donnée

Nous avons obtenu de la donnée auprès de l'université Islandaise, les orthophotographies et des images Landsat. Puis au Landsat Survey, nous avons obtenu des photographies aériennes sur la période allant de 1970 à aujourd'hui selon les secteurs. De retour en France, j'ai traité toutes ces données avec différents logiciels. Pour la numérisation du trait de côte et la réalisation des cartes, j'ai utilisé Arc Gis et Quantum Gis, pour le traitement de l'évolution cinématique du trait de côte j'ai utilisé Mobi TC. Le traitement de la donnée acquise au cerf volant et la réalisation des modèles numériques de terrain et orthophotographies s'est fait sous le logiciel Agisoft Photoscan.

#### 1- Instruments et protocoles des levés topographiques (DGPS), KAP (kite aerial photogrammétrie), Cadrats, Photogrammétrie

Tableau 2 : Matériels

Outils	DGPS	KAP	Photographie aérienne
<b>Fonction</b>	Levé topographique RTK (Real Time Kinematic)	Imagerie photogrammétrie numérique	Image à différente date qui permet de comprendre l'évolution le trait de côte
<b>Précision</b>	centimètre	centimètre	0.3 à 1 mètre
<b>Marge d'erreur</b>	+/- 4.5 cm (x, y) +/- 1.5cm (z)	5 à 10 cm	Distorsion de l'image
<b>Donnée</b>	Coordonnée (.Txt)	Modèle numérique d'élévation (MNE)	Image (raster)
<b>Logiciel de Post Traitement</b>	Arc Gis, Qgis, Surfer	Agisoft Photoscan	Géoréférencement : Arc Gis, Qgis Numérisation des traits de côte : Arc Gis, Qgis Traitement des traits de côtes : Mobi TC

### 1.1. Le kite aerial photography (KAP)

La précision des données obtenues par photogrammétrie numérique et de l'imagerie acquise au moyen d'un cerf-volant varie entre 5 et 10 cm. Il doit y avoir des cibles de contrôles pour que l'imagerie soit traitée par la suite. Ce procédé permet d'extraire un nombre élevé de points d'échantillonnage avec une grande précision (Smith et al., 2006). L'objet pris en photo varie en fonction de l'altitude et de la focale, il faut un total de recouvrement de 60 % de la largeur et de 40 % de la hauteur. Le cerf volant doit rester stable pour que la photo ne soit pas floue, il prend une photo toutes les 10 secondes. Pour l'ortho-correction il est nécessaire de poser au sol 15 à 30 cibles selon la superficie du site. Il s'agit de disques rouges visibles facilement sur la photo pour faire le post traitement par la suite. On mesure les coordonnées exactes x, y et z au milieu de la cible à l'aide du DGPS.



Figure 34 : Le cerf volant et son appareil

#### Avantages et inconvénients :

Le cerf volant (cf fig 36) est un bon outil pour l'analyse de la morphologie des sites. Cependant il s'agit d'un outil qui dépend fortement des conditions météorologiques, les fenêtres météorologiques pour acquérir de la donnée sont minces. Il était cependant indispensable pour cette mission d'établir un état initial des flèches et par la suite de procéder en tronçon là où la dynamique des flèches est la plus importante.

### 1.2 Le DGPS

Le suivi topo-morphologique est fondé sur l'acquisition de séries temporelles de mesures topographiques à l'aide d'un GPS différentiel dont les résolutions horizontale et verticale sont de l'ordre du centimètre. La précision horizontale et verticale est de plus ou moins 4.5 cm (en x et y) et de 1 cm (en z). La base est installée sur des points géo référencés (clous topographique). Les mesures sont rattachées à un système géodésique à partir d'une borne. Le modèle numérique de terrain (MNT) est un modèle en 3 dimensions (x, y et z) généré sous le logiciel Surfer 8 selon la technique du krigeage intégrant les lignes de rupture de pente.

#### Méthode du DGPS TOPCON :



Figure 36 : Mise en place de la station du DGPS



Figure 35 : Mesure des points de calage sur le site de Straumeyri au DGPS

### 1.3 La photographie aérienne

La photographie aérienne est également un bon moyen pour évaluer la cinématique du trait de côte. Dolan et al., (1978) s'est intéressé à la méthode de la photographie aérienne. Il a exposé les problèmes rencontrés tels que la différence causée par le changement de l'altitude de la plateforme de caméra, les variations de la caméra, la variation des radiales pour centrer l'image, la distorsion du relief par la photographie.

Les photographies aériennes sont les données les plus couramment utilisées dans la cartographie du littoral (Moore, 2000). Les photographies aériennes sont prises assez souvent, et peuvent fournir une information assez ancienne. Les photographies en noir et blanc sont apparues à la fin des années 1920, les photographies stéréo de meilleure qualité apparaissent dans les années 1940. La technique de photogrammétrie moderne utilise ces informations pour éliminer la plupart des distorsions de l'espace d'image soit en corrigeant l'image elle-même ou en appliquant une correction aux données (par exemple la position du littoral) collectées à partir d'une image (Moore, 2000).

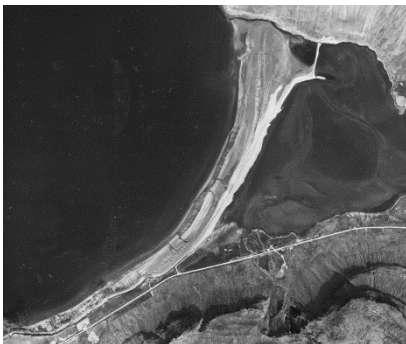


Figure 37 : Vikurrif 1978



Figure 38 : Vikurrif 1985

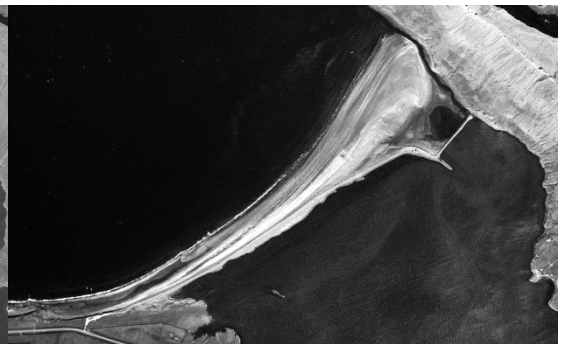


Figure 39 : Vikurrif 1991

### 1.4 Analyse granulométrique par la technique du cadrat

Nous utilisons un cadrat de 30 cm, on le pose au sol et on relève sa position au DGPS (cf fig 42). Il faut par la suite le prendre en photo le plus précisément possible. Le but est de réaliser sur l'ensemble de la flèche des cadrats pour analyser la granulométrie des différents milieux, par exemple en bas de plage, milieu de plage, haut de plage, sommet, spatule, dune... Le but étant par photo interprétation de déterminer le recouvrement granulométrique et les dimensions (largeur et longueur) des galets présents.



Figure 40 : Cadrats



## **2- Constitution d'une base de données SIG et réalisation des cartes**

Une des sources pour trouver des fichiers shapefiles (shp.) sur l'Islande est sur le site internet du Landmaelingar islands. Dans un premier temps il m'a fallu traduire les fichiers Islandais en français, on peut donc récupérer les courbes de niveau, l'hydrologie, lacs et étangs, les ruisseaux, les routes, la toponymie et la ligne du trait de côte. Ces données du Landmaelingar island datent de 2014. Une autre source de données est disponible sur le site de Náttúrufræðistofnun Íslands. Il met à disposition des couches SIG sur la géologie de l'Islande de façon assez schématique. Grâce à ces couches disponibles, il est possible d'effectuer des cartes de localisation de façon plus rapide sur Quantum Geographic Information System (QGIS). Le deuxième travail a consisté à réaliser un atlas par sites. Le but était de réaliser une ou plusieurs cartes par site et de répertorier les éléments données morphologiques et divers éléments observés sur des photographies aériennes. Pour cela nous utilisons une photographie aérienne et nous établissons un géoréférencement entre la couche shp. du trait de côte établi par l'IGN Islandais et notre photographie en conservant bien la même échelle de numérisation et le même système de projection.

## **3- Méthode d'analyse et de traitements des traits de côtes**

La ligne de référence du trait de côte correspond souvent à la limite de la végétation supratidale (Stephan., 2011 ; Thieler et Danforth., 1994). Cette méthode est utilisée lorsque le cordon ou la flèche possède une végétation sommitale, sinon la base du revers est retenue comme base de référence (Stephan., 2011). Les photographies aériennes sont au préalable présélectionnées sur le site Landmaelingar islands de l'IGN islandais: <http://gis.lmi.is/ornefnasja/> puis il a fallu se rendre sur place pour les obtenir.

### **3.1 Arc Gis : Géoréférencement des photographies aériennes :**

Nous avons utilisé des anciennes photographies aériennes, elles datent de 1970 à aujourd'hui. On a environ 3 à 4 dates pour chaque site. J'ai réalisé un géoréférencement sur 74 photographies et numérisé 61 traits de côte sur 12 sites. L'erreur quadratique moyenne des photos ne doit pas excéder 0.5 de préférence. Cette erreur correspond à la différence entre la position finale du point d'origine par rapport à l'emplacement réel spécifié. Le géoréférencement s'effectue sous le logiciel ArcGis, le but consiste à créer des points de contrôle et à ajuster la photo. Le résidu doit être inférieur à 0,5 et la transformation choisie est polynomiale de 2<sup>nd</sup> ordre. Par la suite nous numérisons le trait de côte.

### **3.3 Mobi TC**

Pour utiliser le logiciel Mobi Tc je me suis aidé de la notice de Mobi tc sur WikHydro et d'une personne au Cerema. Il existe 6 étapes pour réaliser une carte sous Mobi Tc et récupérer de la donnée. Ce logiciel libre permet de prendre en compte plusieurs traits de côte et génère automatiquement une enveloppe et la ligne de base contrairement à DSAS par exemple. Il existe différentes étapes sous Mobi TC, il faut tout d'abord renommer les traits de côtes selon un langage spécifique, créer une ligne de base et des traces, créer une intersection entre les traits de côtes et les traces et enfin créer un graphique d'évolution du trait de côte.

## **4- Traitements des données topo-morphologiques par l'utilisation du logiciel Agisoft Photoscan**

Dans le logiciel Agisoft Photoscan il existe quatre étapes. La première étape consiste à ajouter les photographies prises par le cerf volant dans le logiciel. La deuxième étape permet de créer des

repères sous Photoscan pour avoir la position des cibles. La troisième étape est le traitement des photos par lots en haute résolution, il faut présélectionner les actions suivantes : « Alignement »- « Optimiser l'alignement »-« Nuage de points »-« Maillage »- « Ajouter une texture ». La dernière étape est l'enregistrement du rapport, de l'ortho photographie et du MNT.

#### IV- Evolution du trait de côte des formes d'accumulations

##### 1- Résultats liés au Trait de Côte : 12 sites

Les traits de côte ont été mesurés directement sur le terrain pour l'année 2016 au DGPS. Il existe une marge d'erreur de l'ordre de plus ou moins 1 m concernant les résultats. Elle est relative à l'erreur lors de l'opération du géoréférencement des photographies anciennes, de l'erreur générée par le DGPS lors du terrain et de l'erreur liée au pixel de la photographie aérienne. La résolution des photographies aériennes est de l'ordre de 0,50 m à 0,70 m.

##### a) Akrastapar :

Akrastapar est un site d'intérêt patrimonial, en effet il s'agit d'une flèche préservée pour sa faune. On remarque que ce cordon est assez stable entre 1979 et 2008 (cf fig.50). Globalement on remarque une nette érosion de la partie distale de la flèche, on constate un recul d'environ 7 mètres. Mais concernant la partie interne de la base du cordon qui est protégée des houles, on constate une accrétion d'environ 6 mètres entre 1979 et 2008. Pour la partie exposée aux houles, on remarque qu'en 1983, on a eu une forte accumulation sédimentaire s'élevant plus de 14 mètres par rapport à 1979. Puis ce stock a diminué mais il reste toujours positif si on compare 1979 à 2008. On a une avancée du trait de côte de l'ordre de 4,5 m (cf fig 51). Ce cordon reste assez stable, mais a pu subir des changements liés à des aménagements. En 1991 il n'existait toujours pas de pont et d'enrochements près de ce cordon. Dès 2008 on aperçoit la présence d'un pont et d'un enrochement. Ces nouveaux aménagements ont généré une nouvelle circulation des courants à l'intérieur de ce milieu.

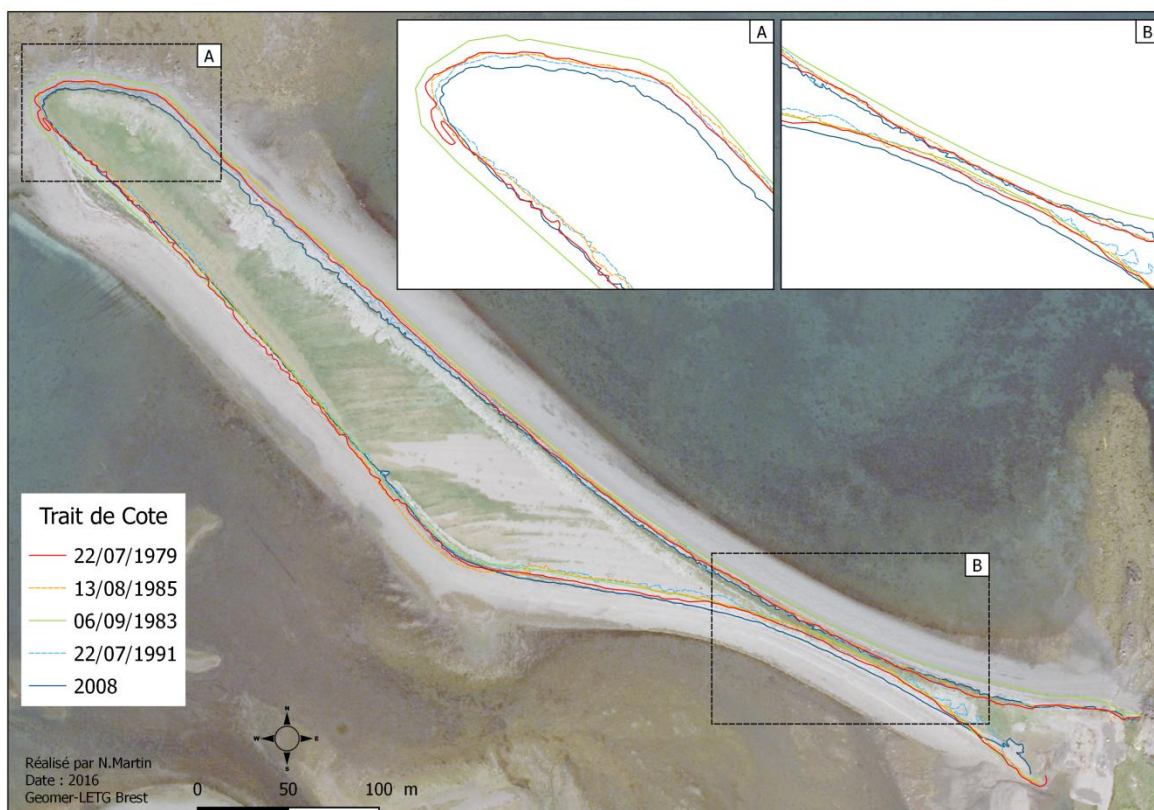


Figure 41 : Traits de côte du site Akrastapar

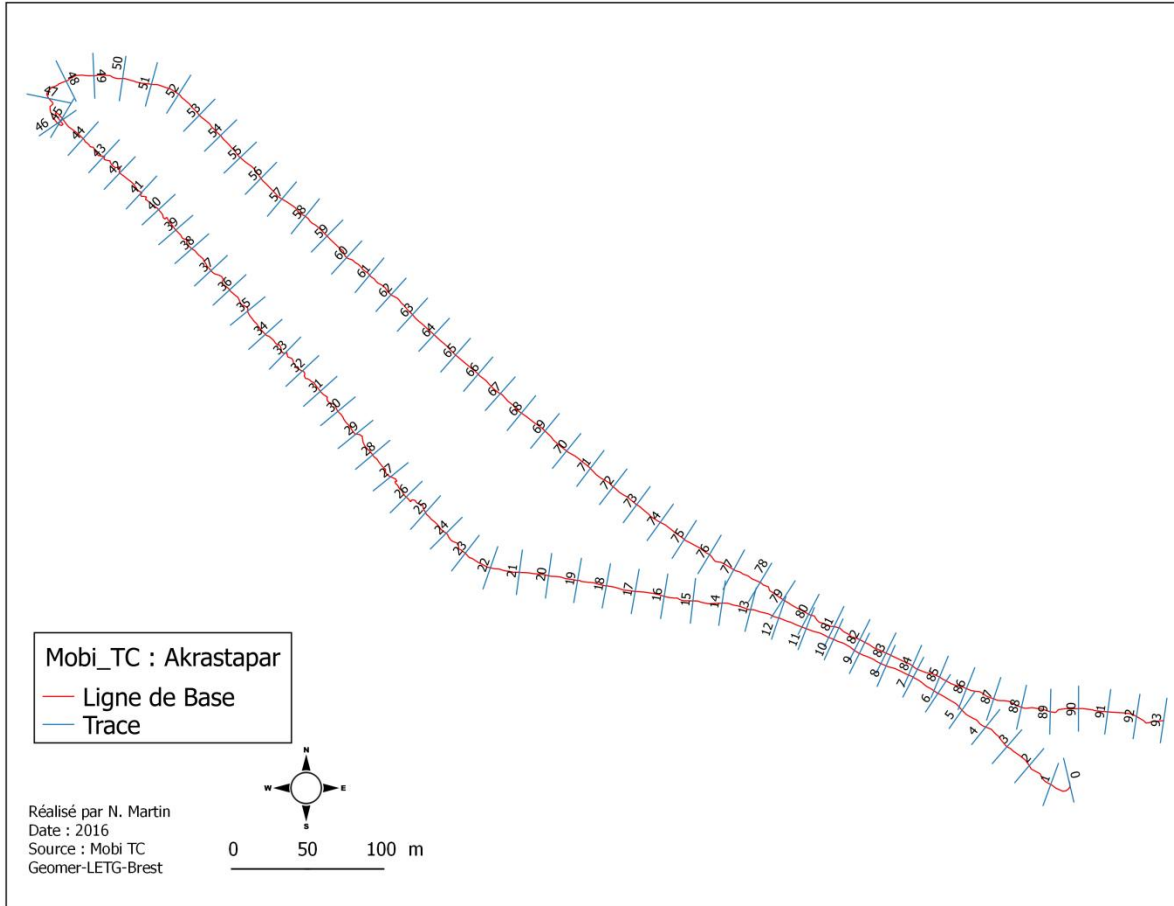


Figure 42 : Trace Akrastapar (MobiTC)

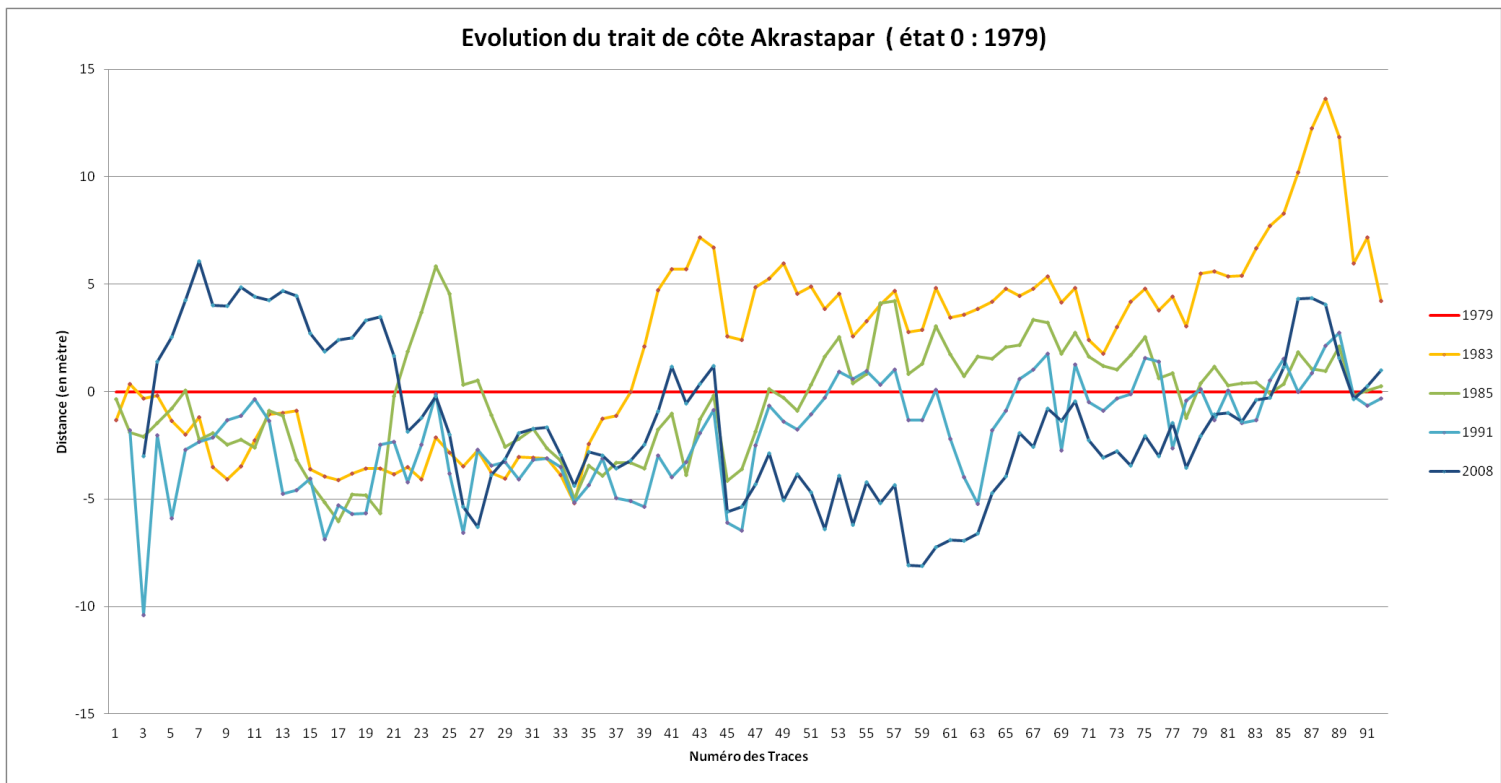


Figure 43 : Evolution du trait de côte du secteur d'Akrastapar entre 1979 et 2008.

b) Vikurrif

Vikurrif est globalement en forte accrétion, entre 1978 et 2014 le trait de côte a avancé de plus de 60 mètres, en 1991, il a atteint plus de 87,4 mètres par rapport à 1978. Au niveau de la base de la flèche on remarque une érosion de 5 m entre 1978 et 2014 (cf fig 53, 54, 55). On a ici une cannibalisation de la flèche, les sédiments distaux de la flèche migrent vers la partie proximale. L'édification de cette flèche est liée un aménagement, on observe un enrochement sur tout le long de la flèche et une digue au bout de cette flèche séparant la mer d'une lagune. Cet aménagement fut construit pour une exploitation aquacole, on remarque encore aujourd'hui la présence de différentes cages d'élevage de poissons. Cet aménagement a permis de stabiliser la flèche, sur la base de la flèche, on distingue bien les blocs de basaltes. Au contraire sur la pointe de la flèche on ne distingue plus l'enrochement, celui-ci a été recouvert par des dunes. On a donc sur la partie proximale de la flèche peu de sable alors que sur la partie distale. La digue piège les sédiments, ils vont par la suite s'accumuler sur la pointe de la flèche.

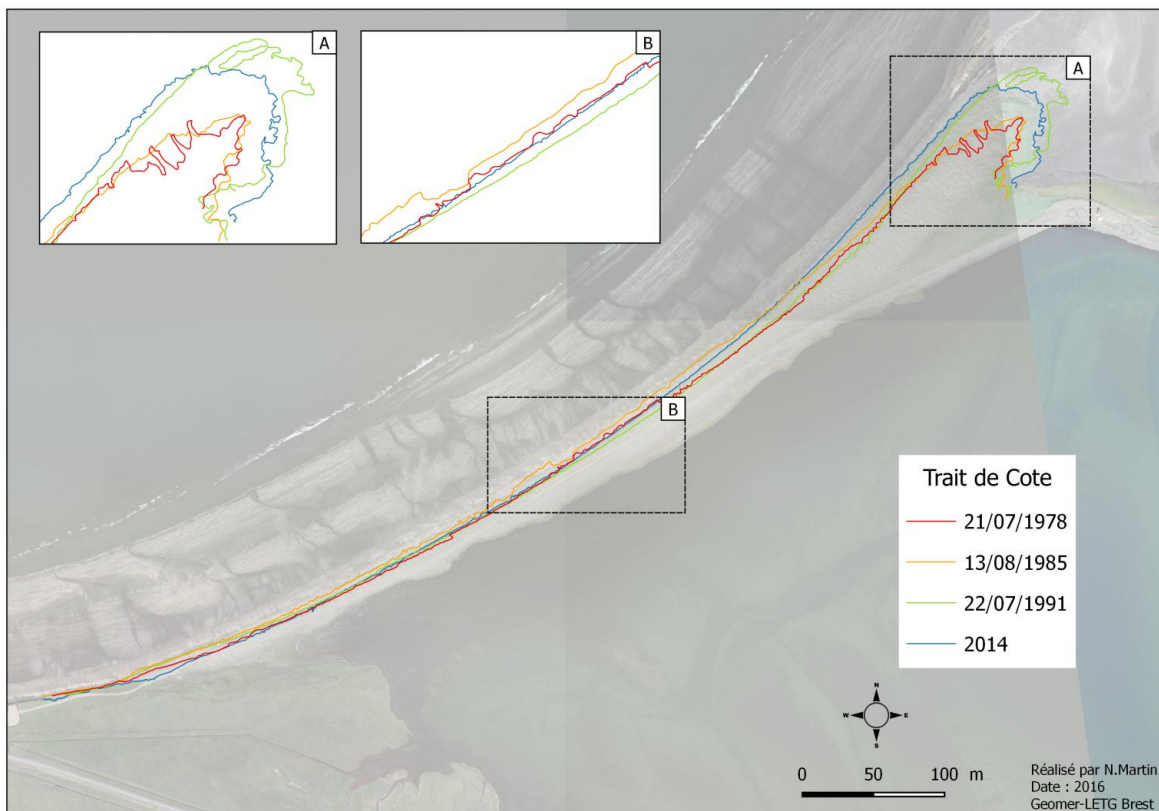


Figure 44 : Trait de côte Vikurrif

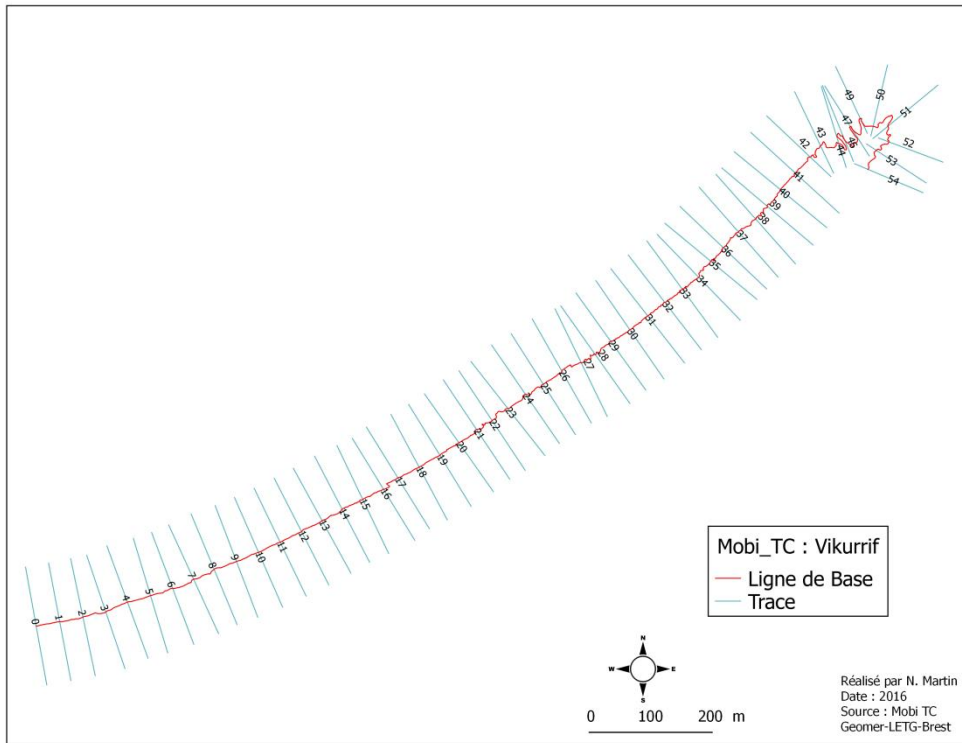


Figure 46 : Traces Vikurrif (MobiTC)

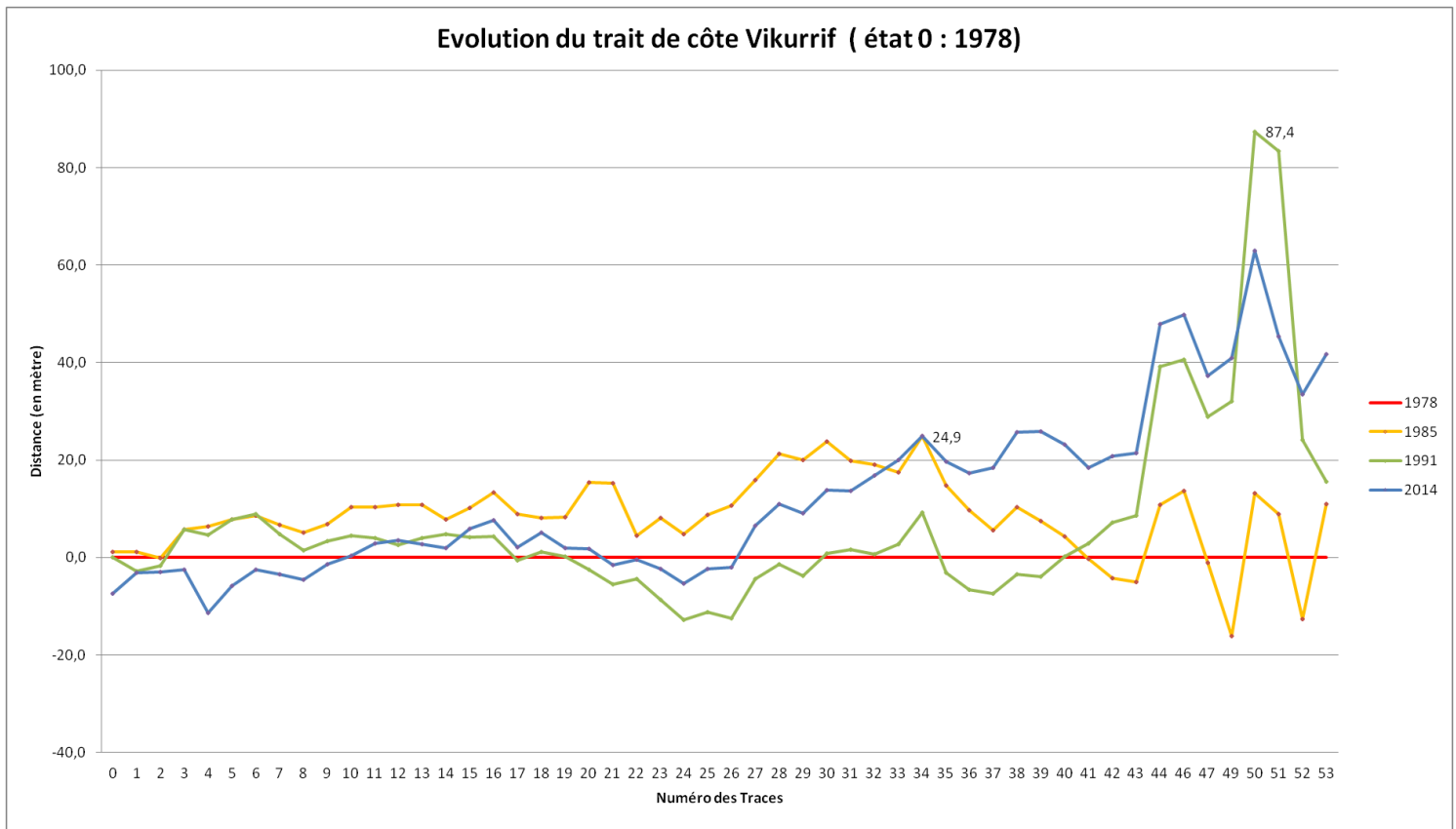
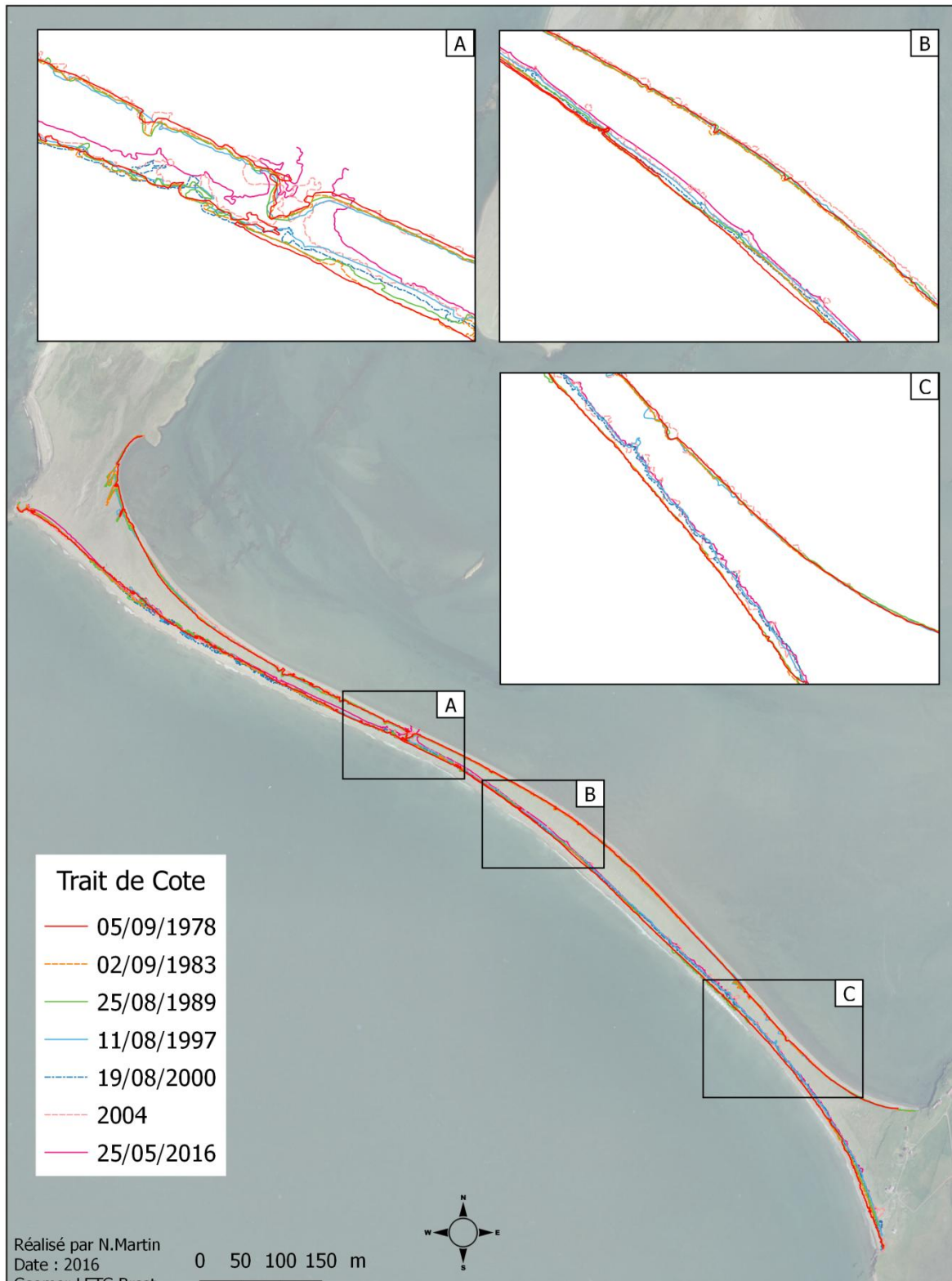


Figure 45 : Evolution du trait de côte de la flèche de Vikurrif entre 1978 et 2014

c) Akar

Ce cordon a subi une forte érosion entre 1978 et 2016, on observe l'amorce de nombreuses brèches. Dans la figure A (cf fig 56), on remarque que l'ouverture de la brèche a eu lieu dès 2004. On a un recul de plus de 49,4 m de 1978 à 2016. A l'inverse, on constate une accrétion près du musoir au niveau de la trace 94 (cf fig 57 et 58), cette avancée du trait de côte est de l'ordre de 27,2 mètre en 2008 par rapport à 1978. L'indicateur du trait de côte choisi sur ce site est la végétation, il reste fiable.



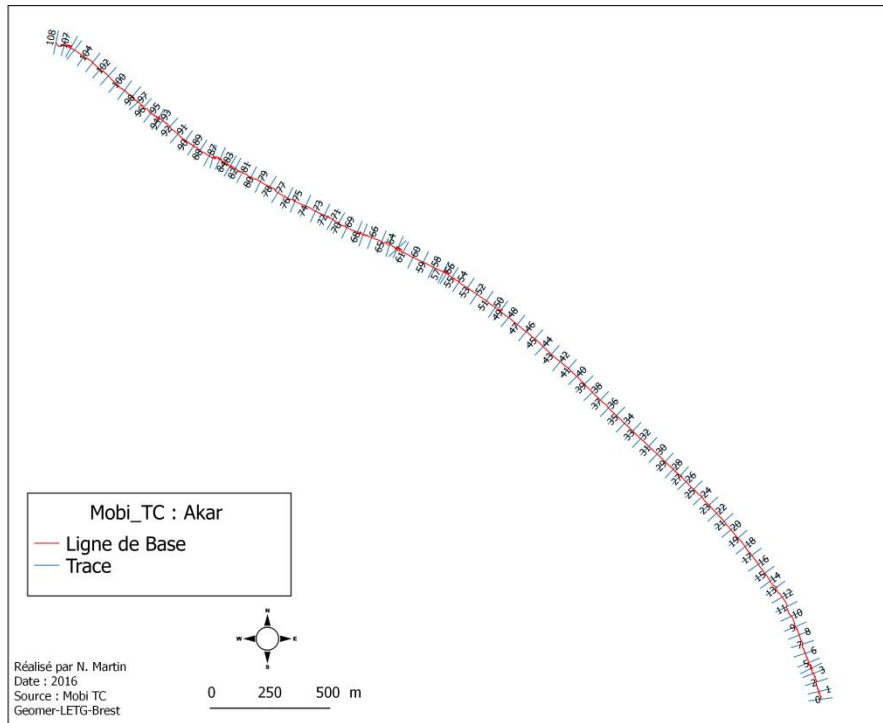


Figure 49 : Trace Akar ( Mobi TC)

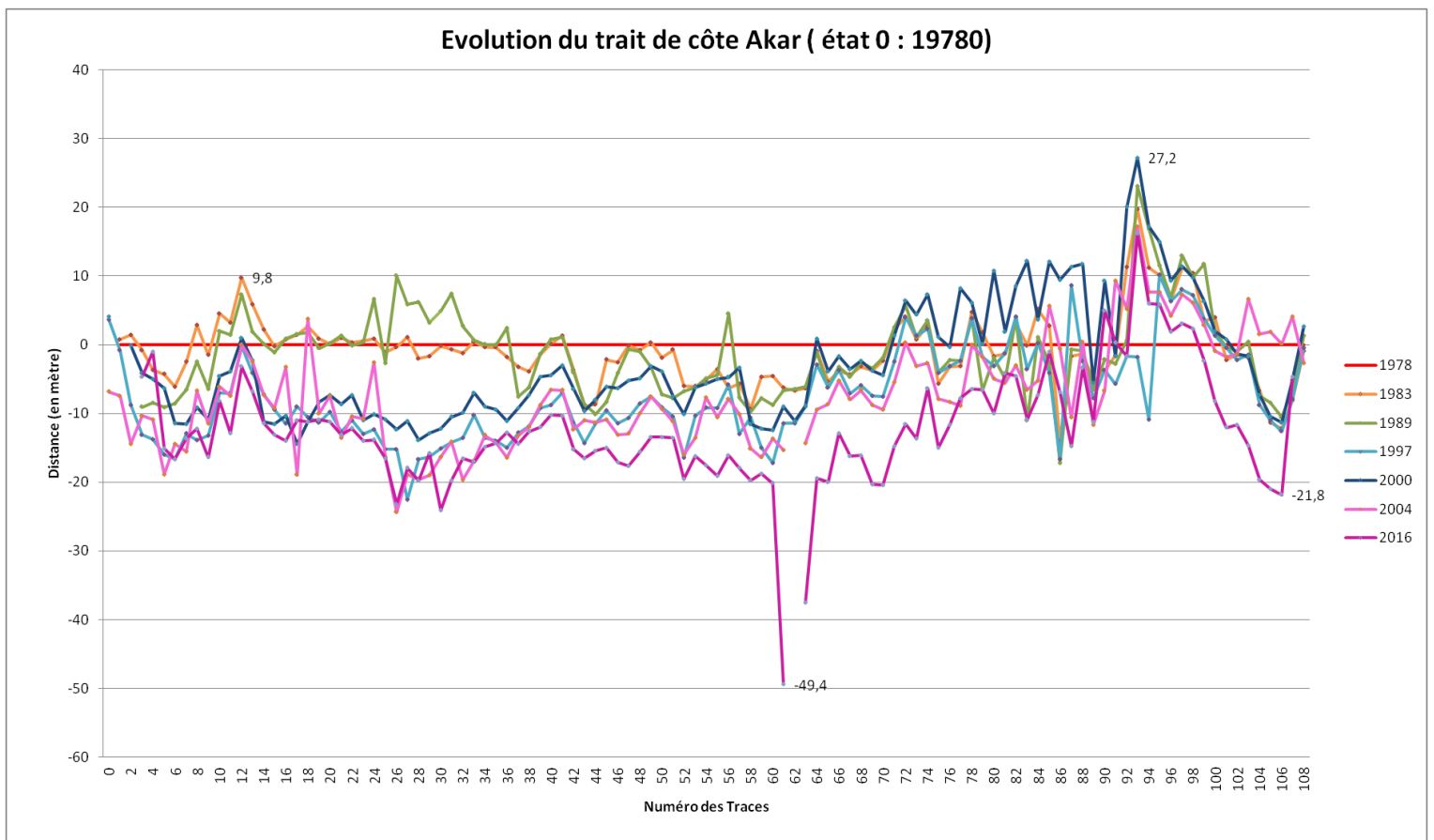


Figure 48 : Evolution du trait de côte du cordon d'Akar entre 1978 et 2016.

d) Hvalf

Cette flèche de mi-baie est soumise à l'action des houles marines, du vent ainsi que des nombreux cours d'eau. On a de nombreux échanges sédimentaires entre le marais maritime et la mer. En fonction de la marée, des conditions hydrologiques, on a des formes d'accumulation qui se créent à cette embouchure, on peut par exemple observer différents delta de flot et de jusant. Il est difficile d'observer une tendance générale sur l'évolution du trait de côte, on constate globalement une érosion de la flèche de 1985 à 2002 (cf fig. 59). Sur la trace 8 (cf fig 60) le trait de côte a reculé de 25,5 mètre entre 1985 et 2002. Sur la trace 24 (cf fig 61) le trait de côté a avancé de 22,6 mètre entre 1985 et 2000. Nous constatons donc sur la partie exposée de la pointe de la flèche une érosion et sur la partie abritée de la pointe de la flèche une accrétion sédimentaire.



Figure 50 : Les traits de côte Hvalf



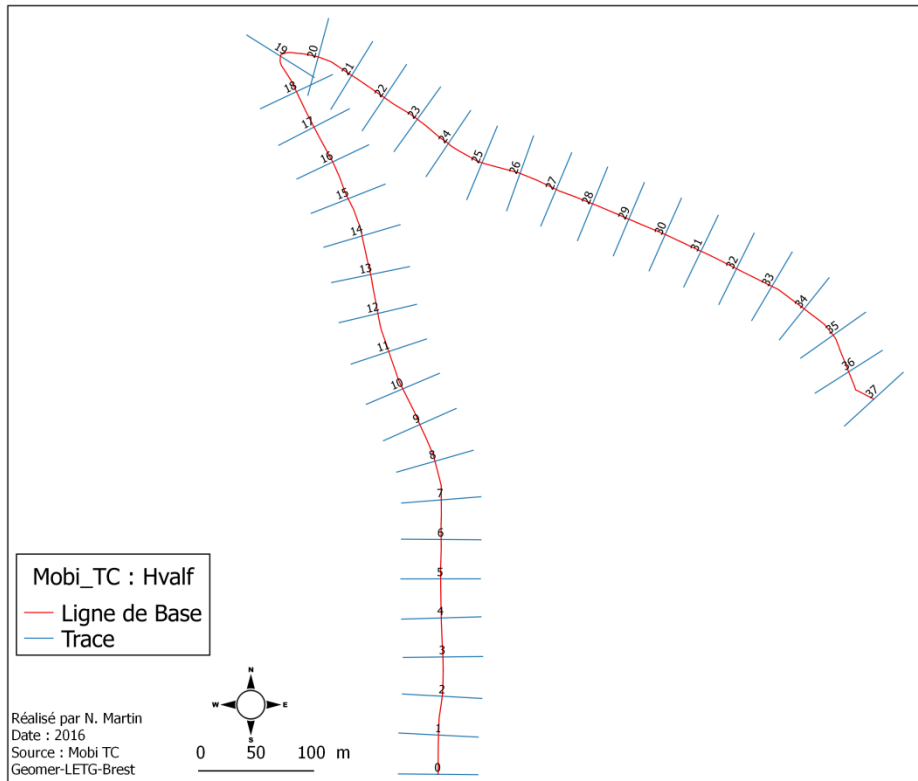


Figure 51 : Trace sur le site Hvalf

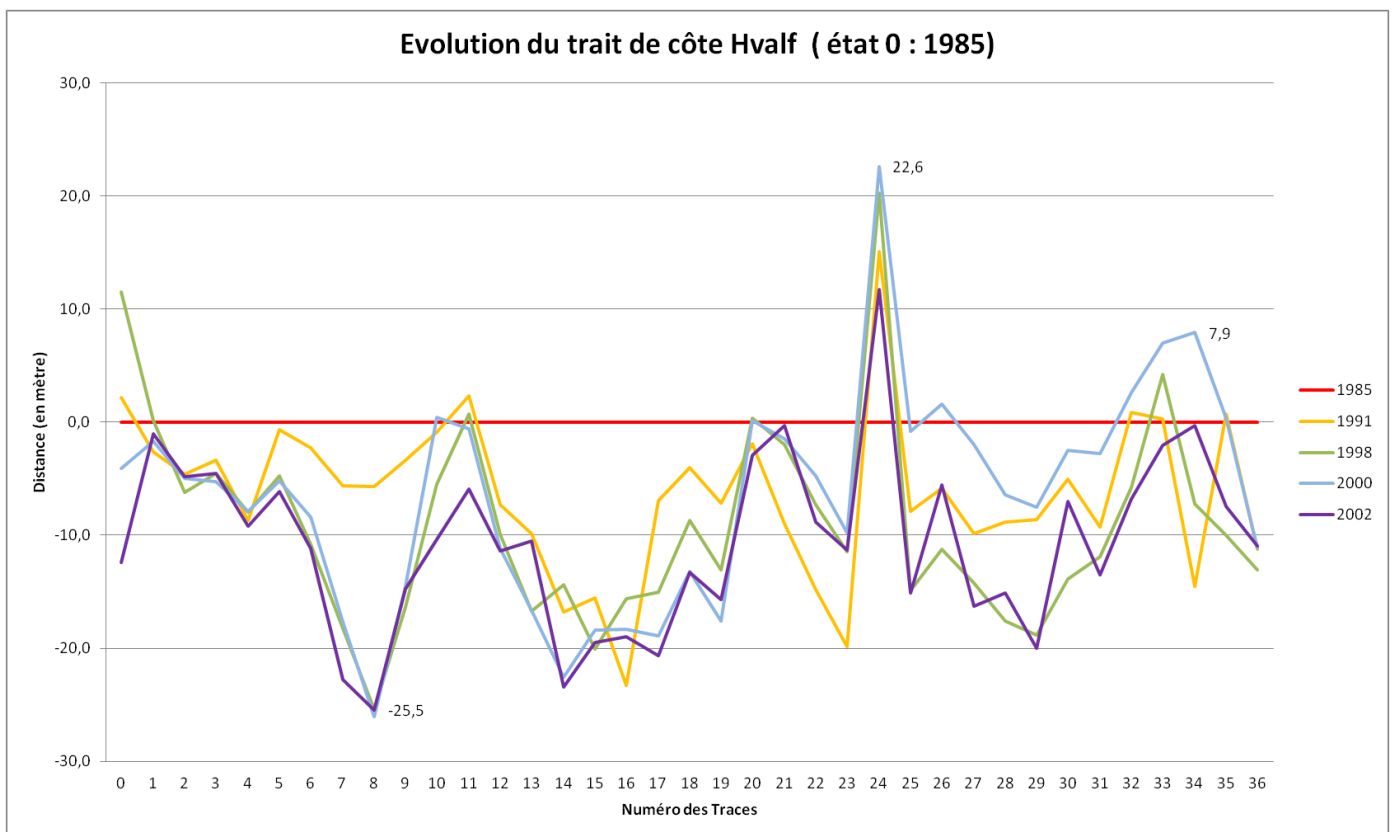


Figure 52 : Evolution du trait de côte de la flèche de Hvalf entre 1985 et 2002.

e) Straumeyri :

Le trait de côte de la flèche de Straumeyri présente une mobilité impressionnante entre 1980 et 2016. La flèche tend à se redresser entre 1980 et 2016 (cf fig 62). On remarque une forte accrétion sédimentaire sur la partie distale, sur la trace 36 (cf fig 63, 64) on a une avancée de plus de 160 mètres entre 1980 et 2016, sur la trace 56 on a une avancée de 177,4 mètres entre 1980 et 2016. Alors que sur la partie médiane de la flèche on remarque un fort recul du trait de côte, sur la trace 20 le trait de côte a reculé de 179,4 mètres de 1980 à 2016. On a depuis 1980 à aujourd'hui un déplacement des bancs de sable du bas de la flèche vers le haut de la flèche. On remarque bien aujourd'hui une accumulation sédimentaire au niveau du point ancrage de la flèche. La flèche est caractérisée par une alternance de recul et d'avancé du trait de côte. On a donc un déplacement des bancs de sable le long de la flèche. Au niveau de la spatule on constate sur la trace 20 l'amorce d'un chenal à l'intérieur de la flèche, présent en 2016.

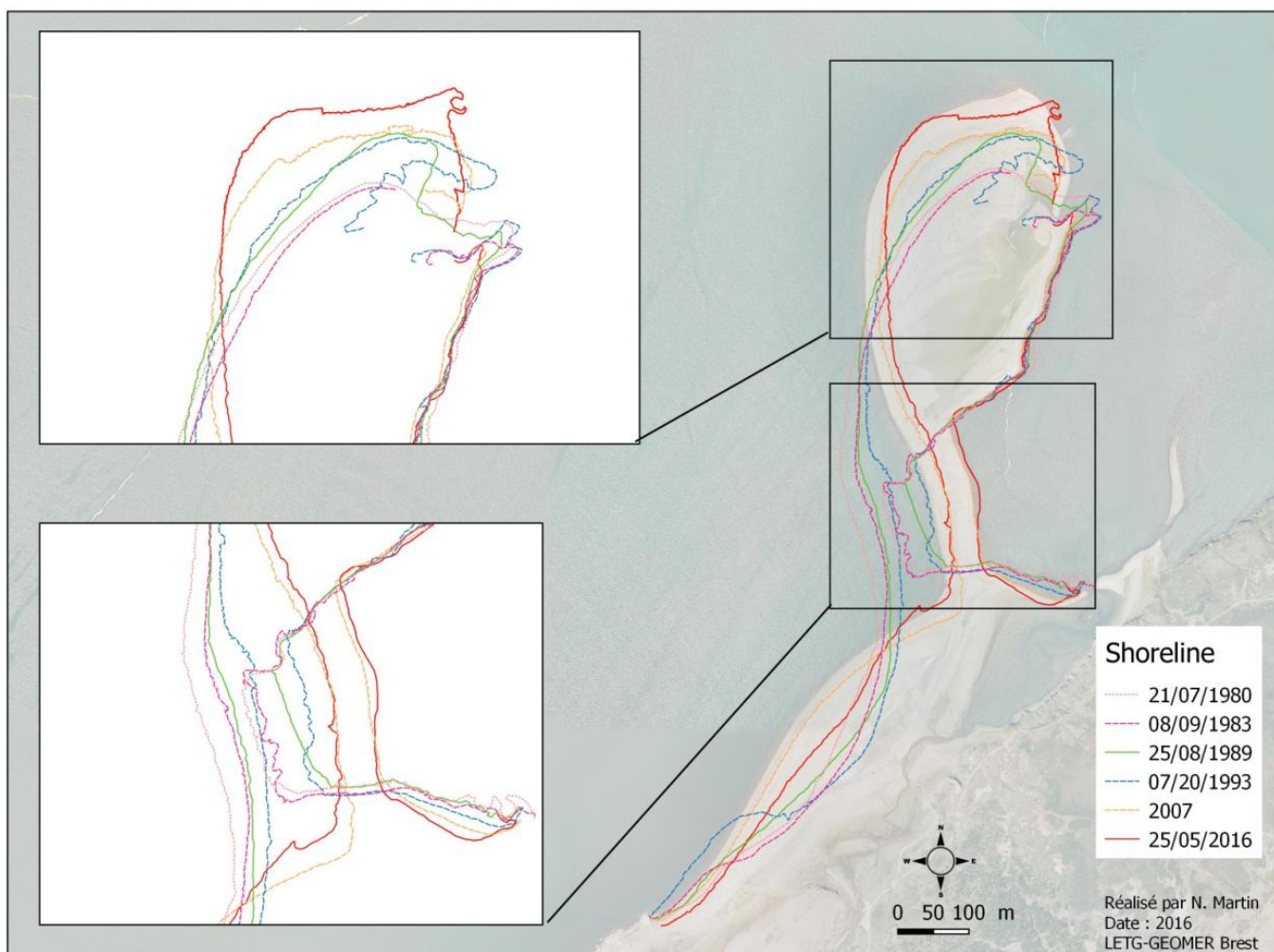


Figure 53 : Trait de côte Straumeyri

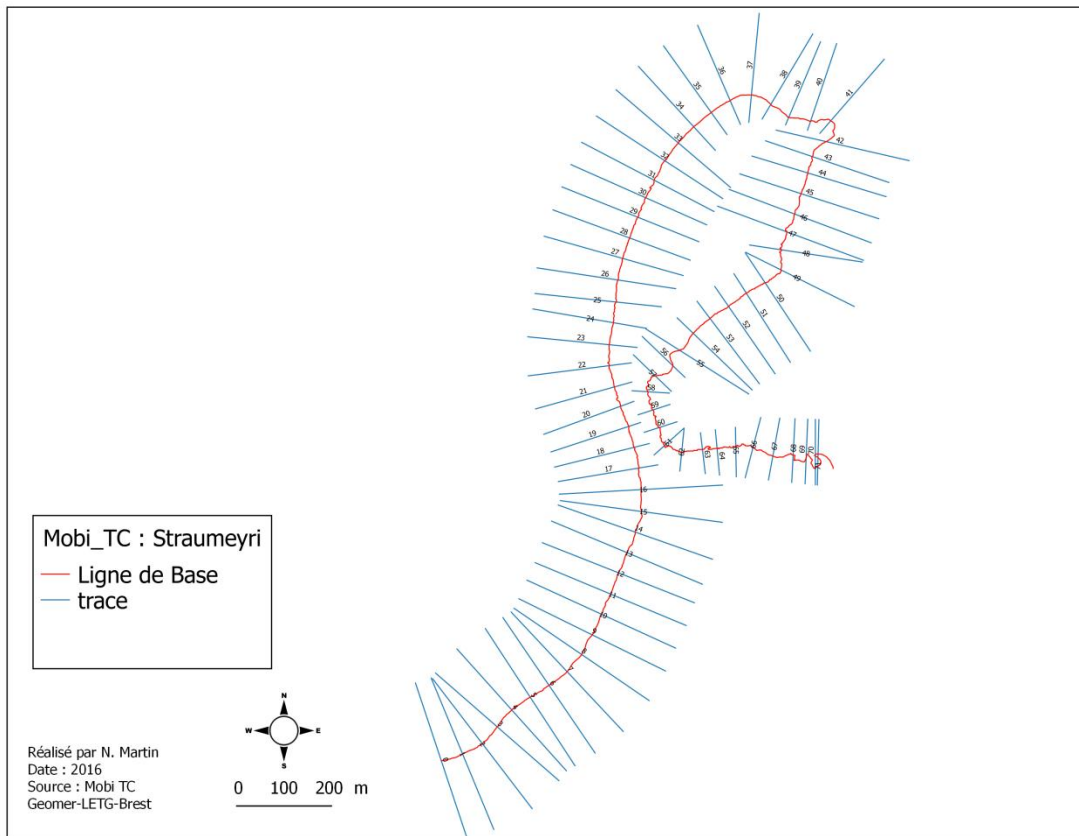


Figure 55 : Trace Straumeyri (MobiTC)

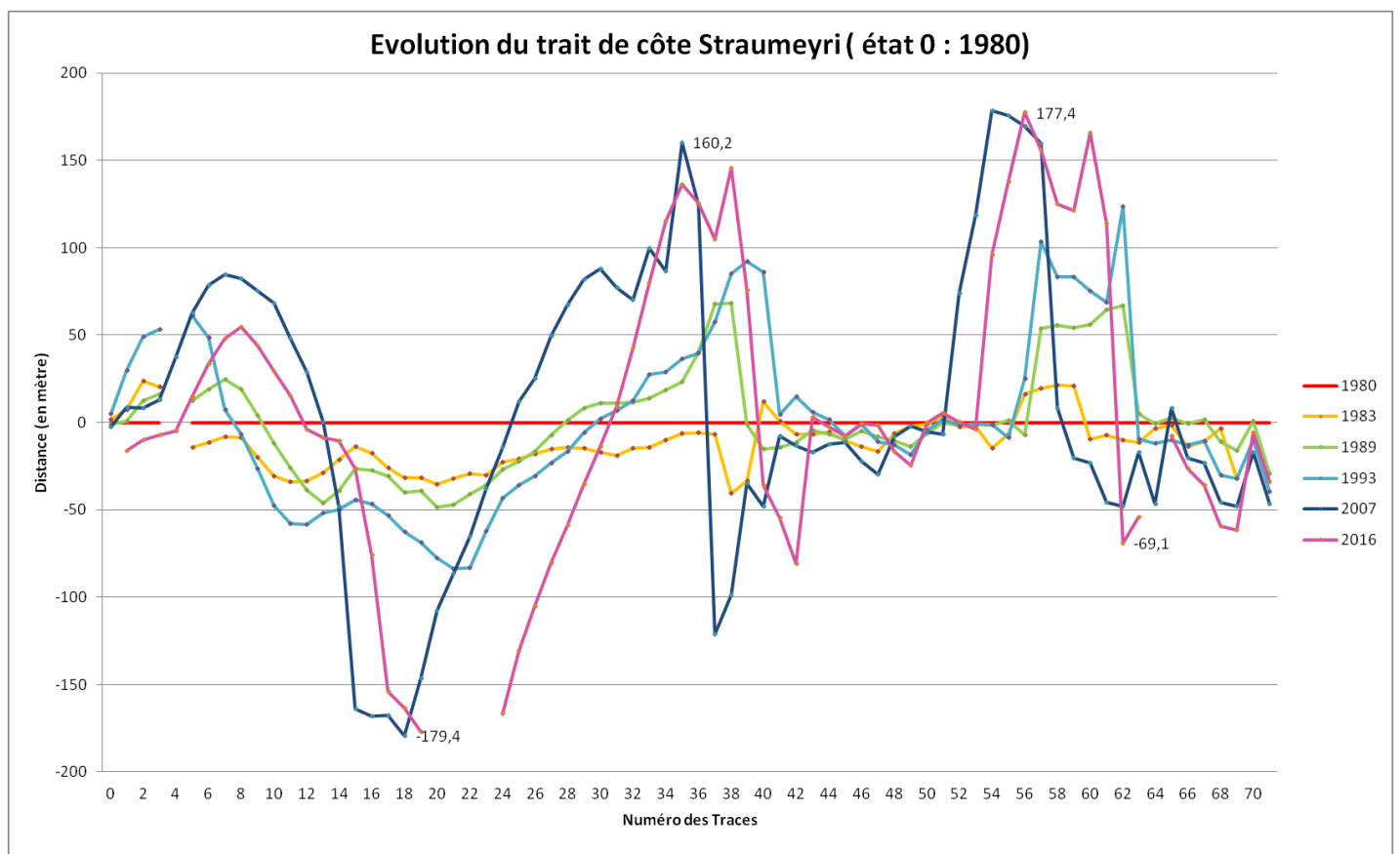


Figure 54 : Evolution des traits de côte de la flèche de Straumeyri entre 1980 et 2016.

## 2- Modèle numérique de terrain : Straumeyri

Le modèle numérique de terrain a été réalisé avec Agisoft Photoscan. Il existe des erreurs au niveau du milieu de la flèche, elle est due à un manque de recouvrement de photographie sur cette zone.

La flèche est assez basse, elle fait environ 2 mètres d'altitude. On remarque la présence de zones plus élevées. Dans la spatule on distingue la présence de dunes, elles peuvent atteindre 6 mètres de hauteur. Le profil 4 (cf fig 65) montre un alignement de dunes embryonnaires dunaires qui témoignent

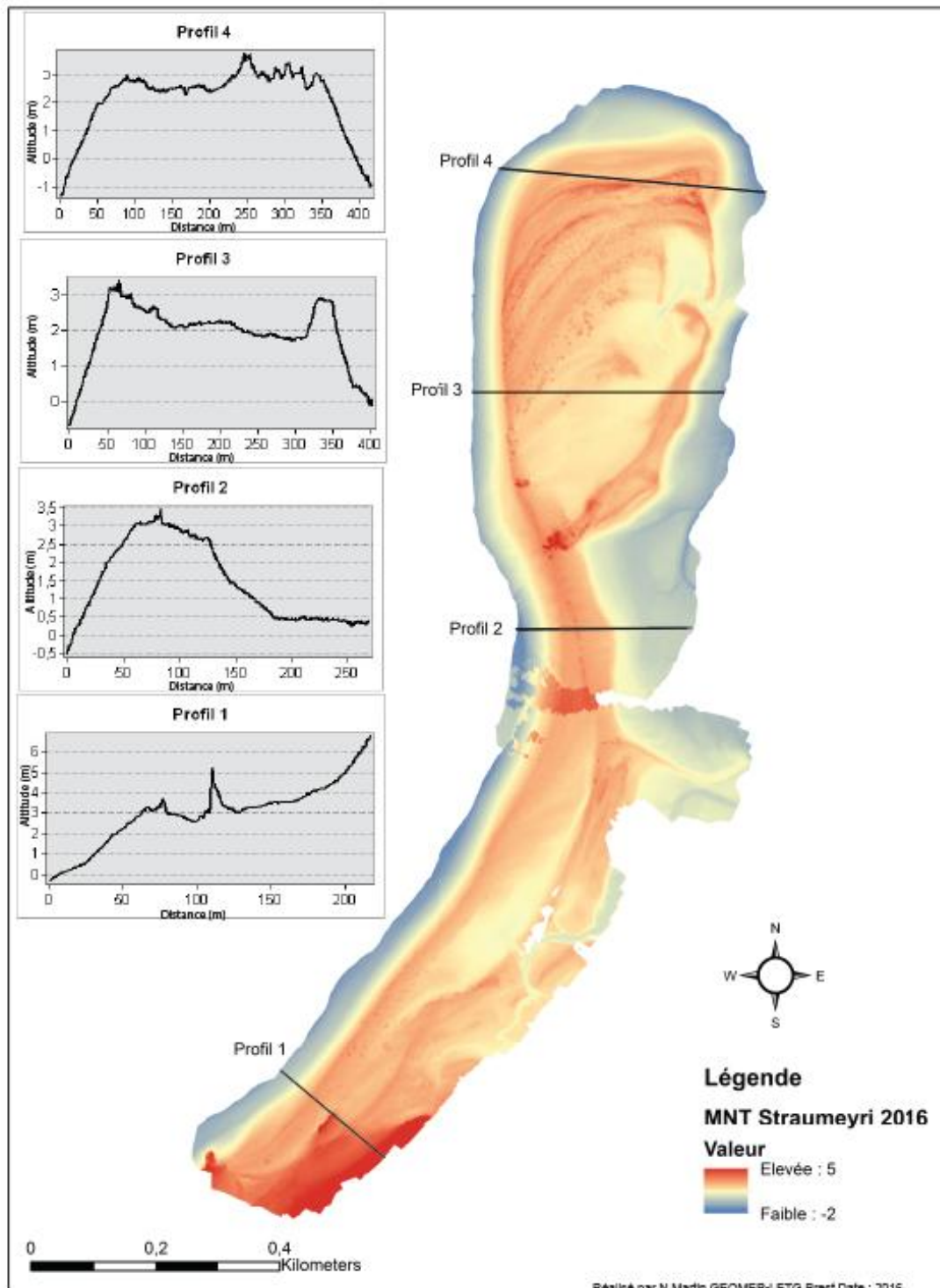


Figure 56 :Modèle numérique de Terrain de Straumeyri (Agisoft Photoscan)

de l'allongement de la flèche (cf fig 66). Le profil 3 (cf fig. 65) montre bien une élévation aux extrémités de la flèche par la présence de dunes et un aplanissement au centre de la spatule. Au niveau de la partie médiane de la flèche, le profil 2 (fig.65) indique une pente plus raide de face exposée aux houles, au niveau de l'estran on est à des altitudes de -0.5 mètres, puis en haut de plage l'altitude maximale est de l'ordre de 3,5 mètres de hauteur. Le revers est moins abrupt, la vasière atteint des valeurs aux alentours de 0,5 mètres. La base de la flèche possède des altitudes très élevées, elle est ancrée à un socle rocheux. A l'arrière de la flèche on a la présence d'une falaise morte. Sur le profil 1 (cf.fig 65) on distingue bien à 110 mètres de la mer, un pointement rocheux à 5 mètres d'altitudes et une remontée progressive du versant de falaise.

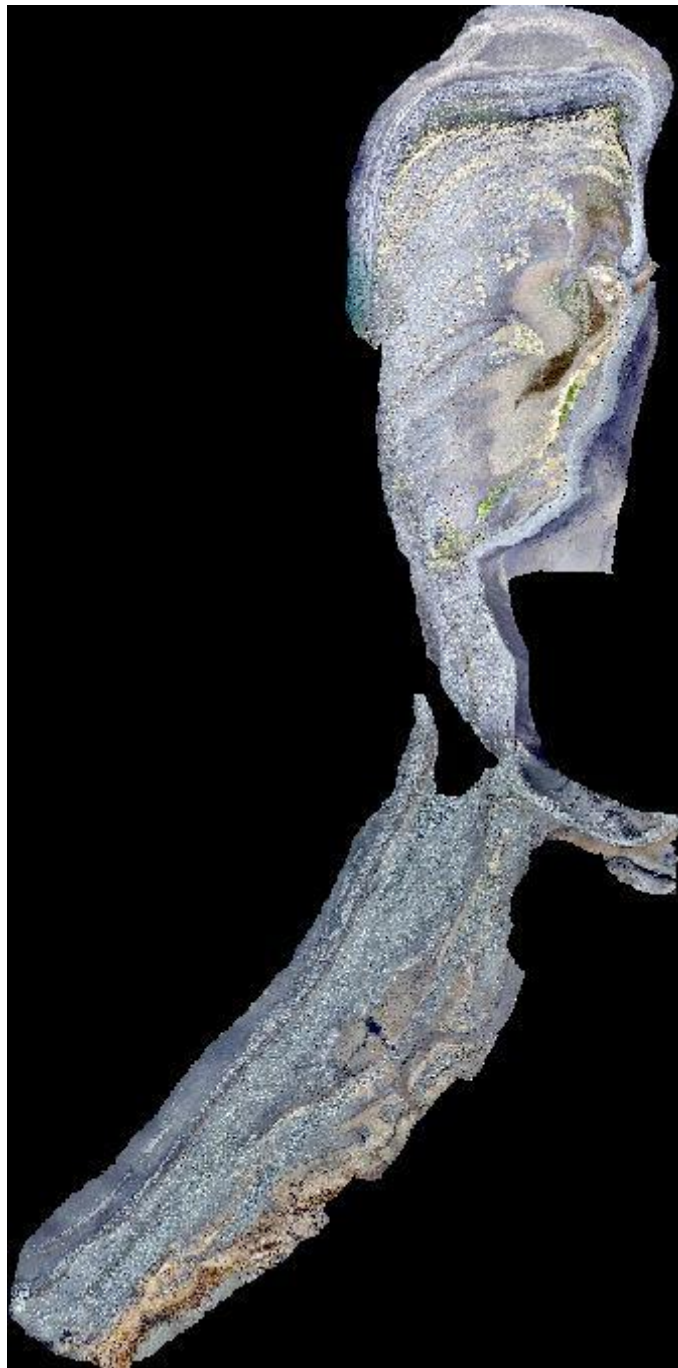


Figure 57 : Orthophotographie Straumeyri ( Agisoft MobiTC)

## **V- Conclusion :**

Il existe une grande variété de cordons et de flèches au Nord Ouest de l'Islande. A travers cinq sites d'études nous avons pu observer des dynamiques sédimentaires différentes. L'évolution morphologique de ces sites diffère selon les milieux, certains se situent en fond de baie, d'autres sont exposés directement aux houles. Ils ne possèdent également pas la même composition granulométrique, cette diversité de roche réside en des sources d'apports sédimentaires différents.

Akar est un cordon en phase de rupture. Nous avons en effet observé l'évolution de trait de côte et remarqué la présence d'une brèche. Akrastapar est un cordon en phase de stabilité, les aménagements du site ont favorisé l'accumulation sédimentaire. Vikurrif est une flèche en phase de cannibalisation, en effet on observe une fragilité au niveau de la base de la flèche mais cette flèche tend à se consolider au niveau de sa pointe grâce à l'enrochement et à la digue. Straumeyri est une flèche instable, sa mobilité est impressionnante, elle a reculé de 180 mètres en 36 ans. Cette flèche recule sur elle-même par rollover. Hvalf est une flèche en phase de stabilité, elle peut cependant subir l'impact d'extraction de granulats. Les causes de recul ou d'alimentation d'une flèche dépendent de la dynamique du milieu, le cordon peut subir des phénomènes de rupture ou d'engraissement. Nous avons pu constater que l'action anthropique joue un rôle dans l'évolution de la flèche. Cette action peut aider à la stabilité d'une flèche comme c'est le cas pour Akrastapar mais aussi créer un démaigrissement du cordon comme c'est le cas de Hvalf.

L'Islande est un pays très actif, la ressource importante des sources sédimentaires et la forte alimentation actuelle de ces formes d'accumulation permet la création de nombreuses flèches et cordons dans le secteur Nord Ouest de l'Islande. Ces formes d'accumulation abritent des marais maritimes à forte valeurs écologiques, pourtant on a peu de mesures de protection et de conservation de ces milieux, ils sont encore aujourd'hui peu fréquentés, mais l'Islande connaît une forte évolution touristique. La destruction de ces cordons pourrait nuire à ces milieux et conduire à une perte de leur biodiversité. Ces formes sont aussi uniques et ont également un fort intérêt d'un point de vue géomorphologique.

## Bibliographie

- Blaise, E., Suanez, S., Stéphan, P., Fichaut, B., David, L., Cuq, V., Autret, R., Houron J., Rouan, M., Floc'h F., Arduind F., Cancouët, R., Davidson, R., Costa, S., Delacourt C. 2015. Bilan des tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur la dynamique de recul du trait de côte en Bretagne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 21, n° 3, p. 267-292.
- Bodéré, J.-C., 1973. Le tombolo double de Thordarhofdi (Islande septentrionale). *Noröis*, n°78. p.213-235.
- Boak, E.H., Turner, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), p. 688–703.
- Carter, R.W.G., Orford, J.D., Jennings, S.C., Shaw, J., Smith, J.P., 1992. Recente evolution of a paraglacial estuary under conditions of a rapid sea-level rise: Chezzetcook Inlet, Nova Scotia. *Proceeding of the geologist association London*, 103, p. 167-185.
- Caseldine, C., Russel, A., Hardardottir, J., Knudsen, O., 2005. Iceland- modern processes and past environments. *Developments in quaternary science 5 series editor*, Elsevier.
- Caseldine, C., Russel, A., Hardardottir, J., Knudsen, O., 2005. Late quaternary marine sediment studies of the Iceland shelf-palaeoceanography, land/ice sheet/ ocean interactions, and deglaciation : a review *Developments in quaternary science 5 series editor*, Elsevier
- Dolan, R., Hayden, B. and Heywood, J., 1978. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal English*, n° 2, p. 21-39.
- Etienne, S., Mercier, M-F., 2003. La variabilité de la hiérarchie des processus de météorisation à travers les bilans météoriques de divers milieux périglaciaires nord-atlantiques (Islande, Labrador, Laponie, Spitsberg) *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 3, p. 177-190.
- Fenster, Michael S., Dolan, R., Elder, J-F., 1993. A New Method for Predicting Shoreline Positions from Historical Data. *Journal of Coastal Research* vol 9. n°1, p. 147-171.
- Gerrard, J., 1991. An assessment of some of the factors involves in recent landscape change in Iceland. *Environmental Change in Icelan : Past and Present*, Kluwer Academic Publishers p. 237-253.
- Godard, A., André, M-F., 1999. Les milieux polaires. *Collection U*
- Guilcher, A., 1979. Les côtes atlantiques d'Europe, évolution, aménagement, protection-Brest, introduction enseignements du colloque. *CNEXO, Actes de Colloques 9*, p. 9-14.
- Hallegouët, B., Moign, A., 1976. Historique d'une évolution de littoral dunaire : la baie de Goulven (Finistère). *Penn ar Bed*, Vol 10 n°84. p.209-226.
- Hallégouët, B., 1981. Les crêtes littorales dunifiées du massif Armoricaïn, France : formation et évolution. *Géographie physique et Quaternaire*, Vol 35, n° 2, p. 205-218
- Ingolfsson, O., 1988. Glacial history of the lower Borgarfjordur area, western Iceland, *Geologiska Foreningens i Stockholms Forhandlingar* 110, p. 293-309.
- Ingolfsson, O., 1985. Late Weichselian glacial geology of the lower Borgarfjordur region, western Iceland : a preliminary report, Vol. 38, p. 210-213.
- Ingolfsson, O et Norddahl, H. 1994. A review of the environmental history of Iceland, 13000-9000 yr 6P. *Journal of Quaternary Science*, Vol. 9, n° 4 p 147-150.
- Jonsson, J., 1957. Notes on changes of sea-level on Iceland. Part III. Chapter X of : *The Hoffellssandur. A glacial outwash plain*. *Geografiska Annaler*, vol. XXXIX, n° 2, p. 135-169.
- Masselink, G., Li, L., 2001. The role of swash infiltration in determining the beach face gradient: a numerical study. *Marine geology*. Vol. 176, n° 1, p.139-156
- Mercier, D., 2011. La géomorphologie paraglaciale. Analyse de crises érosives d'origine climatique dans les environnements englacés et sur leurs marges. *Geomorphologie*. Vol 3.
- Moign, A., Guilcher, A., 1967. Une flèche littorale en milieu périglaciaire arctique : la flèche de Sars (Spitsberg). *Noröis*, 56, p. 550-568.
- Moore, L.J., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, Vol. 16, n° 1, p. 111-124.

- Pinot, J.P., 1998. La gestion du littoral, tome 1 : les littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses. Institut océanographique. p. 294-311.
- Sigurdur, S., Gisli V., Sigfryggur B., 1995. Berne breakwater and quarry investigation in Iceland. International conference on coastal and port engineering in developing countries, n°25/29.
- Suanez, S., Fichaut, B., Magne, R., Arduin, F., Corman, D., Stéphan, P., Cariolet, J-M., 2011. Changements morphologiques et budget sédimentaire des formes fuyantes en queue de comète de l'archipel de Molène (Bretagne, France). Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol 17, n° 2, p. 187-204.
- Suanez, S., Cancouët, R., Floc'h, F., Blaise, E., Arduin F., Filipot. J-F., Cariolet. J-M., Delacourt C., 2015. Observations and Predictions of Wave Runup, Extreme Water Levels, and Medium Term Dune Erosion during Storm Conditions. Journal of Marine Science and Engineering. vol. 3, n° 3, p. 674-698.
- Smith, J., Chandler, J., Rose, J., 2006. High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography, Earth Surface Processes and landforms. vol. 34, n° 1, p. 155-161.
- Stephan, P., 2008. Les flèches de galets de Bretagne : morphodynamiques passée, présente et prévisible, thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 560 p.
- Stephan, P., Suanez, S., & Fichaut, B. 2010. Franchissement et migration des cordons de galets par rollover. Impact de la tempête du 10 mars 2008 dans l'évolution récente du Sillon de Talbert (Côtes-d'Armor, Bretagne). Norois. Environnement, aménagement, société, (215), p. 59-75
- Stephan, P., Suanez. S., Fichaut. B., 2012. Long-term morphodynamic evolution of the Sillon de Talbert gravel barrier spit, Brittany, France. Shore & Beach. Vol. 80, n°1.
- Stephan, P., 2011. Quelques données nouvelles sur la mobilité récente (1930-2008) et le bilan sédimentaire des flèches de galets de Bretagne. Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol 17, n°2, p. 205-232.
- Thieler E-R., Danforth William W. 1994. Historical Shoreline Mapping (II): Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to Shoreline Change Mapping in Puerto Rico. Journal of Coastal Research. vol. 10, n°3, p. 600-620.
- U. Stefansson, 1962. North Icelandic waters, Rit Fiskideildar, 3 (1962), p. 269
- Van Vliet-Lanoë Brigitte, 2005. La planète des glaces, histoire et environnements de notre ère glaciaire, Vuibert. Vol 12, n°3, p. 470
- Wright, L.D., Short A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis, Marine Geology, vol. 56, n° 1/4, p. 93-118.

### Sitographie :

- Map ja.is : <http://en.ia.is/kort/?type=aerialnl&x=309465&y=503021&z=7>
- Landmaelingar islands: <http://www.lmi.is/landupplýsingar/loftmyndasafn-2-2/>
- Landmaelingar islands <http://gis.lmi.is/ornefnasja/>
- Vegardin : <http://www.vegagerdin.is/>
- Náttúrufræðistofnun Íslands : [http://atlas.lmi.is/NI\\_Data/index.php?id=1838653385485](http://atlas.lmi.is/NI_Data/index.php?id=1838653385485)
- Navionics : <https://webapp.navionics.com/?lang=fr#@9&key=csmkKifpLC>
- Icelandic Met : <http://en.vedur.is/>
- GPS stations database: <http://strokkur.raunvis.hi.is/gpsweb/station.php?id=REYK>
- Coordinate Conversion and Datum Transformation in Iceland (from WGS84 to ISN93): <http://cocodati.lmi.is/cocodati/cocodat-i.jsp>
- Icelandic wave buoys: <http://www.vegagerdin.is/vs/SelectStations.aspx?st=1>



Tides, storm surge, sea height: <http://www.vegagerdin.is/vs/Stations.aspx?st=3>

## Table des photographies, figures

Figure 1 : Localisation des sites d'études .....	6
Figure 2 : Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande .....	8
Figure 3 : Flèche sub parallèle à la côte Straumeyri Photo : N. Martin .....	9
Figure 4 : Flèche en chicane Suluyeri (Akranes) Photo : Land Survey Island.....	9
Figure 5 : Carte de localisation du site 1 : Helgafellssveit.....	11
Figure 6 : Carte géomorphologique et sédimentaire des flèches du site 1 .....	12
Figure 7 : Carte de localisation du site 2 : Sandvik et Latravik .....	12
Figure 8 : carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche de Sandvik.....	13
Figure 9 : Bassin aquaculture Vikurrif, Photo : N. Martin .....	13
Figure 10 : Flèche de Vikurrif Photo N. Martin .....	13
Figure 11 : Carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche de Vikurrif.....	14
Figure 12 : Carte de localisation du site 3 : Akar .....	15
Figure 13 : Carte géomorphologique et sédimentaire de la flèche d'Akar .....	15
Figure 14 : carte de localisation du site 4 : Straumeyri.....	16
Figure 15 : Encoche basalte, Straumeyri, .....	16
Figure 16 : Micro falaise Straumeyri Photo : N. Martin .....	17
Figure 17 : Chenal dans la spatule Straumeyri Photo : N. Martin .....	17
Figure 18 : Falaise friable, Straumeyri Photo : N. Martin.....	17
Figure 19 : Dune embryonnaire Straumeyri Photo : N.Martin .....	17
Figure 20 : Carte géomorphologique et sédimentologique de la flèche de Straumeyri .....	18
Figure 21 : Carte géomorphologique et sédimentologique de Hvalf.....	19
Figure 22 : Carte de localisation de Hvalf .....	20
Figure 23 : Topographie par des images Landsat NASA du site d'Akar et de Straumeyri .....	21
Figure 24 : Carte géomorphologique du secteur d'Akar à Nordunes .....	22
Figure 25 : Carte géomorphologique du secteur de Vikurrif .....	23
Figure 27 : Carte géomorphologique du secteur de Hvalf.....	24
Figure 26 : Falaise meuble Hvalf.....	24
Figure 28 : Carte géomorphologique du secteur du fjord de Kolgrafarjadur .....	25
Figure 29 : Carte géomorphologique du secteur de Straumeyri.....	26
Figure 30 : Cercle de pierre, Straumeyri Photo : N. Martin .....	28
Figure 31 : Carte des cours d'eau et des glaciers d'Islande .....	28
Figure 32 : Sol strié, Straumeyri. Photo : N. Martin .....	28
Figure 33 : Carte des vents : Einarsson (1976).....	29
Figure 34 : Le cerf volant et son appareil .....	31
Figure 35 : Mesure des points de calage sur le site de Straumeyri au DGPS .....	31
Figure 36 : Mise en place de la station du DGPS .....	31
Figure 39 : Vikurrif 1978 .....	32
Figure 37 : Vikurrif 1985 .....	32
Figure 38 : Vikurrif 1991 .....	32
Figure 40 : Cadrats .....	32
Figure 48 : Traits de côte du site Akrastapar .....	34

Figure 49 : Trace Akrastapar (MobiTC) .....	35
Figure 50 : Evolution du trait de côte du secteur d'Akrastapar entre 1979 et 2008.....	35
Figure 51 : Trait de côte Vikurrif.....	36
Figure 53 : Traces Vikurrif (MobiTC) .....	37
Figure 52 : Evolution du trait de côte de la flèche de Vikurrif entre 1978 et 2014 .....	37
Figure 54 : Trait de côte Akar .....	38
Figure 55 : Evolution du trait de côte du cordon d'Akar entre 1978 et 2016. ....	39
Figure 56 : Trace Akar ( Mobi TC) .....	39
Figure 57 : Les traits de côte Hvalf .....	40
Figure 58 : Trace sur le site Hvalf.....	41
Figure 59 : Evolution du trait de côte de la flèche de Hvalf entre 1985 et 2002.....	41
Figure 60 : Trait de côte Straumeyri .....	42
Figure 61 : Evolution des traits de côte de la flèche de Straumeyri entre 1980 et 2016. ....	43
Figure 62 : Trace Straumeyri (MobiTC).....	43
Figure 63 :Modèle numérique de Terrain de Straumeyri (Agisoft Photoscan) .....	44
Figure 64 : Orthophotographie Straumeyri ( Agisoft MobiTC) .....	45
Tableau 1 : Classification des flèches du Nord Ouest de l'Islande .....	10
Tableau 2 : Matériels.....	30
Tableau 3 : Référence pour les traits de côtes et photographies aériennes.....	51
Tableau 4 : Référentiel de la limite du trait de côte .....	52
Tableau 5 : Erreur et coordonnées des cibles sous Agisoft Photoscan (rapport Straumeyri) .....	53

## Annexes :

Nom site	Nom photo	Date	Nom shp. Trait de côte	Source	Résolution	Projection
Akrar	Akrar-1978-F19-F-3716-secteur-nord	05/09/1978	tdc_19780905_akar_n	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1983-H01-H0272-secteur-nord	02/09/1983	tdc_19830902_akar_n	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1983-H01-H0272-secteur-sud	02/09/1983	tdc_19830902_akar_s	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1989-L10-L-2597-secteur-sud	08/25/1989	tdc_19890825_akar_n	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1989-L10-L-2544-secteur-nord	08/25/1989	tdc_19890825_akar_s	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1997-N29-N-8160-secteur-nord	08/11/1997	tdc_19970811_akar_n	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-1997-N29-N-8165-secteur-sud	08/11/1997	tdc_19970811_akar_s	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-2000-P2-P-8273-secteur-nord	19/08/2000	tdc_20000819_akar_n	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Akrar-2000-P2-P-8281-secteur-sud	19/08/2000	tdc_20000819_akar_s	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2004	tdc_2004_akar_n	map.is, loftmyndir	1,0	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2004	tdc_2004_akar_s	map.is, loftmyndir	1,0	ISN_1993_Lambert_1993
Akrar	aucune photo - terrain	25/05/2016	tdc_20160525_akar_n	Terrain- DGPS	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Akranes	Akranes-1985-J07-J-08481	05/08/1985	tdc_19850805_akranes	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akranes	Akranes-1991-L33-L-90521	08/08/1991	tdc_19910808_akranes	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Akranes	Akranes-2000-P2-P-84282	20/08/2000	tdc_20000820_akranes	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Akranes	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2002	tdc_2002_akranes	map.is, loftmyndir	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Akranes	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2007	tdc_2007_akranes	map.is, loftmyndir	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Akrastapar	Akrastapar-1979-F23-F-49181	22/07/1979	tdc_19790722_akrastapar	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Akrastapar	Akrastapar-1983-H04-H-09432	06/09/1983	tdc_19830906_akrastapar	Landsmyndir Island	0,4	ISN_1993_Lambert_1993
Akrastapar	Akrastapar-1985-J12-J-22851	13/08/1985	tdc_19850813_akrastapar	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Akrastapar	Akrastapar-1991-L28-L-76891	22/07/1991	tdc_19910722_akrastapar	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Akrastapar	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2008	tdc_2008_akrastapar	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Eiosstapar	Eiosstapar-1983-H04-H-09571	06/09/1983	tdc_19830906_eiosstapar	Landsmyndir Island	0,4	ISN_1993_Lambert_1993
Eiosstapar	Eiosstapar-1991-L28-L-76571	22/07/1991	tdc_19910722_eiosstapar	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Eiosstapar	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2008	tdc_2008_eiosstapar	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Frooarrif	Frooarrif-1978-F16-F-29691	21/07/1978	tdc_19780721_frooarrif	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Frooarrif	Frooarrif-1985-J12-J-22731	13/08/1985	tdc_19850813_frooarrif	Landsmyndir Island	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Frooarrif	Frooarrif-1991-L28-L-76381	22/07/1991	tdc_19910722_frooarrif	Landsmyndir Island	1,0	ISN_1993_Lambert_1993
Frooarrif	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2014	tdc_2014_frooarrif	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Grundarfjordur	Grundarfjordur-1983-H04-H-09542	06/09/1983	tdc_19830906_Grundarfjordur	Landsmyndir Island	0,3	ISN_1993_Lambert_1993
Grundarfjordur	Grundarfjordur-1985-J12-J-22681	13/08/1985	tdc_19850813_Grundarfjordur	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Grundarfjordur	Grundarfjordur-1991-L28-L-76561	22/07/1991	tdc_19910722_Grundarfjordur	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Grundarfjordur	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2008	tdc_2008_Grundarfjordur	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Hjaroarbolsoddi	Hjaroarbolsoddi-1979-F23-F-49191	22/07/1979	tdc_19790722_Hjaroarbolsoddi	Landsmyndir Island	0,4	ISN_1993_Lambert_1993
Hjaroarbolsoddi	Hjaroarbolsoddi-1983-H04-H-09431	06/09/1983	tdc_19830906_Hjaroarbolsoddi	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Hjaroarbolsoddi	Hjaroarbolsoddi-1985-J12-J-22851	13/08/1985	tdc_19850813_Hjaroarbolsoddi	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Hjaroarbolsoddi	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2008	tdc_2008_Hjaroarbolsoddi	map.is, loftmyndir	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Hvalfjaroareyri	Hvalf-1985-J07-J-08391	05/08/1985	tdc_19850805_hvalf	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Hvalfjaroareyri	Hvalf-1991-L33-L-90232	08/08/1991	tdc_19910808_hvalf	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Hvalfjaroareyri	Hvalf-1998-O7-O-95911	23/08/1998	tdc_19980823_havlf	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Hvalfjaroareyri	Hvalf-2000-P2-P-84401	20/08/2000	tdc_20000820_hvalf	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Hvalfjaroareyri	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2002	tdc_2002_havlf	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Mavahloarrif	Mavahloarrif-1978-F16-F-29741	21/07/1978	tdc_19780721_mavahloarrif	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Mavahloarrif	Mavahloarrif-1985-J12-J-22721	13/08/1985	tdc_19850813_mavahloarrif	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Mavahloarrif	Mavahloarrif-1991-L28-L-76511	22/07/1991	tdc_19910722_mavahloarrif	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Mavahloarrif	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2014	tdc_2014_mavahloarrif	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Seljaoddi	Seljaoddi-1979-F23-F-49181	22/07/1979	tdc_19790722_seljaoddi	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Seljaoddi	Seljaoddi-1983-H04-H-09411	06/09/1983	tdc_19830906_seljaoddi	Landsmyndir Island	0,4	ISN_1993_Lambert_1993
Seljaoddi	Seljaoddi-1985-J12-J-22861	13/08/1985	tdc_19850813_seljaoddi	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Seljaoddi	Seljaoddi-1991-L28-L-76891	22/07/1991	tdc_19910722_seljaoddi	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Seljaoddi	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2008	tdc_2008_seljaoddi	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Straumeyri-1980-F40-F-82971	21/07/1980	tdc_19800721_straumeyri	Landsmyndir Island	1,1	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Straumeyri-1983-H05-H-11021	08/09/1983	tdc_19830908_straumeyri	Landsmyndir Island	0,5	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Straumeyri-1989-L10-L-26461	25/08/1989	tdc_19890825_straumeyri	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Straumeyri-1993-M15-M-31641	20/07/1993	tdc_19930720_straumeyri	Landsmyndir Island	1,0	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2007	tdc_2007_straumeyri	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Straumeyri	Terrain- Cerf Volant	25/05/2016	tdc_20160525_straumeyri	Terrain- Cerf Volant	0,1	ISN_1993_Lambert_1993
Vikurrif	Vikurrif-1978-F16-F-29801	21/07/1978	tdc_19780721_vikurrif	Landsmyndir Island	0,4	ISN_1993_Lambert_1993
Vikurrif	Vikurrif-1985-J12-J-22701	13/08/1985	tdc_19850813_vikurrif	Landsmyndir Island	0,8	ISN_1993_Lambert_1993
Vikurrif	Vikurrif-1991-L28-L-76931	22/07/1991	tdc_19910722_vikurrif	Landsmyndir Island	0,6	ISN_1993_Lambert_1993
Vikurrif	Gagnaveita\SamsynLoftmyndir	2014	tdc_2014_vikurrif	map.is, loftmyndir	0,7	ISN_1993_Lambert_1993
Vikurrif	aucune photo - terrain	27/05/2016	tdc_20160527_vikurrif	Terrain- DGPS	0,5	ISN_1993_Lambert_1993

Tableau 3 : Référence pour les traits de côtes et photographies aériennes

Tableau 4 : Référentiel de la limite du trait de côte

Site	Référentiel limite du trait de côte
Hvalf	Végétation
Akar	Végétation
Akranes	Nord : Base du revers + delta Sud : Végétation
Akrastapar	Végétation
Vikurrif	Végétation
Eiosstapar	Base du revers
Seljaoddi	Végétation + haut de plage
Mavahloarrif	Végétation
Straumeyri	Face exposé : Végétation Face abrité : Base du revers
Frooarrif	Base du revers
Hjaroarbolsoddi	Végétation
Grundarfjordur	Pas de référentiel

Tableau 5 : Erreur et coordonnées des cibles sous Agisoft Photoscan (rapport Straumeyri)



Fig. 6. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
04	-0.008444	-0.002076	0.000726	0.008726	24	0.006454
04	0.002812	0.002862	-0.000424	0.004035	3	0.036191
05	0.012774	-0.005843	0.001079	0.014088	8	0.067767
05	-0.004775	-0.011278	0.001827	0.012383	5	0.082814
05	-0.000682	0.024320	-0.004270	0.024702	28	0.008787
06	-0.000359	-0.008528	0.003070	0.009070	3	0.018042
06	0.002626	0.005506	-0.004600	0.007640	4	0.056343
06	0.020622	-0.017693	0.002093	0.027252	25	0.008115
07	-0.007866	0.003309	0.000659	0.008560	7	0.094942
07	-0.006097	-0.003246	0.004213	0.008091	7	0.114449
07	-0.016227	-0.004053	0.001250	0.016773	19	0.007205
08	0.008963	-0.013727	-0.002407	0.016570	22	0.026826
08	-0.000448	0.002232	0.001096	0.002526	2	0.023081
08	0.002754	0.002437	-0.001425	0.003943	5	0.034668
09	0.000676	0.001509	-0.001440	0.002192	5	0.114281
09	-0.013965	0.018278	0.011024	0.025507	34	0.293823
10	-0.001843	-0.004382	-0.000122	0.004755	6	0.035143
10	0.000979	0.000431	0.000366	0.001130	9	0.127081
10	0.003597	-0.005944	0.000472	0.006963	19	0.006202
11	-0.006826	0.000060	0.001551	0.007000	13	0.178108
11	-0.011606	0.016089	-0.002637	0.019996	16	0.012831
12	0.012682	-0.005849	-0.001455	0.014041	13	0.114655
12	0.029578	-0.002649	-0.008869	0.030992	31	0.015937
13	-0.001413	0.005556	0.000345	0.005743	11	0.137068
13	0.008205	0.005309	0.001194	0.009846	19	0.005794
14	0.000600	-0.012680	-0.001359	0.012767	12	0.148030
14	-0.015499	-0.001767	0.000130	0.015600	10	0.008351
15	0.005543	-0.000294	-0.001971	0.005891	15	0.042051
15	0.001614	-0.004400	0.003267	0.005713	15	0.006607
16	0.009045	-0.001259	0.003283	0.009705	9	0.063082
16	0.012684	0.027916	-0.002452	0.030760	19	0.010620
17	-0.001439	0.004748	-0.007383	0.008995	17	0.139334
17	0.010720	-0.023682	-0.001505	0.026039	17	0.012523

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
01	0.004191	0.006481	0.001531	0.007868	46	0.051576
01	0.008204	-0.002896	0.002555	0.009064	25	0.036373
01	0.001484	0.002976	0.000570	0.003374	8	0.040732
02	-0.003527	-0.001884	-0.001617	0.004313	20	0.067857
02	-0.006045	0.004223	-0.004726	0.008758	20	0.007111
02	-0.001039	-0.011032	0.000075	0.011081	11	0.173322
03	-0.001777	0.009987	0.000182	0.010145	10	0.016318
03	0.000960	-0.004788	0.000622	0.004923	19	0.005262
03	0.001070	0.009805	-0.000434	0.009873	16	0.164215
04	0.008088	0.003607	-0.000023	0.008856	19	0.038869

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
18	-0.003292	-0.008038	0.008520	0.012167	15	0.111367
18	-0.021929	0.011993	0.005495	0.025591	24	0.007892
19	-0.005818	0.010902	-0.003277	0.012784	9	0.138391
19	-0.001701	-0.015833	-0.001300	0.015977	32	0.005970
20	0.001319	-0.002117	0.000876	0.002643	14	0.162172
20	-0.038700	-0.018158	-0.000308	0.042750	20	0.079083
21	0.003136	-0.004702	-0.002432	0.006153	21	0.098791
21	0.005178	0.004691	0.001471	0.007140	21	0.033015
22	-0.000470	-0.002932	-0.002700	0.004014	13	0.114201
22	-0.008632	-0.024128	-0.004928	0.026096	22	0.014411
23	-0.014048	-0.000843	0.000803	0.014097	9	0.027127
23	-0.007527	0.015137	0.001969	0.017019	27	0.008183
24	0.005085	0.014454	0.002887	0.015586	9	0.051198
24	0.009629	0.022451	0.000569	0.024059	22	0.026221
25	-0.007904	0.006817	-0.000333	0.010442	10	0.027618
25	0.018833	0.005787	-0.001058	0.019730	23	0.033803
26	0.013130	-0.014339	0.001697	0.019516	25	0.036033
26	-0.007667	-0.009039	-0.001851	0.011996	23	0.246297
27	0.001579	0.000611	0.000254	0.001712	6	0.024656
<b>Total</b>	<b>0.010343</b>	<b>0.010631</b>	<b>0.003121</b>	<b>0.015158</b>	<b>991</b>	<b>0.093766</b>

Table. 2. Control points.