

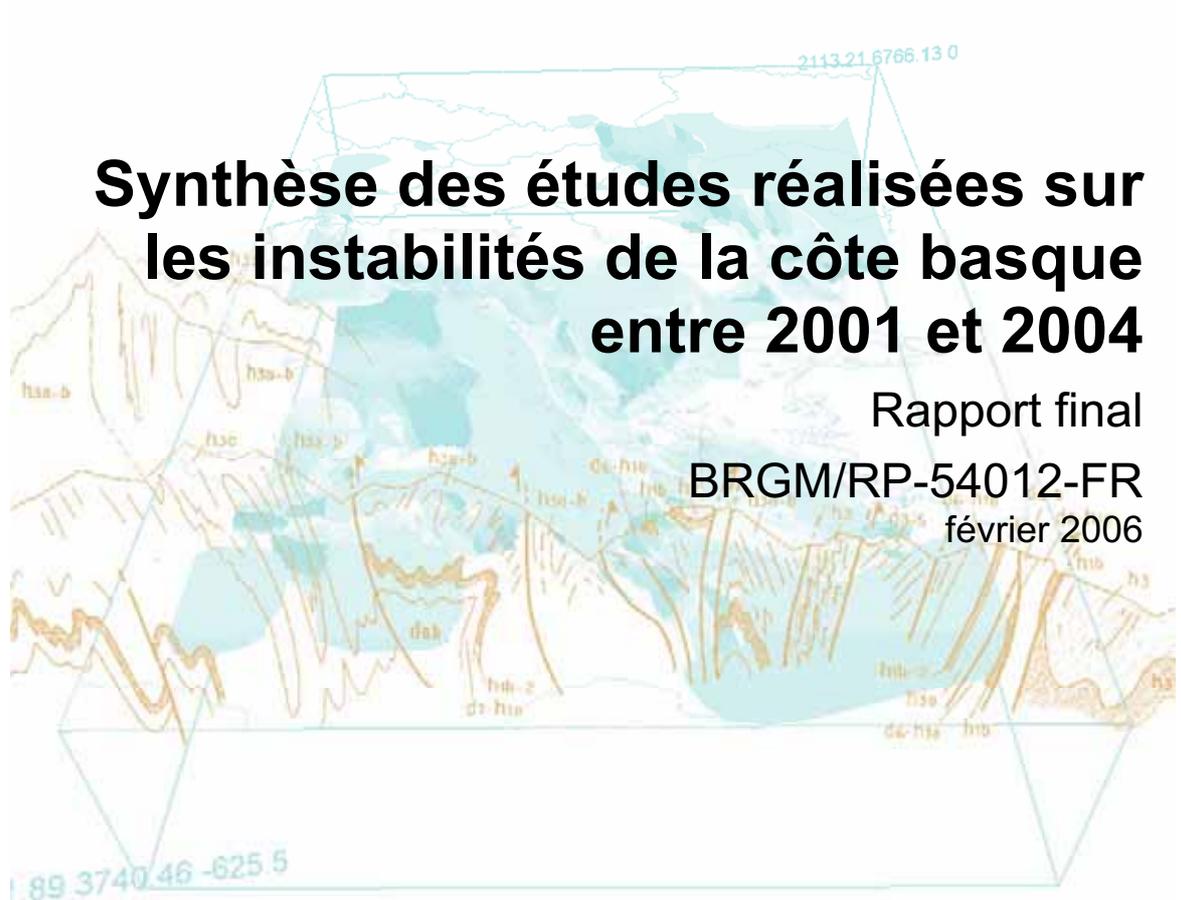


Synthèse des études réalisées sur les instabilités de la côte basque entre 2001 et 2004

Rapport final

BRGM/RP-54012-FR

février 2006



Synthèse des études réalisées sur les instabilités de la côte basque entre 2001 et 2004

Rapport final

BRGM/RP-54012-FR
décembre 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2005 05LITA03

C. Mallet

Avec la collaboration de
**Aubié S., Capdeville, J.P., Dubreuilh J., Genna, A., Lamarque C.,
Nédellec J.L., Mathon C.**

Vérificateur :

Nom : Sandrine Aubié

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : Jacques Dubreuilh

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Côte Basque, Pyrénées-Atlantiques, Littoral, Erosion, Observatoire de la Côte Aquitaine

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Mallet C. avec la collaboration de **Aubié S., Capdeville, J.P., Dubreuilh J., Genna, A., Lamarque C., Nédellec J.L., Mathon C.** (2005) : Synthèse des études réalisées sur les instabilités de la côte basque entre 2001 et 2005, Rapport BRGM/RP-54012 - FR, 32 p., 25 Fig.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Comprendre et suivre les instabilités du littoral basque | 4 |
| 2. Présentation de la côte basque | 5 |
| 2.1. La variété des paysages | 5 |
| 2.2. Le climat | 8 |
| 2.3. Hydrologie et hydrogéologie de la côte basque | 8 |
| 2.4. Les agents d'érosion océanique | 10 |
| 3. Géologie du littoral | 13 |
| 3.1. Géologie simplifiée | 13 |
| 3.2. L'altération des roches | 16 |
| 4. L'évolution historique du trait de côte..... | 19 |
| 5. Les instabilités de terrain | 23 |
| 5.1. Typologie des instabilités..... | 23 |
| 5.2. L'aléa « mouvements de terrain »..... | 26 |
| 5.3. Les ouvrages de protection côtière..... | 28 |
| 5.4. Etude des instabilités | 29 |
| 6. Conclusions | 30 |

1. Comprendre et suivre les instabilités du littoral basque

Soucieux d'un aménagement raisonné de la côte rocheuse aquitaine, l'Etat, la Région Aquitaine, le département des Pyrénées-Atlantiques et le Conseil des Elus du Pays-Basque ont confié au BRGM une mission de service public visant à mieux comprendre les processus géologiques de l'érosion du littoral basque. Ce projet s'intègre dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région 2000-2006. Le présent document synthétise les principaux résultats obtenus à partir des études réalisées entre 2001 et 2004. Par ailleurs, il vise à sensibiliser l'ensemble des acteurs de l'aménagement du littoral basque et le grand public, à la problématique de l'érosion côtière.

Orienter les politiques publiques

Ces travaux s'intègrent dans les actions de l'Observatoire de la Côte Aquitaine. Les résultats de ces études ont pour objectif d'orienter les politiques publiques en matière de gestion du littoral, par une meilleure compréhension des processus d'érosion marine et continentale.

Un milieu riche et fragile

Les 42 kilomètres de la côte basque française sont naturellement riches en raison des écosystèmes qu'elle héberge (qui sont partiellement protégés par 5 sites appartenant au Conservatoire du Littoral, soit environ 123 ha au total) et de sa diversité géologique dont il sera question dans cette étude. Cependant, le littoral est soumis à une forte pression anthropique. Le Pays-Basque représente 7 % du littoral aquitain et abrite en 2002 un peu plus de 40 % de sa population, avec une densité de 504 hab/km², pour une moyenne de 81 hab/km² pour le littoral régional¹.

L'érosion littorale et les importantes instabilités de terrain qu'elle génère limitent le développement urbain de cette zone en forte expansion. L'objectif scientifique principal de cette étude est d'apporter une aide à la gestion concertée de la côte basque par une amélioration de la connaissance de l'aléa naturel que représente l'érosion côtière.

Une approche pluridisciplinaire

Le programme d'étude repose sur plusieurs disciplines complémentaires. Le BRGM a dans un premier temps dressé la cartographie géologique de la côte basque (Genna et al., 2004). Cette étude a permis de mettre en évidence la présence de roches altérées (altérites basques) et de préparer un programme de recherche visant à les caractériser. L'approche géologique a également consisté à définir la morphologie côtière (typologie), l'évolution géomorphologique du littoral et la dynamique de recul du trait de côte (érosion différentielle).

Le rôle de l'eau dans les instabilités côtières étant essentiel, des études ont été menées afin de mettre en évidence les processus hydrologiques et hydrogéologiques

¹ Mouhali K., 2005. Littoral aquitain, diagnostic de territoire, INSEE Aquitaine, 45 p.

dans l'érosion côtière et notamment l'influence des nappes phréatiques, des venues d'eau naturelles et artificielles au littoral (Winckel *et al.*, 2004).

L'action marine a également été étudiée par la mise en place d'un modèle opérationnel et prédictif permettant de simuler la marée, le vent et la propagation de la houle à l'échelle du plateau continental interne basque (Idier et Pedreros, 2005 ; Pedreros et Idier, 2005). Par exemple, le cas de la tempête de 1999 est traité, et permet de quantifier les surcotes marines induites par le vent.

L'étude géotechnique a permis de définir et de cartographier l'aléa mouvements de terrain sur le littoral (Nedellec *et al.*, 2005). L'instrumentation de sites expérimentaux est en cours, elle permettra d'étudier les processus responsables des instabilités. Il est également prévu de proposer des recommandations concernant les parades susceptibles de réduire cet aléa.

En complément de l'ensemble de ces travaux, un Système d'Information Géographique (SIG) a été mis en place afin de traiter, d'archiver et de restituer les données acquises. Le stockage des données dans le SIG est accompagné de la mise en place de métadonnées suivant la norme internationale ISO 19115 permettant de connaître les données disponibles et leurs caractéristiques et de faciliter leur diffusion (Aubié *et al.*, 2004-b). L'objectif principal du SIG de l'Observatoire de la Côte Aquitaine est de mettre à disposition des partenaires de l'Observatoire, des données sur le littoral aquitain afin d'évaluer l'évolution de la côte et de faire des choix de gestion et d'aménagement adaptés.

Les références bibliographiques figurant dans le texte de cette synthèse font appel aux rapports produits au cours du projet, auxquels le lecteur pourra se référer pour obtenir des informations plus détaillées.

2. Présentation de la côte basque

2.1. LA VARIETE DES PAYSAGES

La côte basque constitue les 42 derniers kilomètres de littoral français avant la frontière espagnole. Les communes situées le long de ce littoral sont du nord au sud : Anglet, Biarritz, Bidart, Guéthary, Saint-Jean-de-Luz, Ciboure, Urrugne et Hendaye (Illustration 1).

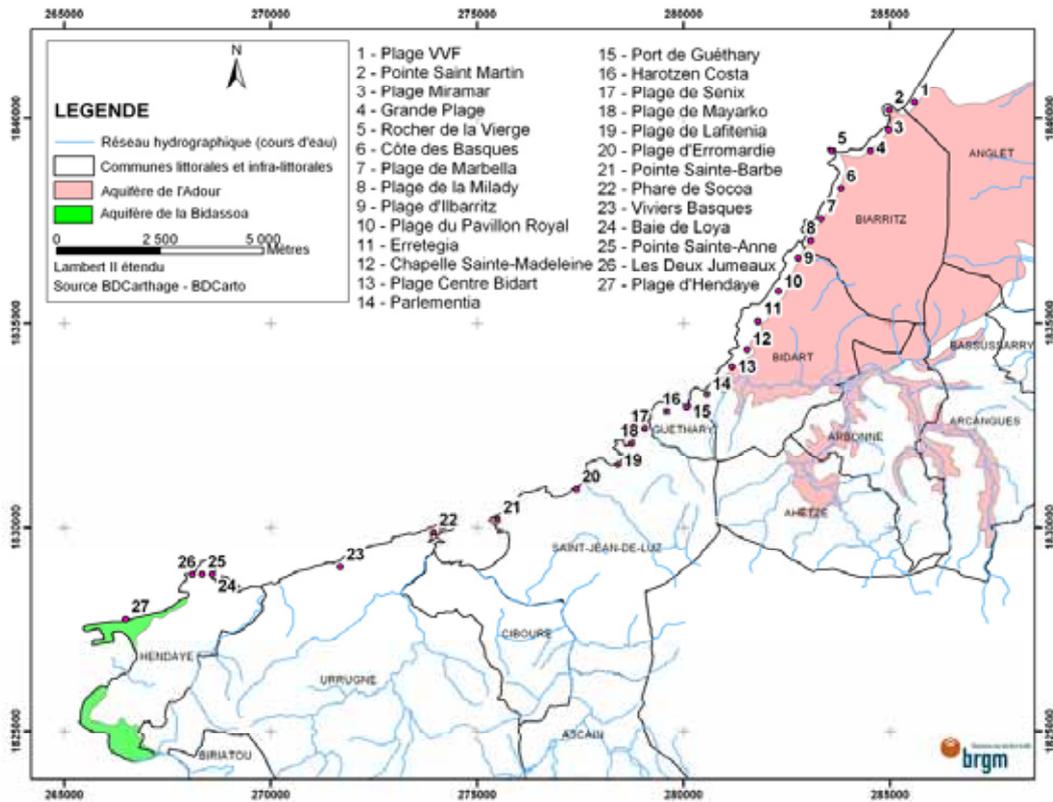


Illustration 1 : Présentation de la côte basque

Le littoral se caractérise au Nord, entre l’embouchure de l’Adour et la Pointe Saint-Martin, par une côte sableuse de 4 à 5 km de long (terminaison méridionale du système de dunes landais, Illustration 2). Il se prolonge vers le sud par des paysages constitués par des falaises, des plages et des baies.



Illustration 2 : Plage sableuse d’Anglet

Entre la Pointe Saint-Martin (Illustration 3) et le Rocher de la Vierge à Biarritz, le littoral est découpé par de nombreux éperons et îlots rocheux, les falaises pouvant atteindre 45 m de hauteur.

Jusqu'à Guéthary, les falaises d'une hauteur de 10 à 50 m dominent des plages ouvertes. Elles sont localement interrompues par des vallées dont la plus vaste se situe à l'embouchure de la rivière Uhabia.

Entre Guéthary et Saint-Jean-de-Luz se succèdent quatre anses : Sénix, Mayarko, Lafiténia et Erromardie, encadrées par des avancées rocheuses. Un ruisseau interrompt les falaises des anses de Sénix et Erromardie. Jusqu'à la Pointe Sainte-Barbe, de petites criques découpent les falaises sub-verticales, atteignant jusqu'à 40 m de hauteur.

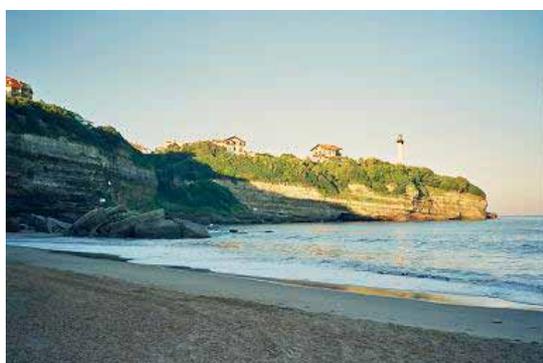


Illustration 3 : Pointe Saint-Martin (Biarritz)



Illustration 4 : Corniche Basque (Ciboure)

Plus au sud, les falaises sont interrompues par la baie de Saint-Jean-de-Luz où se jette la rivière de la Nivelle et le ruisseau Untxin. De Socoa à la baie de Loya, se situe la « Corniche Basque », avec des hauteurs de falaises variant entre 20 et 40 m (Illustration 4).



Illustration 5 : Pointe Sainte-Anne (Hendaye)

La Pointe Sainte-Anne forme un promontoire rocheux s'avancant de 800 m en mer (Illustration 5), sur un littoral découpé, composé d'éperons, de platiers rocheux et d'îlots. La côte basque française se termine au Sud par la baie de Fontarabie, encadrée à l'Est par la Pointe Sainte-Anne et à l'Ouest par le Cap du Figuier en territoire espagnol.

2.2. LE CLIMAT

L'analyse du régime climatique de la côte basque a montré de 1983 à 2002 (sites de Socoa et de Biarritz) les caractéristiques d'un climat océanique tempéré : une faible amplitude thermique sans températures excessives, un taux d'humidité de l'air assez important, une pluviométrie importante et des vents résultant souvent de l'influence océanique (Durand et Mallet, 2004).

Le littoral basque bénéficie d'un climat doux, dû à l'influence du courant chaud du Gulf Stream. Les phénomènes d'érosion liés au froid et au gel sont absents. Les vents soufflent fréquemment mais modérément, sauf en période de tempête. Les précipitations annuelles sont les plus fortes de France métropolitaine (environ 1500 mm/an). L'hiver, les vents d'ouest poussent vers le Pays-Basque des couches d'air qui se sont chargées d'eau en séjournant au dessus de l'océan. Elles sont ensuite arrêtées par les Pyrénées et sont à l'origine de pluies importantes.

Les fortes précipitations ainsi que les orages estivaux provoquent des ravinements sur les couches tendres des falaises. Les périodes d'une ou deux semaines sans eaux sont assez fréquentes, entraînant le retrait et le gonflement des argiles.

2.3. HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA COTE BASQUE

L'eau continentale est un facteur d'érosion essentiel sur le littoral basque (Winckel *et al.*, 2004), de par :

- ses actions chimiques et physiques qui provoquent la dégradation de la roche et modifient ses propriétés. Tous ces processus chimiques sont lents et continus ;
- son action mécanique qui est par contre rapide, brutale et discontinue dans le temps. Elle est en particulier liée à la pluviométrie (intensité, fréquence).

La détermination du rôle de l'eau dans le déclenchement et l'évolution des mouvements de terrain est fondamentale. La connaissance de l'hydrologie et de l'hydrogéologie des secteurs présentant des instabilités est donc primordiale. Celle-ci devrait permettre de diminuer l'impact de l'eau sur les mouvements de terrain.

Quatre rivières débouchent sur le littoral basque. Il s'agit du nord au sud de : l'Adour à Anglet, l'Uhabia à Bidart, la Nivelle dans la baie de Saint-Jean-de-Luz et la Bidassoa à Hendaye dans la baie de Chingoudy. Mis à part l'Adour, les trois autres rivières se terminent par des estuaires peu profonds argilo-sableux (Winckel *et al.*, 2004).



Illustration 6 : Les Viviers-Basques (Urrugne)

Le premier système aquifère libre alluvial² est celui de l'Adour et de ses affluents qui s'étend sur le littoral basque entre Anglet et Bidart. Il correspond aux alluvions de la vallée de l'Adour et des parties aval de ses affluents. Le second système aquifère libre alluvial est celui de la Bidassoa, il correspond à la nappe alluviale de ce fleuve. En zone aval, et jusqu'à Biriadou, l'impact des marées (remontée d'eau salée) est notable sur la qualité des eaux de cette nappe. Les deux aquifères correspondent à un découpage à grande échelle qui ne prend pas en compte les aquifères locaux de faibles extensions qui peuvent être le siège d'une circulation d'eau.

Le long des falaises de la côte basque plusieurs types de venues d'eau ont été identifiés :

- les venues d'eau naturelles correspondant aux suintements, aux sources, aux talwegs et aux rivières ;
- les venues d'eau anthropiques correspondant aux émissaires des stations d'épuration, aux rejets des eaux usées (habitations non reliées au réseau collectif), aux canalisations débouchant sur le milieu naturel et aux fuites de réseaux.

Cette connaissance hydrologique est notamment prise en compte pour la définition de l'aléa mouvements de terrain. Cependant, aucune étude piézométrique n'a été menée hormis sur la falaise de la Côte des Basques (Capdeville *et al.*, 1982). Une meilleure connaissance des formations aquifères est aujourd'hui nécessaire. Les connaissances géologiques et hydrogéologiques acquises au cours des premières phases de ce projet vont permettre d'entamer une étude piézométrique³ de détail à l'échelle du littoral et

² Système aquifère libre ou superficiel alluvial : grande nappe peu profonde, en général à surface « libre », en étroite relation avec des cours d'eau. Au Pays-Basque ces nappes sont par exemple contenues dans des formations de type calcaires et sables déposées par le cours d'eau lui-même.

³ Etude piézométrique : surveillance et analyse des variations de la hauteur de la nappe aquifère à l'intérieur d'un réservoir.

jusqu'au piémont pyrénéen pour comprendre les modes de circulation des eaux au niveau des falaises.

2.4. LES AGENTS D'ÉROSION OcéANIQUE

Un modèle numérique hydrodynamique a été développé sur le plateau continental interne basque afin de simuler et d'analyser l'impact des principaux facteurs de l'érosion marine que sont le vent, la houle, la marée et les courants associés, suivant des scénarios réels.

2.4.1. La marée

Le modèle de marée développé pour cette étude est validé en hauteurs d'eau et en courants par les données de marée et atlas de courants du SHOM. Pour des coefficients de vive-eau⁴ moyenne, les résultats mettent en évidence de faibles vitesses du courant, de l'ordre de 0,04 m/s. En morte-eau⁵ moyenne, les courants sont environ deux fois plus faibles (Idier et Pedreros, 2005). Les courants de marée sur la Côte Basque sont donc faibles. En outre, les courants de flot sont orientés d'Est à Sud-Est, tandis que les courants de jusant sont orientés d'Ouest à Nord-Ouest.

Le rôle de la marée est donc négligeable sur le transport de sédiment. En revanche, le fort marnage de la côte Aquitaine, qui entraîne le battement des marées, joue un rôle important dans la fragilisation et la mise en mouvement des matériaux de la zone intertidale, notamment lorsque ces variations de hauteurs d'eau sont combinées avec d'autres facteurs tels que la houle et le vent.

2.4.2. Le vent

L'impact du vent sur l'élévation de la surface libre a été étudié pour une vive-eau et une morte-eau moyenne (Idier et Pedreros, 2005). L'amplitude des surcotes⁶ obtenue est peu dépendante du coefficient de marée. Pour des vents extrêmes (40 m/s), les vents de Sud engendrent des décotes à Saint-Jean-de-Luz de l'ordre de 5-10 cm qui diminuent vers le Nord, tandis que les vents d'Ouest engendrent des surcotes de l'ordre de 30 cm. Des simulations ont également été effectuées pour la tempête du 26-29 décembre 1999 (Illustration 7). Les surcotes atteignent 15 cm à Saint-Jean-de-Luz et 19 cm à Vieux-Boucau. Ces valeurs sont en accord avec les surcotes maximales issues du modèle de Météo-France, mais elles sont largement inférieures aux valeurs

⁴ Vive-eau : marée de forte amplitude (coefficient de vive-eau moyenne = 95).

⁵ Morte-eau : marée de faible amplitude (coefficient de morte-eau moyenne = 45).

⁶ On appelle surcote et décote les différences entre l'élévation de la hauteur d'eau par rapport à la marée prédite (astronomique).

observées. Les courants obtenus sont de l'ordre de 0,4 m/s et peuvent donc difficilement engendrer un transport de sédiment.

L'étude qualitative réalisée sur les vents donne des résultats acceptables, en terme d'ordre de grandeur, par rapport aux observations ou aux résultats d'autres modèles. Des pistes d'amélioration du modèle numérique développé ont été identifiées en vue d'une étude quantitative : il s'agit notamment de fournir au modèle des conditions aux limites d'avantage en accord avec la réalité (données réelles de hauteur d'eau utilisées par le modèle), un modèle numérique de terrain (MNT) de plus grande précision (le pas du maillage actuel est de 250 m) et d'inclure d'autres facteurs externes (intégration différente des forçages météorologiques).

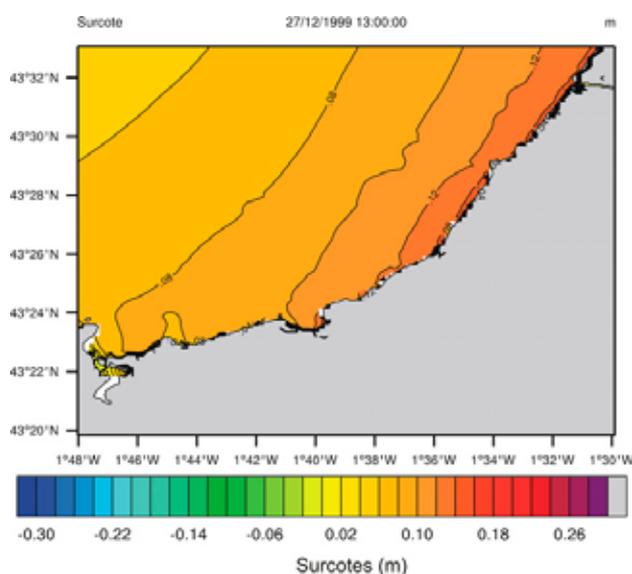


Illustration 7 : Simulation de la surcote marine durant la tempête de décembre 1999

2.4.3. La houle et ses courants associés

Le littoral basque reçoit des houles de forte amplitude, notamment issues des tempêtes de l'Atlantique-Nord. Ceci est dû à sa situation géographique (fond du Golfe de Gascogne), à l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes de Nord-Ouest et au fort gradient topographique de la plate-forme continentale interne. Un modèle de houle a été mis en place pour cette étude (Pedreros et Idier, 2005) à partir de spectres de houle réels calculés grâce aux données collectées par les houlographes installés au large d'Anglet et du Cap-Ferret, en collaboration avec l'université Bordeaux 1 (Laboratoire UMR EPOC) et l'université de Pau et des Pays de l'Adour (laboratoire LASAGEC, Anglet). Les résultats de cette modélisation permettent notamment de cartographier les secteurs de forte énergie qui correspondent en particulier aux hauts fonds et aux zones de convergence de trains de houles (Illustration 8).

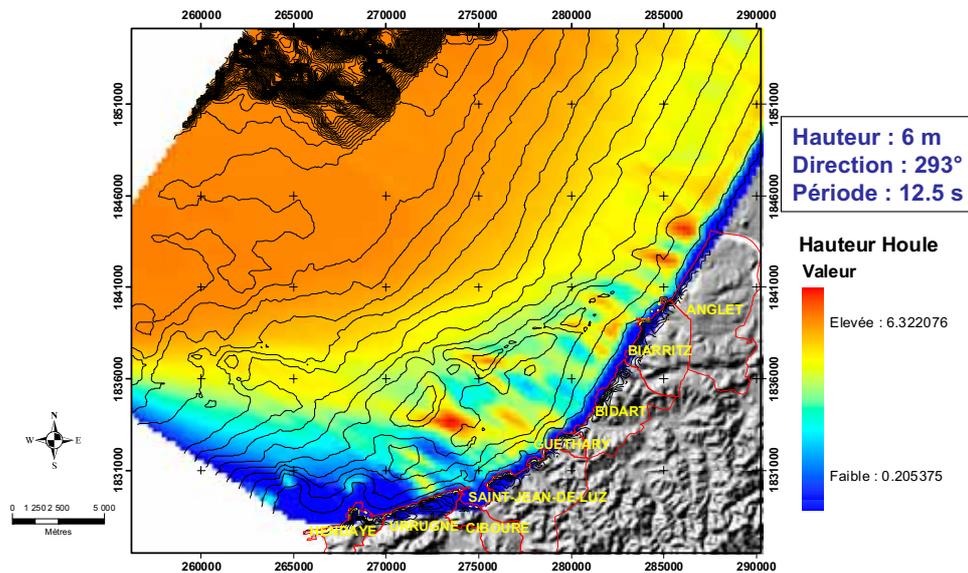


Illustration 8 : Exemple de simulation d'une houle de tempête

L'interprétation de l'impact de la houle sur l'évolution du trait de côte est en cours, elle permettra d'identifier la sensibilité du littoral par rapport aux agents océaniques. Par ailleurs, l'implantation de ce modèle opérationnel peut éventuellement servir à réaliser des études d'impact de la houle sur des ouvrages et/ou sur des sites expérimentaux en utilisant des modèles de plus faible emprise géographique.

Ce qu'il faut retenir...

L'érosion actuelle de la côte basque est contrôlée par deux types de facteurs :

- **intrinsèques** : géologie, géomorphologie, fracturation, pente, altération... ;
- **dynamiques externes** : le climat (dont les tempêtes), l'hydrologie, et les agents océaniques (marée et houle).

A l'échelle du littoral basque, il est difficile de définir, entre les facteurs d'érosion continentaux et marins, ceux qui jouent un rôle prépondérant car ils sont intimement liés. La grande diversité des paysages et de la géologie du littoral basque nécessite une analyse détaillée par site pour identifier les rôles respectifs des agents d'érosion.

3. Géologie du littoral

3.1. GEOLOGIE SIMPLIFIEE

La côte basque présente une importante diversité géologique décrite par Genna *et al.* (2004, Illustration 9). Les terrains les plus anciens de la côte basque sont d'âge triasique (début de l'Ère secondaire). Il y a 220 millions d'années, la région était soumise à un régime marin intermittent qui est à l'origine du dépôt de couches de gypse, de marnes et de sables littoraux. Ces niveaux n'affleurent que sur l'arrière plage du Pavillon Royal.

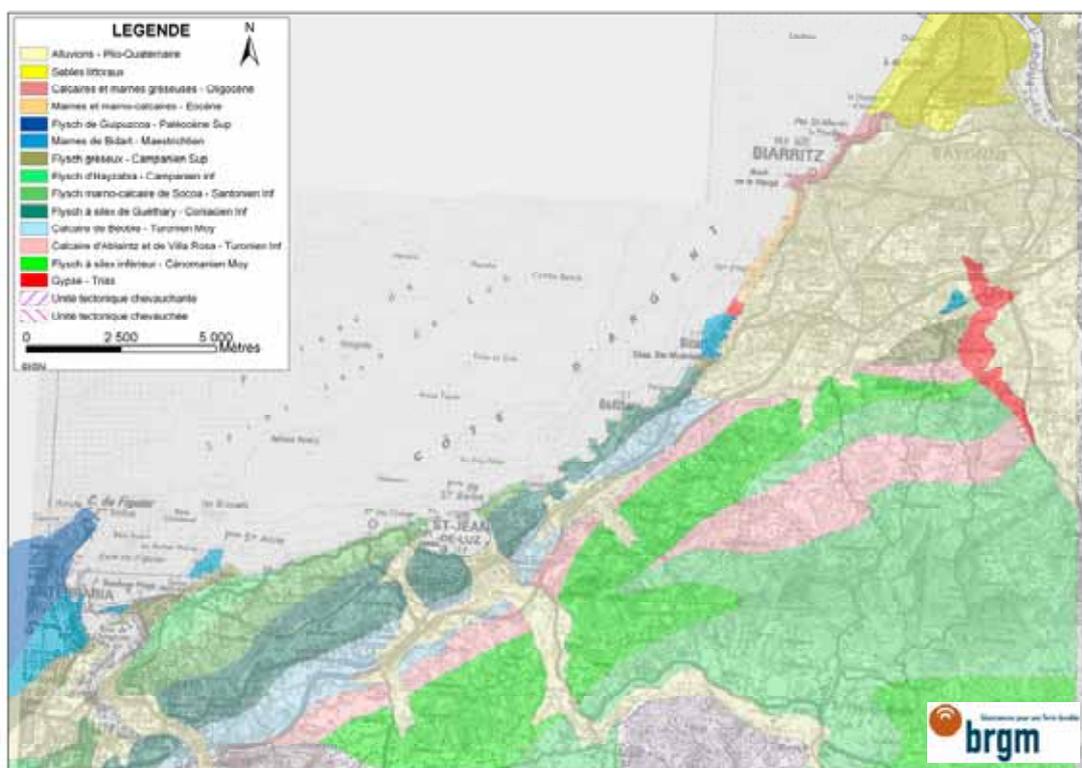


Illustration 9 : Carte géologique simplifiée du littoral basque (Genna *et al.*, 2004)

Le Jurassique (200 à 135 millions d'années), grande période de plates-formes carbonatées du milieu de l'ère Secondaire, n'est pas représenté sur la côte basque. Les bouleversements tectoniques de la phase pyrénéenne n'ont pas permis à ces terrains d'affleurer sur le littoral à l'heure actuelle.

Le Crétacé (135 à 65 millions d'années) en revanche est bien représenté puisqu'il occupe la majeure partie des affleurements du littoral. Cette longue période a laissé

des dépôts marins appelés « flysch ». Il s'agit de couches de calcaires, calcaires marneux et argiles qui alternent.

Le plus ancien flysch est celui de Guéthary. Il s'est déposé sur une plate-forme carbonatée. Ses calcaires blancs et massifs sont « entrelardés » de couches de silice noire et translucide. On le rencontre à deux endroits sur la côte basque ; il affleure dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, entre Ciboure et Socoa, ainsi que du Sud de Bidart à l'anse d'Erromardie.

Au dessus du flysch de Guéthary se trouve le flysch marno-calcaire de Socoa. Son dépôt s'est effectué à la suite d'un approfondissement de la mer crétacée. Il affleure entre la baie d'Erromardie et la Baie de Saint-Jean-de-Luz et occupe la majeure partie de la Corniche Basque.

Surmontant le flysch de Socoa se trouve le flysch d'Hayzabia. Il est le témoin d'une baisse du niveau marin et présente des couches de grès et d'éléments grossiers apportés par des rivières dont la proximité se manifeste progressivement. Il affleure sur une partie de la Corniche Basque et dans la Baie de Loya. Dans cette baie, il est essentiellement constitué de grès et de marnes dont les faciès témoignent de la proximité du continent.

Les dépôts sédimentaires de l'ère Secondaire se terminent par les marnes de Bidart. Riches en fossiles, ces roches meubles se sont déposées dans un milieu marin peu profond. On les rencontre en deux endroits de la côte. Le premier se situe au niveau des falaises de Bidart, le second constitue la majeure partie de la Pointe Sainte-Anne.

Le passage entre le Secondaire et le Tertiaire (65 millions d'années) est marqué par une couche de sédiments argileux. Cette couche a enregistré les conditions particulières, témoins du grand changement intervenu à cette époque. En effet, de très nombreuses espèces vivantes ont disparues (notamment ammonites et dinosaures). Cette limite est particulièrement bien conservée dans le Pays-Basque à Bidart et sur la Pointe Sainte-Anne (Illustration 5).

Les premiers dépôts sédimentaires du Tertiaire (65 à 2 millions d'années) sont les calcaires roses du Paléocène (début de l'ère Tertiaire). Ils représentent un milieu marin peu profond de plate-forme carbonatée. On les rencontre au niveau de Bidart et à la Pointe Sainte-Anne où ils constituent entre autre les rochers des deux Jumeaux. Au dessus des niveaux du Paléocène, des calcaires marneux alternent avec des marnes. Ils représentent des milieux marins de plate-forme de l'Eocène. La vie intense qui y régnait est attestée par les fossiles qu'ils contiennent. Ces roches occupent la majeure partie des falaises, de Bidart à Biarritz.

Les dépôts sédimentaires du Tertiaire se terminent par les calcaires gréseux et les marnes de l'Oligocène. Ce sont les témoins de milieux lagunaires et littoraux. Ils présentent de nombreux fossiles marins accumulés pour la plupart, sur les cordons littoraux de la dernière mer régionale aquitaine de l'Ère tertiaire.

Tous ces terrains ont subi des déformations faibles ou intenses, au cours des mouvements de l'écorce terrestre. Ils ont ensuite été érodés. Au dessus de la surface

d'érosion, se sont déposés de nouveaux sédiments, dans des milieux continentaux (fluvio-lacustres) qui représentent le Plio-Quaternaire (5 millions d'années à l'actuel).

Il s'agit principalement de sables et de graviers. Dans ce contexte qui pouvait rappeler l'environnement des sables des Landes, quelques dépressions fermées ont favorisé la formation de tourbes et de lignites.

Des sables éoliens, restes de dunes de l'Océan Atlantique, couronnent quelquefois ces formations récentes. Ces dernières formations géologiques se rencontrent plus particulièrement à Bidart, et plus au Nord, où elles passent progressivement aux formations des sables des Landes.

L'étude de la géologie du littoral basque a constitué une étape essentielle de ce projet qui a permis en particulier d'analyser des phénomènes d'instabilités actuels au regard de l'histoire géologique ancienne (exemple : Illustration 10).

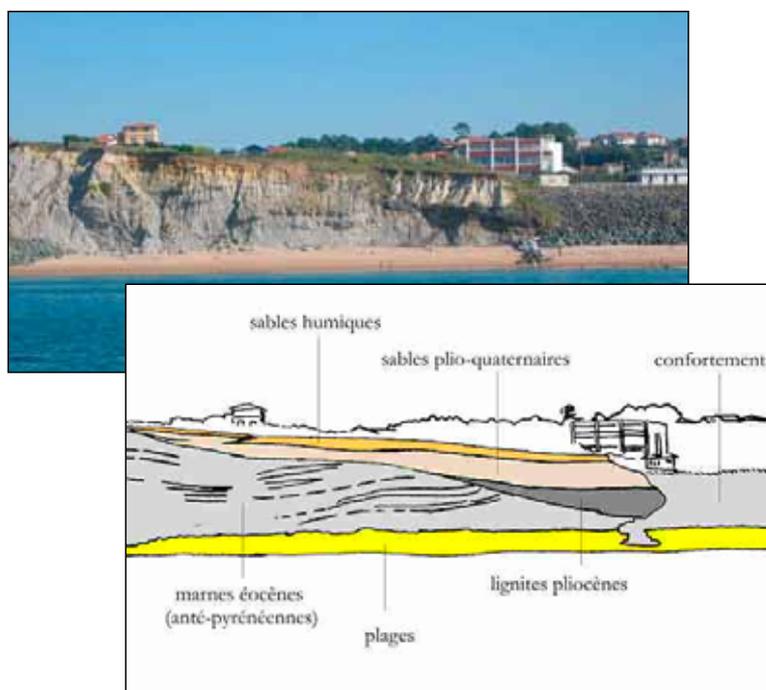


Illustration 10 : Exemple d'interprétation géologique du littoral basque : plage de Marbella à Biarritz (Genna, 2005, d'après une photo de Caminade, 2003)

3.2. L'ALTERATION DES ROCHES

3.2.1. Définition

Des altérites d'extension régionale, nouvellement décrites, entrent dans la compréhension des processus d'érosion du littoral (Illustration 11 ; Genna *et al.*, 2004).

Les altérites sont des formations superficielles résultant de l'altération et de la fragmentation sur place de roches saines. Elles se développent sur différents types de substratum (marnes, flyschs), et possèdent donc des caractéristiques différentes (Illustration 12). Les altérites présentent un intérêt fondamental dans l'étude des instabilités. Ces formations se prolongent à l'intérieur du Pays-Basque jusqu'au pied des premiers reliefs pyrénéens. Elles induisent des instabilités sur toute la zone où elles se développent. Leurs épaisseurs sont variables et peuvent atteindre 50 mètres.



Illustration 11 : Altération de la roche au niveau de la Plage « de la Pile d'Assiettes » (Saint-Jean-de-Luz)

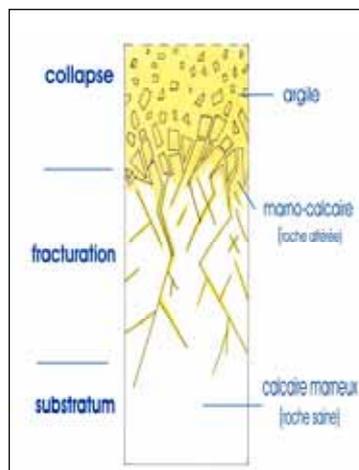


Illustration 12 : Coupe type des altérites (Genna *et al.*, 2004)

A partir des données issues des sondages de la Banque de Données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, une cartographie du toit et du mur des altérites a été réalisée (Illustration 13). La disposition du réseau hydrographique actuel semble refléter un drainage subparallèle à la côte. Cette géométrie pourrait être imposée par la couverture altéritique. Une connaissance plus précise de l'extension de la géométrie de ces altérites demandera la réalisation de nouveaux sondages.

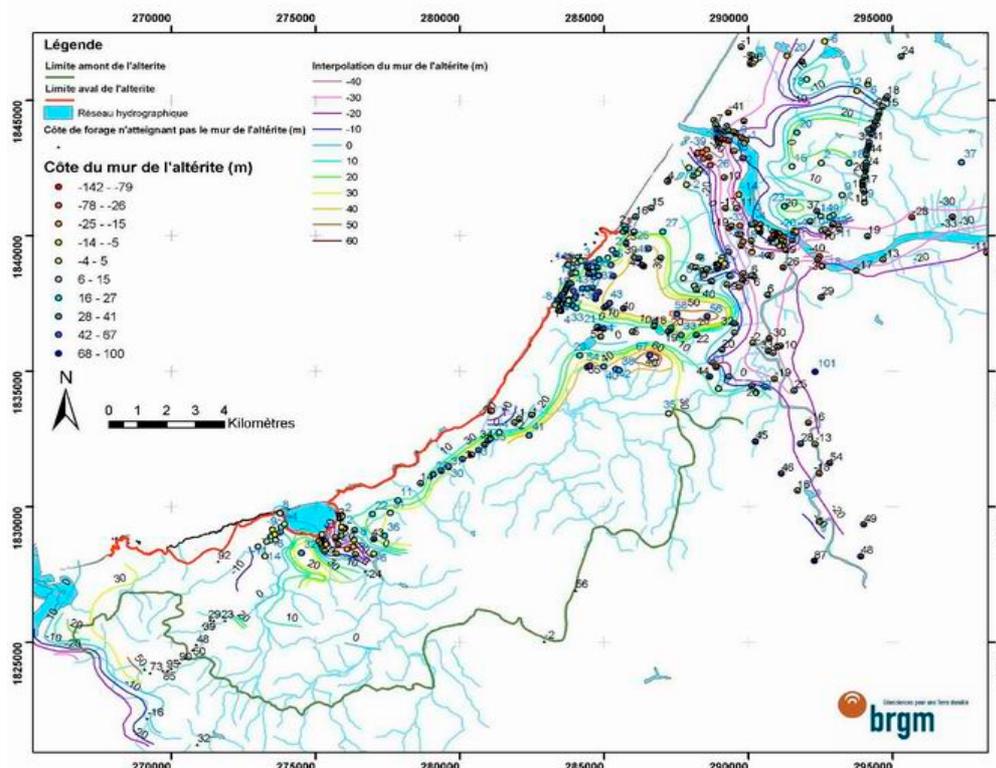


Illustration 13 : Carte de localisation des altérites basques à partir des sondages de la Banque de Données du Sous-Sol du BRGM (BSS). Les limites amont et aval des altérites correspondent respectivement aux limites continentales et océaniques (Genna *et al.*, 2004)

3.2.2. Classification géologique de la côte basque et modes de dégradations

Le littoral peut être subdivisé en différentes zones, selon le comportement mécanique des roches et leur mode de dégradation. Sept types ont ainsi été différenciés à partir d'une approche géologique et ont notamment servis de base à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain (Genna *et al.*, 2004 ; Illustration 14).

- Type 1 : stratification horizontale ou sub-horizontale avec couverture de sédiments récents et altérites de faible épaisseur, exemple : falaise du VVF, Anglet-Biarritz.
- Type 2 : stratification déformée et meuble avec couverture récente et altérites, exemple : falaise de la Côte des Basques, Biarritz.
- Type 3 : roche dure et plissée avec couverture récente et altérites, exemple : falaise de Parlementia, Bidart-Guéthary.
- Type 4 : roche dure et plissée avec altérites au sommet, exemple : falaise de la Pile d'Assiettes, Saint-Jean-de-Luz.
- Type 5 : roche dure basculée et non plissée, exemple : Corniche Basque, Urrugne.

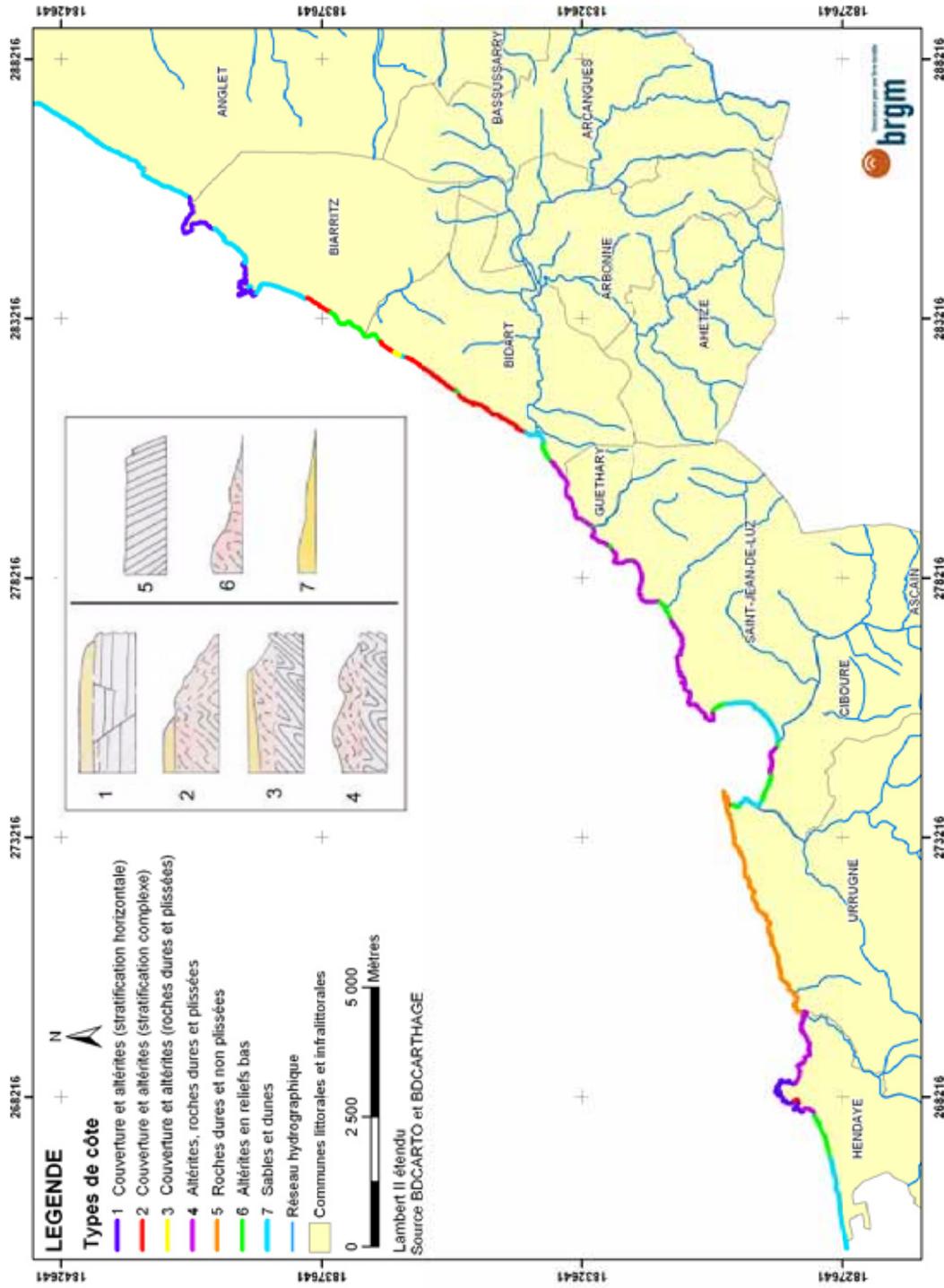


Illustration 14 : Représentation des différents types de côtes géologiques du littoral basque (d'après Genna et al., 2004)

- Type 6 : altérites en reliefs bas, exemple : baie d'Erromardie, Saint-Jean-de-Luz.
- Type 7 : sables et dunes, exemple : plages d'Anglet et Hendaye.

A partir de cette typologie géologique générale de la côte, des variantes ont été ajoutées en tenant compte de l'épaisseur des formations géologiques, du pendage de la stratification et de la présence ou absence de plage. Différents types d'instabilités de la côte ont également été associés à cette typologie (cf. § 5).

Ce qu'il faut retenir...

Le littoral basque présente une grande diversité et une grande richesse du patrimoine géologique qui ont été mis en valeur par une cartographie simplifiée.

La géologie de la côte est un paramètre essentiel pour la compréhension des instabilités côtières. Une typologie du littoral a été effectuée afin de comprendre ces processus d'érosion. Aux sept types géologiques ainsi définis, ont été associés des types d'instabilités.

L'approche géologique met en valeur la présence de roches altérées (« altérites ») qui jouent un rôle essentiel dans le recul du trait de côte.

4. L'évolution historique du trait de côte

L'érosion côtière est fortement influencée par la répartition des altérites basques qui déterminent l'évolution future du trait de côte (Genna *et al.*, 2004). Le déblaiement par l'océan des matériaux de la côte ne s'effectue pas partout de la même manière ni à la même vitesse :

- les calcaires et roches dures ont tendance à développer des falaises subverticales ;
- les altérites produisent un profil plus plat, inférieur à 45°.

Le recul de la falaise est beaucoup plus rapide dans les altérites que dans les roches dures. Ce mécanisme semble être à l'origine de la formation de la baie de Saint-Jean-de-Luz et de diverses plages de la côte rocheuse (Illustration 15).

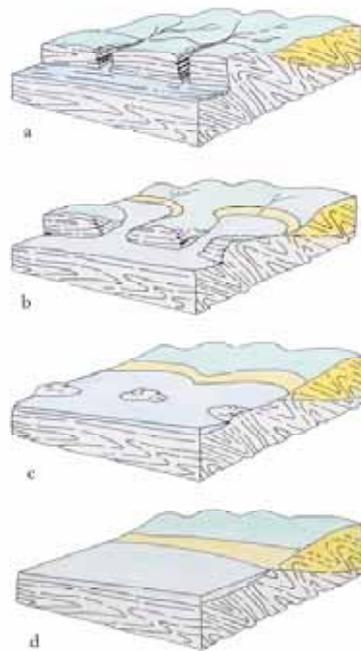


Illustration 15 : Principe de formation d'une baie basque dans le cas où la côte est constituée d'une roche non altérée en front de mer et d'altérites dans l'arrière-pays, a) : état initial, b) : ouverture des baies, c) : formation d'îlots, d) : formation d'une grande plage (d'après Genna et al., 2004)

Les paysages de la côte basque sont vivants : ils se déplacent latéralement vers les terres au cours du temps. L'érosion de la falaise, le déplacement de la plage et l'érosion de la plage intertidale et sous-marine sont des phénomènes indissociables. Ces trois actions se déplacent latéralement à la même vitesse. Si l'on intervient sur l'un des trois phénomènes, les deux autres continuent leur évolution (Illustration 16).

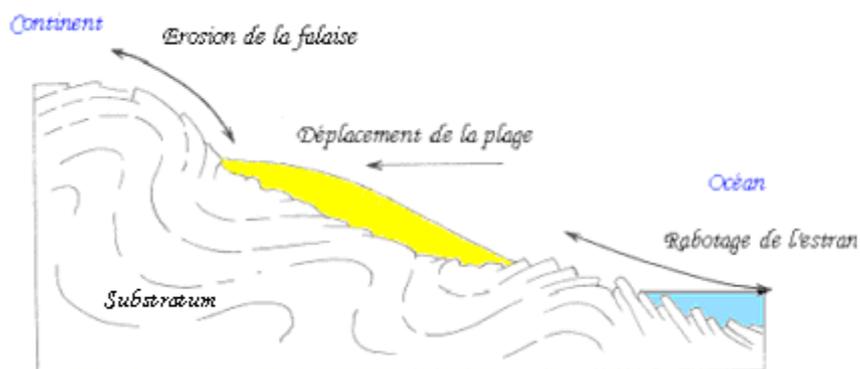


Illustration 16 : Erosion du substratum

L'étude de l'évolution historique du littoral basque français, s'est appuyée sur des documents tels que :

- les cartes topographiques anciennes et récentes ;
- les photographies aériennes de l'IGN ;
- les autres types de documents : tableaux, cartes postales, etc...

Les cartes anciennes et récentes montrent un recul du littoral à l'échelle de la côte avec en général une disparition des pointes rocheuses associée à un creusement des baies. Par simple observation de la carte géologique, les zones à stratification parallèle à la côte développent des baies et les zones à stratification perpendiculaire développent des pointes.

On constate que les zones qui reculent le plus rapidement sont toujours les mêmes depuis au moins le XVIII^{ème} siècle :

- la Pointe Sainte-Anne (Plage d'Hendaye et Baie de Loya),
- la Baie de Saint-Jean-de-Luz,
- la zone Guéthary-Parlementia,
- Biarritz (recul de part et d'autre des pointes).

Une digitalisation des traits de côte (pied de falaise) a été réalisée pour les cartes anciennes du SHOM (© SHOM 2003, contrat n°E042/2003) de 1829 et 1882 et pour les missions aériennes de 1938, 1968, 1992 et 2000 (Aubié *et al.*, 2004-a ; Illustration 17). Le recul moyen du littoral sur la période 1829 - 2000, soit sur 171 ans peut être estimé à 30 cm/an. Le recul maximal est estimé à 80 cm/an (précision +/- 10 cm/an) sur cette même période dans la baie d'Erromardie.

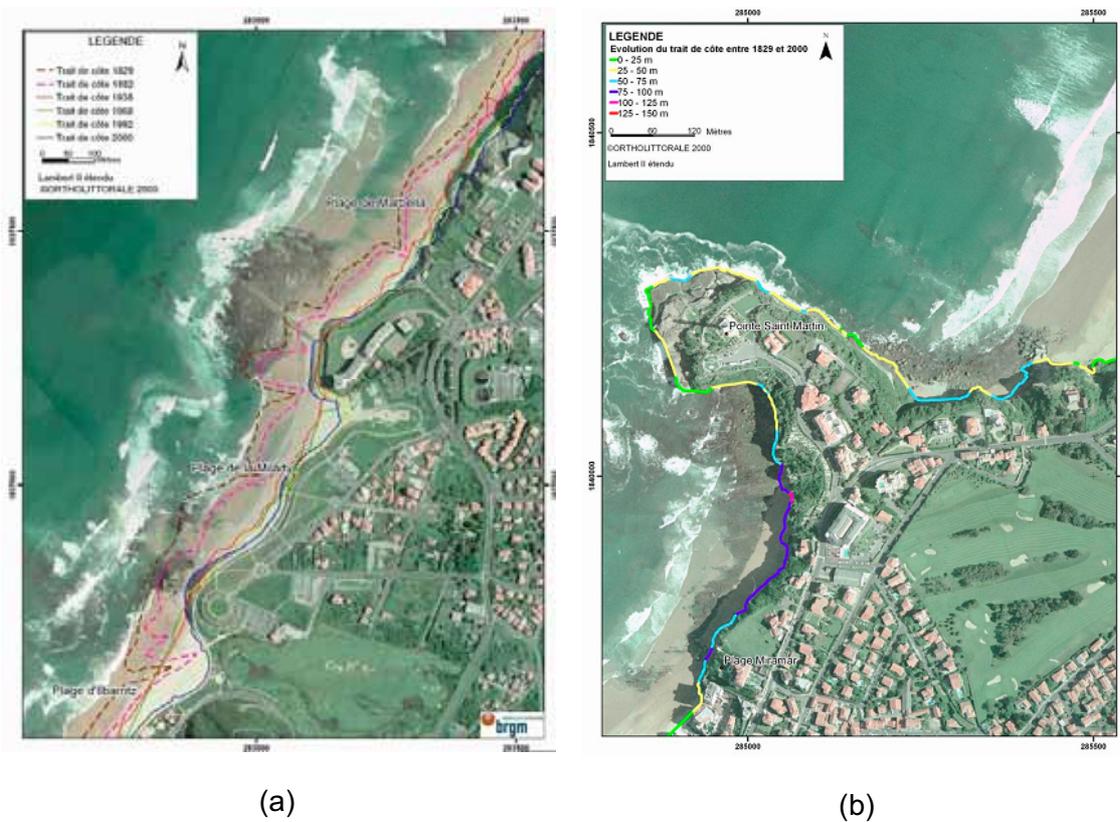


Illustration 17 : Pour les périodes comprises entre 1829 et 2000, exemples (a) d'évolution des traits de côte successifs sur les plages de Marbella et de la Milady à Biarritz, (b) de tendance d'évolution sur le Cap Saint-Martin (précision +/- 10 m, Aubié et al., 2004-a)



Illustration 18 : Erosion du site des Deux-Jumeaux entre le début du dernier siècle (a) et 2004 (b)

Une approche complémentaire utilisée pour mettre en évidence l'évolution du trait de côte sur le littoral basque a consisté à analyser des documents iconographiques anciens : tableaux, cartes postales et photographies anciennes du début du XX^{ème}. Ces données anciennes ont été comparées à des clichés pris au cours d'une campagne de

terrain en avril 2004. Elles permettent de qualifier l'évolution du trait de côte et son influence sur la modification du paysage selon une courte échelle de temps. Le site des Deux-Jumeaux à Hendaye en est un exemple (Illustration 18).

Ce qu'il faut retenir...

Les paysages de la côte basque sont vivants : ils se déplacent latéralement vers les terres au cours du temps. L'érosion de la falaise, le déplacement de la plage et l'érosion de la plage intertidale et sous-marine sont des phénomènes indissociables. Si l'on intervient sur l'un des trois phénomènes, les deux autres continuent leur évolution.

La cartographie des formations géologiques saines et des altérites a permis de développer des scénarios de formation des baies basques. Lorsque l'océan atteint ces roches altérées, l'érosion marine s'accélère.

Le recul moyen du littoral sur la période 1829 - 2000, soit sur 171 ans, peut être estimé à 30 cm/an (précision +/- 10 cm/an). Le recul maximal est estimé à 80 cm/an sur cette même période dans la baie d'Erromardie.

5. Les instabilités de terrain

5.1. TYPOLOGIE DES INSTABILITES

Les mouvements de terrain concernent l'ensemble des déplacements du sol et du sous-sol, qu'il soient d'origine naturelle (pluviométrie anormalement forte, séisme,...) ou anthropiques (terrassment, déboisement,...) (Nedellec *et al.*, 2005). Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types de phénomènes d'instabilité, variables en fonction du mécanisme mis en jeu. Les principaux types de mouvements de terrain rencontrés sont : les glissements, les éboulements et le ravinement.

a) Les glissements

Un glissement correspond à un déplacement généralement lent d'une masse de terrain meuble et/ou instable à partir d'une surface de rupture. On distingue les glissements circulaires (Illustration 19), des glissements banc sur banc (Illustration 20).



Illustration 19 : Glissement circulaire survenu à Guéthary en janvier 2004



Illustration 20 : Glissement banc sur banc, Corniche Basque

b) Les éboulements

Les éboulements sont des phénomènes rapides, mobilisant des masses rocheuses plus ou moins homogènes à partir d'une paroi verticale ou d'une forte pente (Illustration 21).



Illustration 21 : Eboulement au Sud de la plage du VVF d'Anglet (mars 1999)

c) Le ravinement

Les phénomènes de ravinement se produisent sur les versants les plus pentus et les moins végétalisés. Ils s'accomplissent uniquement pendant les périodes d'orages ou de fortes précipitations. Les falaises sont donc le siège localement et ponctuellement de ravinements intenses qui peuvent aboutir au déclenchement d'un glissement de terrain (Illustration 22).



Illustration 22 : Ravinement dans les marnes de la Côte des Basques (Biarritz)

5.2. L'ALEA « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

En se basant sur les critères de prédisposition d'un site (géologie, pente, hauteur de versant, fracturation...), sur les caractéristiques des instabilités survenues et sur des observations de terrain, une cartographie de l'aléa (probabilité qu'un phénomène de nature et d'intensité donnée se produise) « mouvements de terrain » a été réalisée à l'échelle du 1/20 000. Cent tronçons homogènes de la côte basque ont été déterminés en fonction de critères physiques. Ils ont fait l'objet d'une fiche de présentation (Illustration 23 ; Nedellec *et al.*, 2005).

| | |
|--|--|
| Identification N° fiche / tronçon : 010 Linéaire du tronçon : 500 m Commune : Biarritz Nom du site / lieu dit : Plage du VVF & Pointe St Martin | Coupe schématique type  |
| Généralités Description géomorphologique générale : Falaise "vive" de 30 à 35 m de hauteur, très instable, dont la partie Est est marquée par une succession de ravines et de parois subverticales. De nombreux pans de falaises effondrés sont présents au sol, progressivement déblayés par la mer. |  |
| Photos  | |

Illustration 23 : Exemple de fiche d'évaluation de l'aléa mouvement de terrain par tronçons côtiers (Nedellec *et al.*, 2005)

D'après le guide des PPR, on assimile le niveau d'intensité de l'aléa à l'importance des mesures à mettre en place pour se prémunir d'un phénomène à risque. Quatre niveaux d'intensité ont été identifiés :

- **nul à très faible** : pas de parades nécessaires ou parades mineures,
- **faible** : parades supportables financièrement pour un propriétaire individuel (ex : purge de quelques blocs, remodelage de petits talus,...),

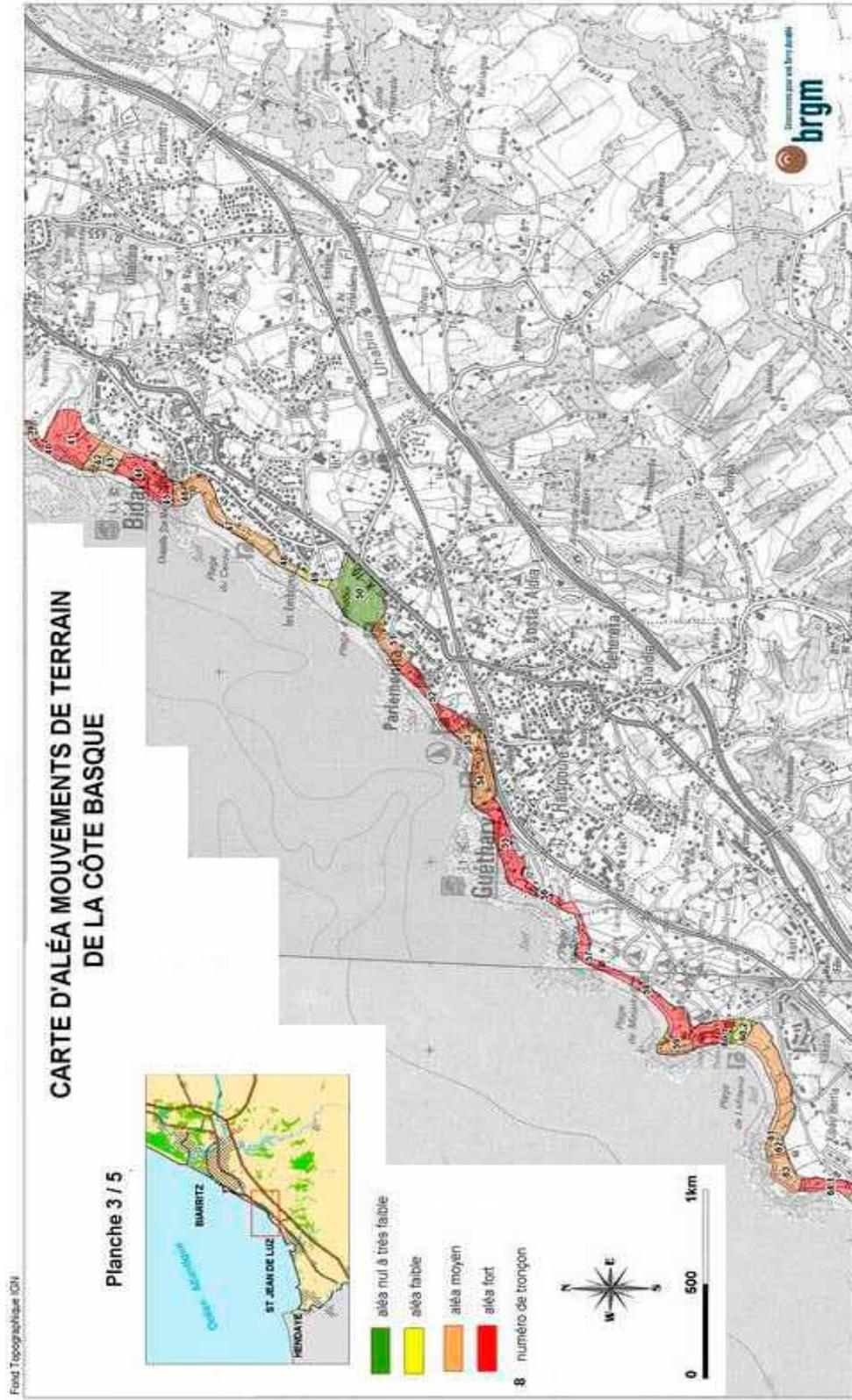


Illustration 24 : Carte d'aléa mouvements de terrain de la côte basque : secteur Guéthary-Biardart (Nedellec et al., 2005)

- **moyen** : supportable financièrement par un groupe restreint de propriétaires (petites purges en falaises, pose de drains, cloutage, paroi,...),
- **fort** : intéressant une aire géographique débordant largement du cadre parcellaire et/ou d'un coût très important et/ou techniquement difficile (stabilisation d'un glissement important, confortement d'un pan de falaise instable,...).

Selon les instructions du guide PPR, les ouvrages de protection existants ne doivent pas être pris en compte dans l'établissement d'une carte d'aléa, dans la mesure où il n'existe pas de certitude quant à leur entretien et donc à leur pérennité.

Sur le littoral basque, 16,9 km de côtes sont classés en aléa fort, 2,4 km en aléa moyen et 8,8 km en aléa faible (linéaires élaborés à l'échelle 1/20 000, Illustration 24).

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du 1/20 000, établie dans le cadre de cette étude, reste un document informatif, élaboré dans l'état actuel des connaissances. Par conséquent, cette cartographie est susceptible d'évoluer en fonction de l'apport de nouvelles données.

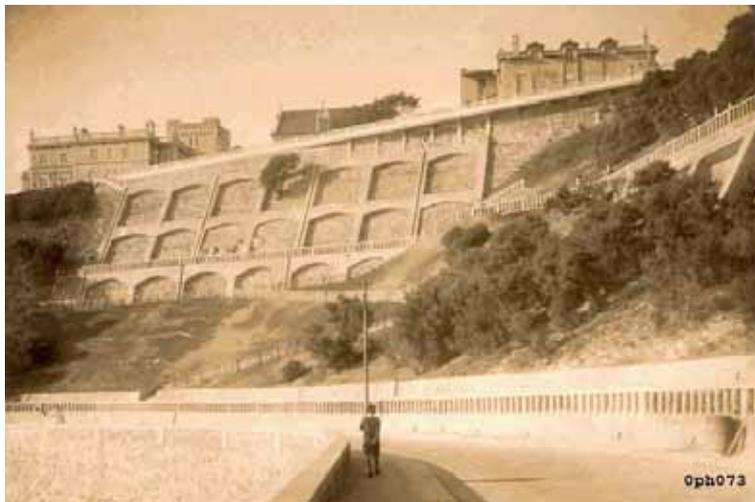
5.3. LES OUVRAGES DE PROTECTION COTIERE

Depuis maintenant deux siècles, de nombreux travaux d'aménagement ont été entrepris sur la côte basque pour la protéger de l'érosion. Ces ouvrages sont de plusieurs types : enrochements, palissades, digues, épis, perrés, quais maritimes, murs de soutènements, confortements de falaises, drains.... Les travaux de stabilisation du littoral qui sont également poursuivis par la majorité des communes consistent à compenser le déficit des plages, en sable, par des opérations régulières de rechargement et de reprofilage.

Initiée au démarrage de l'étude générale, une synthèse exhaustive des travaux de protection a été réalisée pour l'ensemble du littoral basque (Alexandre *et al.*, 2003). Cette étude préalable a permis de compiler un grand nombre de rapports, notamment géotechniques, ainsi que des documents iconographiques anciens.

Aujourd'hui, l'ensemble du linéaire côtier urbanisé est concerné par ces aménagements de protection contre l'érosion. Le contexte montre qu'ils doivent être adaptés en fonction des critères naturels (géologiques, géotechniques, hydrologiques, océanographiques, etc...), des besoins économiques (aménagement urbains, tourisme, etc...) et du patrimoine (écologique, historique, paysager, etc...). La majorité de ces ouvrages de confortement a été installée de façon pérenne et nécessite donc un entretien régulier. Les études géotechniques recensées et réalisées au cours de ce projet révèlent que le drainage est l'intervention essentielle pour la majorité des sites, afin de limiter les instabilités du littoral. A titre d'exemple, la Côte des Basques à Biarritz, a subi un important éboulement le 14 décembre 1930. Des travaux de consolidation ont rapidement débuté afin de conforter la falaise dès 1931 (Alexandre *et al.*, 2003 ; Illustration 25).

Mais quel que soit l'ouvrage de confortement destiné à fixer la position du trait de côte à moyen terme, la déperdition des matériaux de l'estran reste un phénomène inéluctable.



*Illustration 25 : Ouvrages de protection de la Côte des Basques réalisés en 1931
(archives de Biarritz)*

5.4. ETUDE DES INSTABILITES

La détermination des instabilités de terrain à l'échelle du littoral basque est un résultat essentiel qui découle des études préalables qui ont été menées, en particulier géologiques, et qui se traduit par une caractérisation de l'aléa mouvements de terrain. Cependant, la connaissance des processus à l'origine des instabilités nécessite une approche quantitative plus approfondie si l'on souhaite mettre en œuvre des modèles prédictifs et opérationnels. C'est pourquoi des études géologiques et hydrogéologiques détaillées sont menées sur trois sites pilotes : les secteurs d'Ilbarritz (Bidart), d'Harotzen Costa (Guéthary) et des Viviers Basques (Urrugne). Ces sites ont été retenus à partir des principaux critères géologiques, géotechniques, hydrogéologiques, et hydrologiques. A titre d'exemple, la falaise des Viviers-Basques (Illustration 6) est formée par le flysch marno-calcaire de Socoa : une alternance de bancs gréseux calcaires et d'interbancs argileux. Une formation superficielle argileuse recouvre le massif rocheux avec une épaisseur variable. Ces terrains contiennent un aquifère fracturé qui peut s'avérer instable en périodes de hautes eaux.

A terme, ces études de détail ont pour but de quantifier les processus d'érosion suivant des échelles géographiques et temporelles plus restreintes, d'identifier en particulier le rôle de l'eau dans les instabilités, ainsi que de caractériser les altérites, notamment d'un point de vue géomécanique. Les résultats de ces études de détail permettront de comprendre les processus déclenchant les instabilités et de prévoir des parades adaptées. Le suivi météorologique pourrait à terme être adapté et devenir un système de prévention.

Ce qu'il faut retenir...

Inspirée de la connaissance géologique, une typologie des instabilités de la côte basque est développée. La caractérisation de l'aléa mouvements de terrain a permis de définir sur le littoral basque 100 tronçons homogènes (selon des critères physiques) et une cartographie au 1/20 000.

Sur le littoral basque, 16,9 km de côtes sont classés en aléa fort, 2,4 km en aléa moyen et 8,8 km en aléa faible.

Quel que soit l'ouvrage de confortement destiné à fixer la position du trait de côte à moyen terme, la déperdition des matériaux de l'estran reste un phénomène inéluctable.

6. Conclusions

Dans le cadre du contrat de Plan Etat-Région (CPER) l'Etat, la Région Aquitaine, le Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques et le Conseil des Elus du Pays-Basque ont confié au BRGM la mise au point d'un outil de surveillance et de gestion des falaises de la Côte basque, depuis l'embouchure de l'Adour jusqu'à celui de la Bidassoa afin de caractériser les instabilités de la côte du point de vue géologique et géotechnique. L'objectif final de l'ensemble des travaux de l'Observatoire de la Côte Aquitaine étant de mettre à disposition des acteurs du littoral (les services de l'Etat, la Région, les collectivités, les organismes scientifiques, les bureaux d'étude et le grand public) un outil d'aide et de gestion de ce milieu face à son évolution géomorphologique constante, notamment grâce au SIG, à la base de données associée ainsi qu'aux expertises produites au cours du projet.

La grande diversité des données géographiques et iconographiques a permis d'estimer l'évolution historique de la Côte basque, et d'apporter une première quantification du recul du trait de côte sur l'ensemble du linéaire, sur une période de trois siècles environ.

Ces travaux mettent en évidence l'évolution inexorable du littoral basque à l'échelle géologique. Les facteurs naturels de l'érosion identifiés sont à la fois continentaux et marins.

La mise en évidence cartographique et la description de formations altérées (altérites) permettent d'envisager une approche nouvelle dans la connaissance géologique du Pays-Basque et d'améliorer la compréhension des processus de recul du trait de côte, et en particulier de développer un modèle conceptuel relatif à la formation des baies basques. La typologie géologique du littoral a également servi de base pour dresser

une cartographie de l'aléa mouvements de terrain suivant 100 tronçons définis selon des critères physiques homogènes.

Les différentes vitesses d'érosion établies par tronçons, peuvent maintenant être comparées à la typologie géologique et à la dynamique océanique. Ce couplage permettra de faciliter la compréhension des processus naturels et de les analyser à des échelles plus appropriées. Il est alors possible de différencier les mouvements naturels (glissements, effondrements) des instabilités en rapport avec des origines anthropiques.

L'ensemble de ces études constitue un préalable indispensable à la mise en place de politiques publiques de gestion du littoral. En effet, les connaissances acquises à l'échelle régionale de la côte basque ont amené à définir des zonations géologiques et géotechniques qui doivent aujourd'hui être détaillées à l'échelle des instabilités identifiées, aux travers des trois facteurs principaux : marins, continentaux et anthropiques.

Bibliographie

Alexandre A., Mallet C., Dubreuilh J., (2003) – Etude de l'érosion de la Côte Basque. Synthèse bibliographique. Rapport BRGM/RP-52370-FR, 125 p., 32 fig., 4 tab., 30 photos, 3 ann.

Aubié S., Genna A., Petitjean J. avec la collaboration de **Mallet C. et Capdeville J.P.**, (2004-a) - Evolution historique du littoral basque français. Rapport BRGM/RP-53454-FR, 59 p., 32 ill., 1 ann.

Aubié S., Dumeix C., Mallet C., et Baudry D. (2004-b) - Mise en place du SIG de l'Observatoire de la Côte Aquitaine. Rapport BRGM/RP-53362-FR, 31 p., 2 ill., 6 ann.

Capdeville J.P., Combe M., Dubreuilh J. et Teissier J.L. (1982) - Géologie et hydrogéologie de la falaise de la Côte des basques et de son arrière-pays. Rapport BRGM 82 SGN 562 AQL. 36 p. et ann.

Durand N. et Mallet C. (2004) - Analyse du régime météorologique de la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-52955-FR, 57 p., 31 fig., 8 tab.

Genna A., Capdeville J.P., Mallet C. et Deshayes L. (2004) – Observatoire de la Côte Aquitaine – Etude géologique simplifiée de la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-53258-FR, 42 p., 25 ill.

Idier D. et Pedreros R. (2005) Modélisation hydrodynamique de la côte basque. Partie I : marées, courants de marée et surcotes. Rapport BRGM/RP-53705-FR, 75 p., 38 fig., 4 tab.

Nédellec JL, Zornette N., Mathon C., avec la collaboration de **Aubié S.** (2005) - Observatoire de la Côte Aquitaine - Evaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-52783-FR, 9 ill., 2 ann., 41 p.

Pedreros R. et Idier D. (2006) - Modélisation hydrodynamique de la Côte Basque. Partie II : propagation de la houle. Rapport BRGM/RP-53706-FR, en cours.

Winckel A., Mallet C., Aubie S., Petitjean J., et Borie M., (2004) - Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-53372-FR, 113 p., 45 ill., 5 ann.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Aquitaine
Europarc
24 Avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70