

Observatoire de la Côte Aquitaine Etude géologique simplifiée de la Côte Basque

Rapport final

BRGM/RP-53258-FR
décembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004 SP04AQI025

A. Genna
Avec la collaboration de
J.P. Capdeville, C. Mallet et L. Deshayes

Vérificateur :

original signé par S. AUBIE

Approbateur :

original signé J. DUBREUILH

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

Mots clés : Géologie, Littoral basque, Aquitaine, Erosion, Altération, Observatoire de la Côte Aquitaine.

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

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

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre des missions de service public confiées au Service Géologique Régional Aquitaine, une étude géologique de la côte basque a été réalisée. Elle comporte une synthèse bibliographique et une étude de terrain. Elles ont abouti à l'établissement d'une cartographie des paramètres morphologiques et géologiques principaux du trait de côte ainsi que son évolution dans le temps.

Les principales caractéristiques de la géologie sont présentées. Les formations géologiques de la côte basque vont du Trias à l'Oligocène. Des formations plio-quaternaires recouvrent localement les formations anciennes.

La structuration de la côte est principalement due à la formation de la chaîne pyrénéenne et à l'ouverture du bassin oligocène de Biarritz.

Des altérites d'extension régionale, nouvellement décrites, entrent dans la compréhension des processus d'érosion du littoral. Une classification géomorphologique de la côte basque est proposée. Elle permet l'analyse des modes de dégradation.

Une analyse de cartes topographiques anciennes permet de proposer, sur l'ensemble du littoral, une estimation du recul du trait de côte depuis le XVIII^{ème} siècle.

Un nouveau concept est mis à l'étude. Il permettra ultérieurement une approche plus quantitative des processus d'érosion du littoral basque.

Sommaire

1.	Introduction	9
2.	Géologie de la côte basque.....	11
2.1.	Cadre général	11
2.2.	Stratigraphie.....	13
2.2.1.	Généralités	13
2.2.2.	Le Trias	14
2.2.3.	Le Crétacé.....	15
2.2.4.	Le Paléocène	18
2.2.5.	L'Eocène	19
2.2.6.	L'Oligocène	19
2.2.7.	Le Plio-quaternaire.....	19
2.3.	Structuration.....	21
2.3.1.	Généralités	21
2.3.2.	Tectonique pyrénéenne	21
2.3.3.	Tectonique post pyrénéenne.....	22
2.3.4.	Evolution récente	22
3.	L'altération des roches	25
3.1.	Généralités.....	25
3.2.	Paléogéographie.....	28
3.3.	Comportement mécanique.....	29
3.4.	Incidences sur le trait de côte	31
3.5.	Limite cartographique des altérites et de l'érosion océanique	34
4.	Classification géologique de la Côte Basque	35
4.1.	Différents types de côte	35
4.2.	Modes de dégradation	37
5.	Conclusions.....	39
6.	Perspectives	41

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte lithologique simplifiée de la Côte Basque (Lambert 2 étendu)	12
Illustration 2 : Relation géométrique entre la configuration des massifs paléozoïques basques et la flèche des chevauchements précoces replissés d'Amotz-Arberoue et d'Ahetze (Razin et Mulder, 2003)	13
Illustration 3 : Affleurement de gypse triasique (Bidart).....	15
Illustration 4 : Flysch à silex (Guéthary).....	16
Illustration 5 : Flysch de Socoa (Urrugne).....	16
Illustration 6 : Flysch gréseux d'Hendaye (Baie de Loia).....	17
Illustration 7 : Marnes de Bidart.....	18
Illustration 8 : Calcaires rosés du Danien (Bidart).....	18
Illustration 9 : Calcaires gréseux oligocènes (Biarritz).....	19
Illustration 10 : Formations sableuses plio-quaternaires du Pavillon Royal (Bidart).....	20
Illustration 11 : Pli pyrénéen de la Pointe Sainte-Barbe (Saint-Jean-de-Luz).....	21
Illustration 12 : Formations oligocènes basculées, synclinal de Biarritz.....	22
Illustration 13 : Faille normale dans les formations plio-quaternaires de la plage du Pavillon Royal (Bidart).....	23
Illustration 14 : Carte de localisation des types d'altérites basques et reconstitution du mur des altérites par les 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 marines.....	26
Illustration 15 : Coupe type de l'altérite	27
Illustration 16 : Altérite sur flysch crétacé (Saint-Jean-de-Luz).....	27
Illustration 17 : Front d'altération sur flysch crétacé (Bidart).....	28
Illustration 18 : Exemple de front d'altération. a : dessin d'ensemble de l'affleurement situé sur la plage des Embruns à Bidart (1 : silex, 2 : roche altérée, 3 : roche non altérée). b : détail de « a » mettant en évidence la variation de volume des matériaux.....	30
Illustration 19 : Altérite, Baie d'Erromardie (Saint-Jean-de-Luz).....	31
Illustration 20 : Schéma de principe. Evolution du littoral, dans le cas où la côte est constituée d'une roche non altérée en front de mer et d'une altérite à l'intérieur. 1 : état initial, 2 : ouverture des baies, 3 : formation d'îlots, 4 : formation d'une grande plage.....	32
Illustration 21 : Blocs diagrammes a, b, c, et d correspondant aux différents cas de l'illustration 20.....	33
Illustration 22 : Coupe théorique. Mise en évidence de la surimposition de l'érosion océanique sur le modelé continental.....	34
Illustration 23 : Types de zones sélectionnés pour servir de base au découpage géotechnique de la côte (voir texte pour le détail).....	36

Illustration 24 : Principales variantes des types de la figure précédente.....	36
Illustration 25 : Résumé des modes de dégradation correspondant aux types de côte (types 1 à 5 de la figure 24, les côtes meubles des types 6 et 7 ne sont pas représentés).	38

1. Introduction

Cette étude a été réalisée dans le cadre des missions de service public qui ont été confiées au Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM. Elle s'intègre dans le Contrat de Plan Etat-Région 2001-2006 et fait partie des travaux menés par l'Observatoire de la Côte Aquitaine. Elle a bénéficié du résultat d'études préliminaires bibliographiques (Alexandre *et al.*, 2003) et techniques (Deshayes, 2003). Ce travail a pour objectif de caractériser l'érosion du littoral d'un point de vue géologique. Ses résultats servent de base aux études géotechniques qui caractériseront les phénomènes d'instabilité de la côte.

La Côte basque présente une diversité géologique importante (Illustration 1). Stratigraphiquement, les séries affleurantes vont des formations triasiques du Keuper aux plages et dunes récentes de l'Atlantique. Les terrains sont très déformés dans la partie sud de la côte rocheuse par la formation de la chaîne pyrénéenne et sont moins fracturés dans la partie nord.

Les roches saines en profondeur, sont altérées en surface, au contact des eaux météoriques. Ces altérations modifient notablement le comportement mécanique des roches qui sont plus aisément sujettes à des phénomènes d'instabilités.

Le comportement hydrogéologique de la côte basque dépend de sa configuration géologique. Les sables plio-quadernaires représentent généralement les réservoirs. Les altérites favorisent les niveaux imperméables et les sols hydromorphes.

2. Géologie de la côte basque

2.1. CADRE GENERAL

La côte basque constitue le prolongement S.W. de la grande plage des Landes. Elle se situe à la jonction entre la plaine landaise et l'extrémité ouest de la chaîne pyrénéenne et présente ainsi une diversité géologique importante, des formations triasiques du Keuper aux plages et dunes récentes landaises (Razin, 1989 ; Lamare et Goguel, 1963 ; Lamare et Destombes, 1964). La chaîne pyrénéenne correspond à un domaine plissé d'allure rectiligne qui s'étend d'ouest en est sur environ 1 000 km, de la Galice au Languedoc.

Le système pyrénéen est essentiellement issu d'un raccourcissement nord-sud créé par la convergence puis par la collision des plaques ibérique et européenne, entre le Crétacé supérieur et le Miocène. Le déplacement relatif du bloc ibérique a ainsi engendré, d'une part une chaîne intracontinentale entre les marges nord-ibérique et sud-aquitaine, et d'autre part, une subduction de la croûte océanique du Golfe de Gascogne sous la marge nord-espagnole engendrant de grandes fractures (Illustration 2).

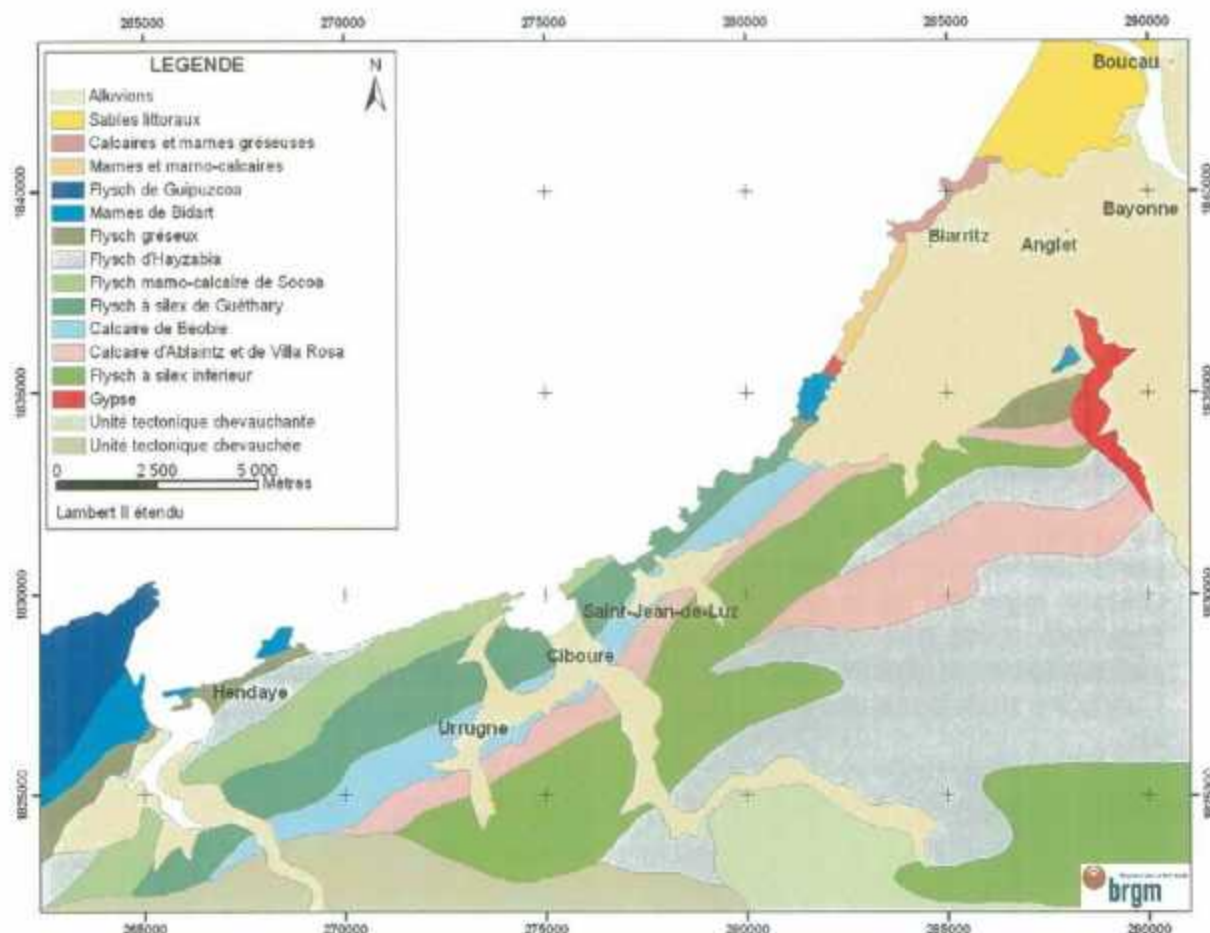


Illustration 1 : Carte lithologique simplifiée de la Côte Basque (Lambert 2 étendu)

Deux unités principales affleurent sur la Côte basque : les unités septentrionales et les unités frontales (Razin et Mulder, 2003).

- Les unités septentrionales :

Elles se particularisent par une sédimentation gravitaire profonde à caractère distal (c'est-à-dire se déposant loin des sources d'apports terrigènes). Une succession de systèmes turbiditiques gréseux ou carbonatés les caractérisent. Ces unités sont décollées sur le Keuper et reposent en contact tectonique sur les unités méridionales de la Rhune et de Cinco Villas suivant le chevauchement à vergence sud d'Amotz ($\Phi 1$). Elles regroupent deux unités inférieures : l'unité d'Ustaritz au sud et l'unité Sainte-Barbe. Ces dernières se superposent le long d'un chevauchement précoce à vergence sud : le chevauchement de Sainte-Barbe ($\Phi 2$). Au sud, ces deux unités se regroupent et forment l'unité de la Pointe Sainte-Anne. Cette unité est décollée sur une surface de glissement vers le nord, subparallèle à la stratification. Les unités septentrionales sont limitées au nord par le rétro-chevauchement de l'unité de Biarritz ($\Phi 3$).

- Les unités frontales :

Elles sont constituées de séries syntectoniques du Lutétien supérieur à l'Oligocène et reposent en contact stratigraphique sur un complexe chaotique dont la composition coïncide avec celle des séries qui forment le niveau de décollement des unités septentrionales (argiles, évaporites du Keuper, ophite, dolomie liasique...).

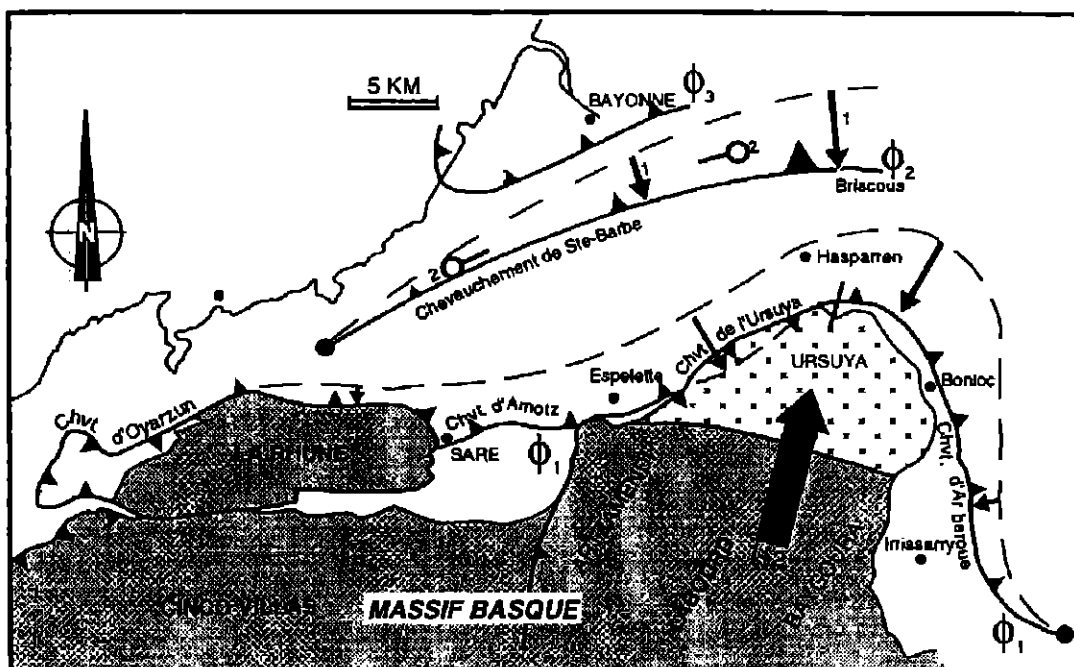


Illustration 2 : Relation géométrique entre la configuration des massifs paléozoïques basques et la flèche des chevauchements précoces replissés d'Amotz-Arberoue et d'Ahetze (Razin et Mulder, 2003).

2.2. STRATIGRAPHIE

2.2.1. Généralités

Les terrains les plus anciens sont d'âge triasique. Cette formation est de faible extension. Elle est particulièrement instable (commune de Bidart). Elle contient des masses de gypse très déformées qui constituent un important niveau de décollement pyrénéen.

Selon la carte géologique à 1/50 000 (Lamare et Goguel, 1963) il existe un affleurement de Jurassique indifférencié à Ibarritz.

La majeure partie des terrains exposés sur la côte est d'âge crétacé. A la base, le flysch campanien représente la plus grande partie des affleurements. Il est composé d'alternances de calcaires et de marnes ou de successions marno-argileuses avec des passages conglomératiques. La série crétacée se termine par les calcaires blancs et roses du Danien.

Dans la partie nord de la côte rocheuse, les formations tertiaires sont représentées par des formations éocènes et oligocènes. L'Eocène est constitué par les marno-calcaires de la base du Lutétien supérieur, marnes et marno-calcaires du sommet du Lutétien et du passage au Bartonien, les marno-calcaires gris de l'Eocène supérieur.

L'Oligocène, peu déformé, est constitué par les grès calcaires et calcaires gréseux à nummulites (Sannoisien supérieur) du rocher de la Vierge, l'affleurement de calcaires gréseux et marnes noirâtres à nummulites (Sannoisien supérieur) de l'Hôtel du Palais et des marnes gréseuses du phare de Biarritz.

Au dessus de ces formations anciennes, des sédiments récents se sont déposés. Ils représentent probablement l'équivalent latéral des formations landaises (Carez, 1896). Elles sont constituées par deux termes principaux avec à la base des conglomérats et sables conglomératiques et au sommet des formations dunaires. Des niveaux de tufs et lignites s'intercalent dans les formations dunaires de la plage du Pavillon Royal.

Les falaises du littoral basque constituent d'exceptionnels affleurements du fait de leur évolution continue sous l'effet de l'érosion océanique (Genna *et al.*, soumis).

2.2.2. Le Trias

Les argiles rouges ou bariolées du Keuper représentent les terrains les plus anciens de la côte basque. Cette formation affleure sur la commune de Bidart sur quelques dizaines de mètres de côte (Illustration 3). Elle contient des masses de gypse très déformées qui constituent un important niveau de décollement pyrénéen. Elle sert notamment de couche-savon pour les chevauchements d'Amotz et de Sainte-Barbe (Razin et Mulder, 2003).



Illustration 3 : Affleurement de gypse triasique (Bidart).

2.2.3. Le Crétacé

Le littoral basque est constitué pour sa majeure partie de séries turbiditiques d'âge crétacé (Razin, 1989) :

- Flysch à silex de Guéthary

Le Flysch à silex de Guéthary est d'âge coniacien inférieur (Illustration 4). Il affleure à deux endroits sur le littoral : dans la Baie de Saint-Jean-de-Luz entre Ciboure et Socoa et du sud de Bidart à l'anse d'Erromardie. Son épaisseur est estimée entre 600 et 800 m. Il est composé d'une alternance de couches minces à massives de calcaires à nodules et rubans de silex, et d'interbancs marneux.

Le faciès de cette série turbiditique est homogène sur une très grande épaisseur. Ce n'est que dans sa partie sommitale que des changements de faciès apparaissent, traduisant un approfondissement du système sédimentaire. Cet approfondissement s'accompagne d'importants phénomènes de glissements synsédimentaires qui caractérisent les 50 derniers mètres de la formation : les slumps d'Erromardie.



Illustration 4 : Flysch à silex (Guéthary).

- Flysch marno-calcaire de Socoa

Ce flysch, d'âge coniacien supérieur à santonien moyen, affleure entre Socoa et au droit du lieu-dit « Kauterenborda » ainsi qu'à l'ouest de la baie de Saint-Jean-de-Luz (Illustration 5). Son épaisseur est estimée entre 350 et 400 m. Il se compose d'une alternance de bancs centimétriques à décimétriques de calcaire à silex, de marno-calcaires et de marnes.

L'évolution du Flysch à silex de Guéthary vers le Flysch marno-calcaire de Socoa se traduit par une raréfaction des lits de silex et un épaissement des intercalations marneuses. Cette évolution montre un net approfondissement du milieu de dépôt.



Illustration 5 : Flysch de Socoa (Urrugne).

- Flysch d'Hayzabia

Le Flysch d'Hayzabia, d'âge santonien supérieur - campanien moyen, affleure entre Kauterenborda et la Baie de Loia ; son épaisseur est de 390 m. Il est divisé en deux membres :

- les Turbidites du Makila : série turbiditique carbonatée qui correspond à une lente évolution du Flysch marno-calcaire de Socoa vers des faciès de plus en plus proximaux, c'est-à-dire proches des sources d'apports terrigènes.
- les Marno-calcaires de Loia composés essentiellement d'alternances de marnes et marno-calcaires.

- Flysch gréseux

Appelé également « Flysch gréseux d'Hendaye », il est d'âge campanien supérieur et affleure de la Baie de Loia (Illustration 6) à la plage d'Hendaye sous l'unité tectonique de la Pointe Sainte-Anne. Il est constitué d'une succession de couches minces d'épaisseur maximum de 20 cm de calcaires gréseux et calcaires micritiques.



Illustration 6 : Flysch gréseux d'Hendaye (Baie de Loia).

- Marnes de Bidart (Razin, 1989)

Les marnes de Bidart appartiennent au Maestrichtien. Cette formation affleure principalement dans deux unités tectoniques : l'unité de la Pointe Sainte-Anne et l'unité de Bidart (Illustration 7). Elle est composée d'une alternance de marnes, calcaires et marno-calcaires rouges à gris-vert à stratification.



Illustration 7 : Marnes de Bidart.

2.2.4. Le Paléocène

Les calcaires rosés du Danien composent la seule formation d'âge paléocène présente sur la Côte basque. Ce sont des calcaires légèrement argileux qui affleurent au niveau de Bidart (Illustration 8) et à la Pointe Sainte-Anne où elle constitue « les Deux Jumeaux » (Razin, 1989 ; Pardineille, 2000). Cette formation repose sans discontinuité sur les Marnes de Bidart, comme l'atteste la limite Crétacé/Tertiaire (ou limite K/T) présente dans les unités tectoniques de la Pointe Sainte-Anne et de Bidart. Elle est soulignée par un lit décimétrique de marne verte (lit à iridium). Ces coupes sont considérées « comme les plus complètes et les meilleures d'Europe » parmi les six endroits recensés (Lacazedieu *et al.*, 1996).



Illustration 8 : Calcaires rosés du Danien (Bidart).

2.2.5. L'Eocène

Les terrains éocènes présents sur le littoral basque affleurent de la Côte des Basques à Biarritz aux falaises de Bidart (Désurmont, 1995). Ce sont des marnes tantôt homogènes, tantôt en alternance avec des calcaires argileux, des calcaires gréseux ou des calcaires. Ces séries marneuses atteignent localement 50 m d'épaisseur à l'affleurement.

2.2.6. L'Oligocène

L'Oligocène affleure à, Biarritz, de la Chambre d'Amour au Rocher de la Vierge, il est constitué par des calcaires gréseux et marno-gréseux (Illustration 9). Les séries se présentent sous la forme d'alternance de strates dures (calcaréo-gréseux) et tendres (marno-gréseuses) (Désurmont, 1995).



Illustration 9 : Calcaires gréseux oligocènes (Biarritz).

2.2.7. Le Plio-quaternaire

Le Plio-quaternaire est constitué de plusieurs formations (Pardineille, 2000) :

- les alluvions récentes :

Ce sont des dépôts fluviatiles des basses plaines alluviales, formés de matériaux limoneux et de galets. Ils se retrouvent concentrés dans les principales vallées, à savoir les rivières de Senix et d'Erromardie, de la Nivelle, de l'Untxin et de la Bidassoa.

- la terrasse alluviale :

La terrasse alluviale affleure principalement au nord du littoral basque. Elle est essentiellement formée de sables et de graves argileuses agglomérées (Illustration 10). A partir de Bidart et en allant vers Saint-Jean-de-Luz, cette formation s'amincit progressivement, n'affleurant plus qu'au niveau de la plage de Senix et au sud-ouest de celle d'Erromardie.



Illustration 10 : Formations sableuses plio-quaternaires du Pavillon Royal (Bidart).

- Les dépôts littoraux sableux :

Les dépôts littoraux sableux sont dus aux apports et aux remaniements de l'océan. Ils se situent au pied des falaises depuis Anglet jusqu'à la commune de Guéthary et, plus au sud, exclusivement au fond des anses et des baies. Concernant la granulométrie, les matériaux varient selon les plages. Trois secteurs ont particulièrement été étudiés :

Au niveau d'Anglet, deux types de sables ont été mis en évidence : un fin (0,2 à 0,4 mm) de couleur claire et un sable grossier de 5 à 10 mm de couleur jaune (Landouer, 1990).

Dans la Baie de Saint-Jean-de-Luz, ce sont des sables fins à moyens qui tapissent le fond de la baie (Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 1986).

A Hendaye, les sables sont fins, homogènes et de couleur gris-clair (Pardineille, 2001).

2.3. STRUCTURATION

2.3.1. Généralités

La structuration de la côte basque est complexe, à l'image de son histoire géologique. Les déformations peuvent être classées en trois catégories. Les plus anciennes sont liées à la mise en place de la chaîne pyrénéenne et affectent les formations géologiques d'âge éocène moyen ou plus ancien (Choukroune, 1976). Au-dessus de l'Eocène, les formations oligocènes sont peu déformées. Il existe une évolution récente, d'âge plio-quaternaire, qui induit des déformations à grand rayon de courbure combinées aux phénomènes d'érosion et d'altération.

2.3.2. Tectonique pyrénéenne

La tectonique pyrénéenne s'exprime principalement par des plis qui constituent des affleurements exceptionnels, notamment au nord de Saint-Jean-de-Luz (Illustration 11). Ces plis ont généralement des plans axiaux sub-horizontaux et des charnières très pincées. Ils constituent ainsi des trains de plis en chevrons. Les axes de ces plis sont d'orientation N-S à NE-SW et sont souvent parallèles à la côte. De très nombreux effets de section sont induits par le parallélisme entre les structures tectoniques et la géométrie de la côte, favorisant une complexité apparente qui rend la lecture des structures tectoniques parfois difficile.

Peu de failles affectent les falaises de la côte basque, à l'exception des grandes failles pyrénéennes développées dans le gypse au nord de Bidart et dans la Baie de Loia près d'Hendaye. Des failles parallèles ou obliques par rapport à la stratification sont cependant visibles en divers points de la côte et constituent généralement les termes les plus avancés de l'évolution des plis.



Illustration 11 : Pli pyrénéen de la Pointe Sainte-Barbe (Saint-Jean-de-Luz).

2.3.3. Tectonique post pyrénéenne

Les formations oligocènes sont peu déformées. Elles sont uniquement affectées par le plissement à grand rayon de courbure du synclinal de Biarritz (Illustration 12). Cette structure d'extension régionale se développe largement vers l'Ouest, en mer.

Un important faisceau de failles normales passe par la ville de Biarritz. Elles sont d'orientation E-W à NE-SW et généralement à pendage nord. Elles affectent la Pointe de Biarritz (Pointe Saint-Martin), la Pointe du Rocher de la Vierge et le port de Biarritz. Elles limitent ainsi, dans sa bordure Sud, le grand synclinal qui souligne les formations de l'Oligocène.



Illustration 12 : Formations oligocènes basculées, synclinal de Biarritz.

2.3.4. Evolution récente

Les formations récentes (conglomérats et formations dunaires du Pavillon Royal) sont affectées par des mouvements de faible amplitude mais à grand rayon de courbure et par des effondrements (Illustration 13) principalement causés par la dissolution du gypse triasique sous-jacent.

Les déformations à grand rayon de courbure sont à relier à l'évolution récente des Pyrénées. Les modalités de cette évolution sont toutefois mal connues. Elles résultent probablement d'une surrection actuelle, mise en évidence par l'observation du nivellement et par l'analyse des réseaux hydrographiques actuels et anciens.



Illustration 13 : Faille normale dans les formations plio-quaternaires de la plage du Pavillon Royal (Bidart).

3. L'altération des roches

3.1. GENERALITES

Une altérite¹ d'extension régionale a été mise en évidence sur la côte basque (Illustration 14). Elle présente un intérêt fondamental dans l'analyse des phénomènes d'instabilité. Cette formation se prolonge à l'intérieur du Pays-Basque jusqu'au pied des premiers reliefs pyrénéens et induit des instabilités sur l'ensemble de la zone où elle se développe. Son épaisseur est variable. Son profil est résumé par l'illustration 15. Elle atteint 50 mètres, en divers points de la côte, au nord de Saint-Jean-de-Luz (Illustration 16). L'altérite étant génétiquement liée à la roche saine d'origine et aux processus d'altération², sa composition pétrographique hérite de l'ensemble de ces paramètres lithologiques et chimiques. Par conséquent, compte tenu de la grande variabilité géologique du Pays-Basque, on emploiera d'avantage le terme « des altérites » ou des différents « types d'altérites » dans cette étude.

L'évolution complexe de cette zone est, à une autre échelle, tributaire des mouvements à grand rayon de courbure de l'écorce terrestre et des variations eustatiques de l'océan. Ainsi, les types d'altérite constituent un bon marqueur de la dynamique récente de la côte aquitaine et permettent d'apporter des arguments, par des données autres que lithologiques ou stratigraphiques, aux observations néotectoniques (mécanismes au foyer) ainsi qu'aux anomalies du nivellement.

Ces altérites ont initialement été identifiées et décrites dans les formations calcaires du flysch crétacé. Dans cet horizon, elles se présentent sous forme d'une marne plus ou moins argileuse, sous forme d'argiles ocre dans ses faciès les plus évolués. Aux stades initiaux, on reconnaît encore les plis pyrénéens, plus ou moins entraînés dans les mouvements internes et récents des altérites. Dans ses stades plus terminaux, elle est constituée par une matrice argileuse déstructurée dans laquelle flottent des fragments parallélipédiques de flysch altéré.

¹ Altérite (n.f.) : formation superficielle résultant de l'altération et de la fragmentation sur place de roches antérieures sans transformations pédologiques notables (Dictionnaire de Géologie, Foucault et Raoult, 5^{ème} éd.).

² Altération (n.f.) : modification des propriétés physico-chimiques des minéraux, et donc des roches, par les agents atmosphériques, par les eaux souterraines et les eaux thermales. Elle dépend en particulier du climat, de la température des eaux, de la nature des roches et de leur degré de fracturation. Elle a généralement pour effet de rendre les roches moins cohérentes ce qui facilite leur désintégration (Dictionnaire de Géologie, Foucault et Raoult, 5^{ème} éd.).

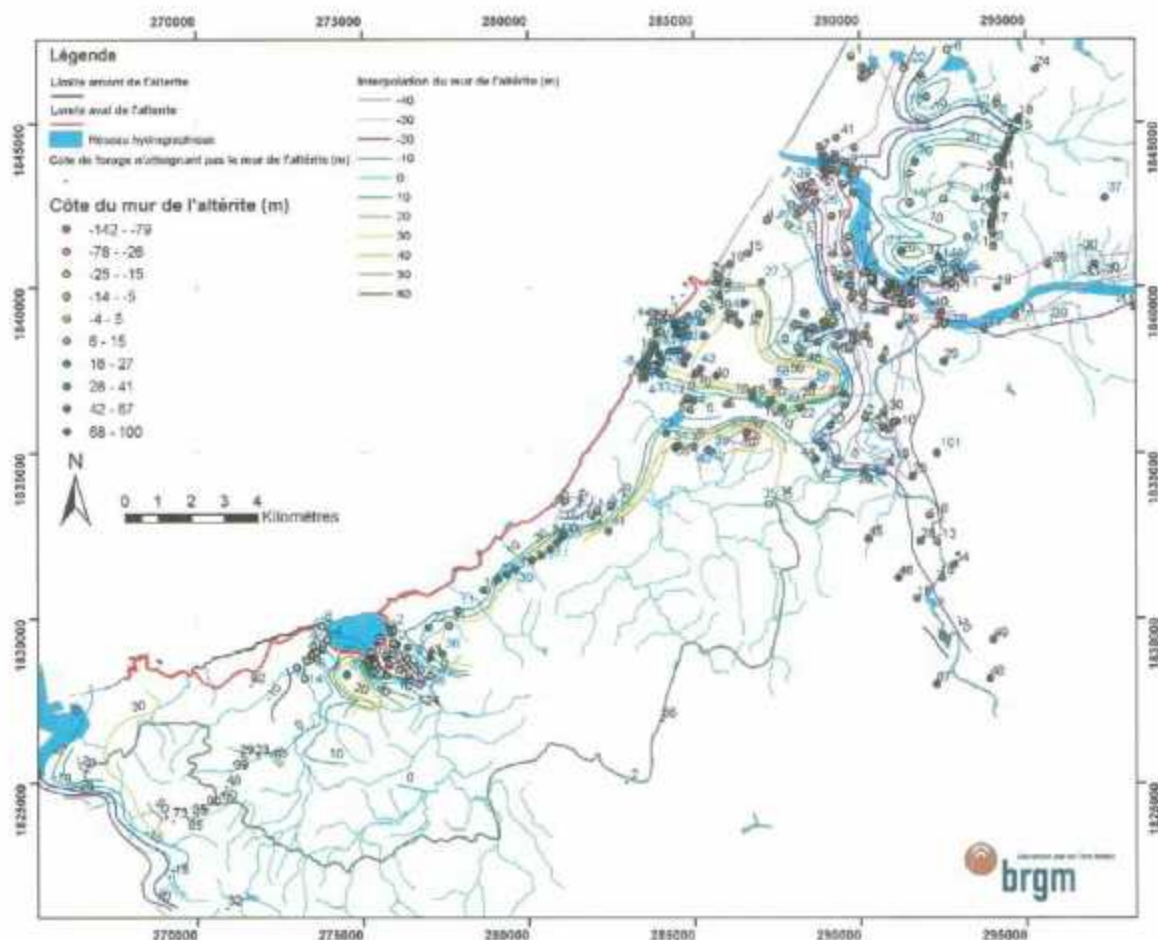


Illustration 14 : Carte de localisation des types d'altérites basques et reconstitution du mur des altérites par les sondages de la Banque de Données du Sous-Sol du BRGM (BSS). Les limites amont et aval des altérites correspondent respectivement aux limites continentales et marines.

Le front d'altération est tantôt très étroit (quelques millimètres), tantôt très large (Illustration 15, Illustration 17), représenté par un réseau de fractures oxydées qui séparent des blocs argilo-marneux encore gris-bleutés.

Il est plus difficile d'identifier ces altérites en dehors du flysch carbonaté car il n'est pas aisé de différencier à l'affleurement les argiles anciennes des altérites, en l'absence d'observations latérales continues sur un même niveau géologique. La présence des altérites est toutefois attestée dans la partie nord de l'étude, sur les formations marneuses éocènes de la Côte des Basques.

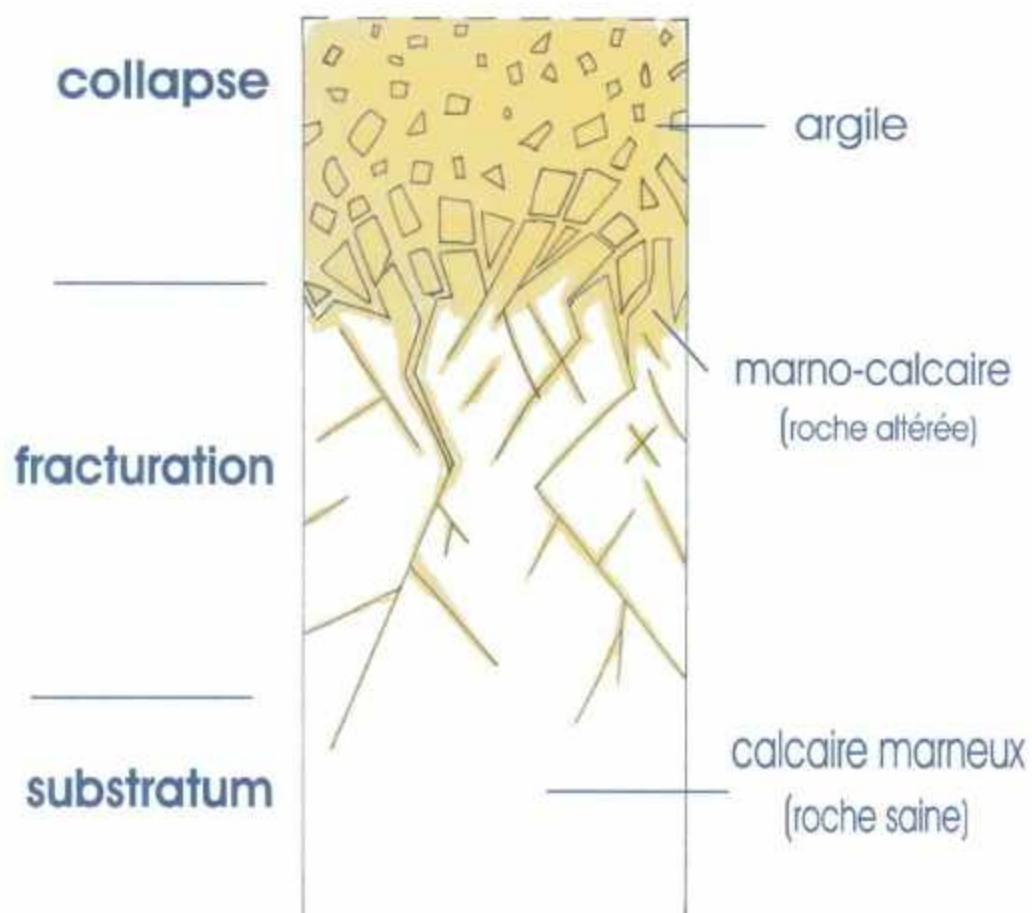


Illustration 15 : Coupe type de l'altérite



Illustration 16 : Altérite sur flysch crétacé (Saint-Jean-de-Luz).



Illustration 17 : Front d'altération sur flysch crétacé (Bidart).

3.2. PALEOGEOGRAPHIE

Observable de Biarritz à Hendaye, une paléosurface se situe généralement sous les formations conglomeratiques et sableuses plio-quaternaires. Ces sables, d'épaisseur réduite, peuvent correspondre à des témoins, en Pays-Basque, de la formation des sables des Landes (Carez, 1896). Divers arguments tirés de l'observation du réseau hydrographique et de la géométrie du mur des altérites plaident en cette faveur.

Le réseau hydrographique secondaire actuel du littoral basque tourne le dos à la côte. Le réseau principal est sub-parallèle à la ligne de côte ainsi que les principales paléo-vallées. Cette configuration évoque l'évolution des fleuves côtiers des Landes sous l'effet de la contrainte imposée par un cordon dunaire parallèle à la ligne de rivage, ainsi que de la dérive littorale du Nord vers le Sud.

Le long de la côte basque, le mur des altérites, particulièrement bien exposé, semble plonger vers le sud-est, vers l'intérieur des terres, et non vers l'océan. Au-delà du fait que cette observation confirme le caractère ancien de cette formation, elle démontre également la concordance géométrique de la base des altérites avec le réseau hydrographique. On note également que, dans la partie nord de la zone étudiée, la base des formations plio-quaternaires plonge également vers l'intérieur des terres (Capdeville *et al.*, 1982). Ces constatations révèlent le parallélisme possible entre phénomène d'altération, réseau hydrographique et évolution du cordon dunaire.

Les observations précédentes posent le problème de l'âge relatif des divers phénomènes mis en jeu. Ainsi, l'âge de la formation sableuse du Pays-Basque par rapport à la mise en place des sables des Landes représente une des clefs de ces problèmes. L'âge du phénomène d'altération serait également important à comparer à celui de la formation sableuse du Pays-Basque.

Une reconstitution du mur des altérites a été réalisée à partir des sondages répertoriés dans la Banque de données du Sous-sol du BRGM - BSS (Illustration 14). Elle met en évidence divers approfondissements qui canalisent les circulations d'eaux souterraines.

3.3. COMPORTEMENT MECANIQUE

Le phénomène d'altération se manifeste principalement par une oxydation et une décarbonatation des calcaires du Crétacé. Dans le flysch de Guéthary, les rognons siliceux qui arment les calcaires sont les seuls éléments durs qui subsistent dans la matrice argileuse des altérites. L'alignement de ces rognons marque la trace de la stratification dans la formation altérée. Ils marquent également la cinématique des mouvements qui accompagnent l'altération et les phénomènes de glissements gravitaires actuels.

La transformation des formations géologiques par hydrolyse en altérites confère aux roches des propriétés nouvelles souvent très différentes de leurs propriétés initiales. La réduction de volume occasionnée au cours de la décarbonatation ainsi que la formation de minéraux argileux fibreux par diagénèse (Illustration 18), induit la formation et l'ouverture de réseaux de fractures parfois très denses qui modifient les capacités de circulation des fluides et de stockage de ces roches.

Les possibilités d'hydrolyse sous couverture sont importantes dans cette problématique, aggravées par la présence des sables et de niveaux riches en matière organique. Il en découle une capacité différentielle d'altération des terrains. A l'inverse, les altérites anciennes peuvent augmenter de volume sous l'effet d'une réhydratation par les eaux superficielles, météoriques ou par les fuites des réseaux urbains.

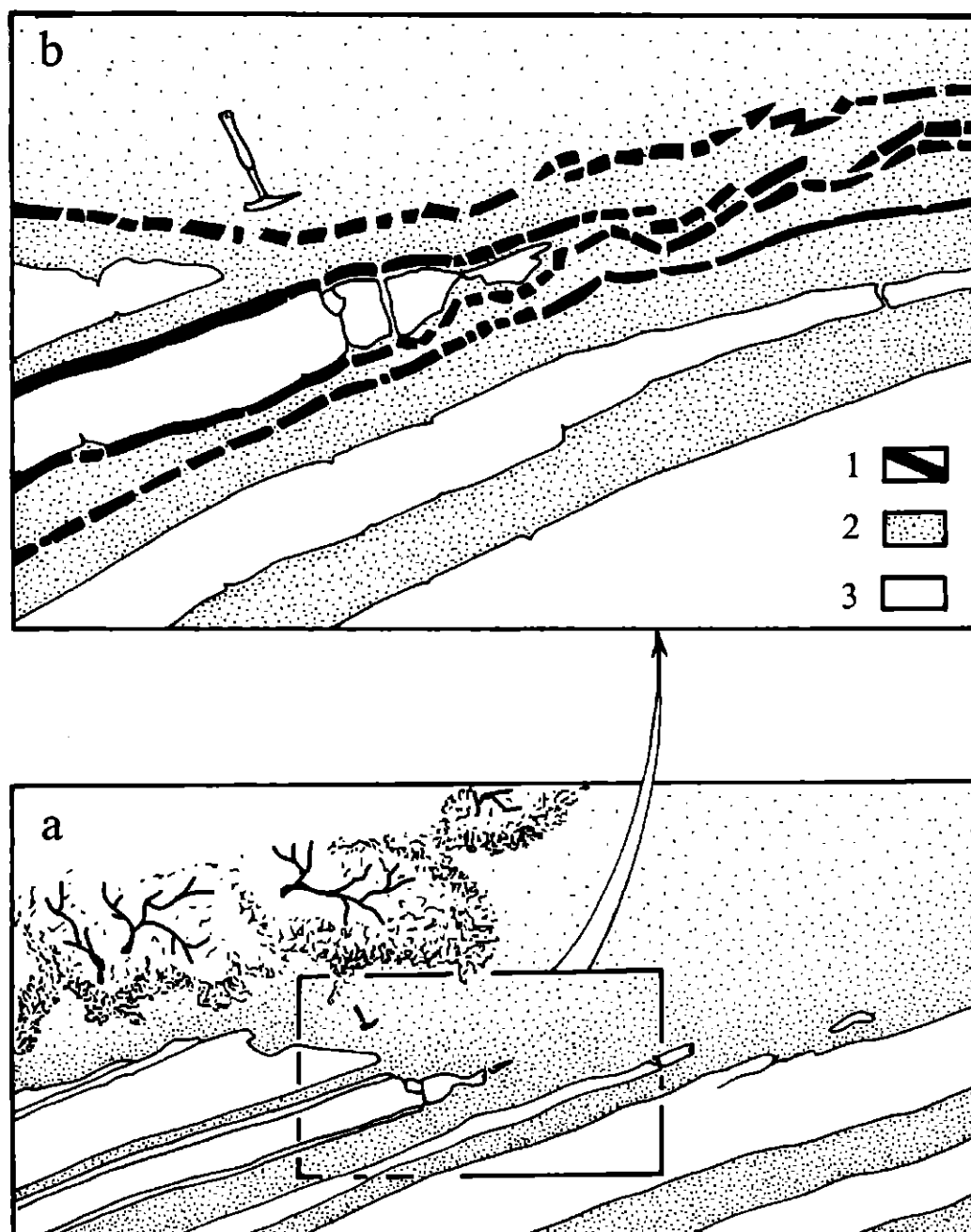


Illustration 18 : Exemple de front d'altération. a : dessin d'ensemble de l'affleurement situé sur la plage des Embruns à Bidart (1 : silex, 2 : roche altérée, 3 : roche non altérée). b : détail de « a » mettant en évidence la variation de volume des matériaux.

3.4. INCIDENCES SUR LE TRAIT DE COTE

La dynamique d'érosion côtière est fortement influencée par la répartition de l'altérite basque. Elle détermine l'évolution future du trait de côte. En effet, 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. L'altérite produit un profil d'équilibre beaucoup 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 baie de Saint-Jean-de-Luz et de diverses plages de la côte dite rocheuse.

Au nord de Saint-Jean-de-Luz, il ne reste plus qu'une mince barre de calcaires durs, le long de la côte. A l'arrière de cette barre, les altérites semblent se développer en surface et jusqu'à un niveau voisin du niveau de la mer. Cette organisation peut s'étendre jusqu'au pied des premiers reliefs pyrénéens. La baie de Saint-Jean-de-Luz constitue une première trouée de l'océan à travers cette muraille naturelle. Il en est de même, dans une moindre mesure, sur diverses plages de la côte où il est prévisible de voir se développer d'autres baies identiques à celle de Saint-Jean-de-Luz. L'exemple le plus important est celui de la plage d'Erromardie qui n'est plus protégée par la barre rocheuse (Illustration 19). L'érosion s'effectue actuellement exclusivement dans les altérites et l'on peut prévoir à cet endroit le creusement d'une baie, s'il n'y a pas d'intervention humaine. La rapidité du phénomène peut d'ailleurs être chiffrée en fonction de la vitesse de l'érosion actuelle. Ces constatations nous conduisent à proposer un modèle d'évolution global de cette partie de la côte. Il est résumé par les illustrations 20 et 21.



Illustration 19 : Altérite, Baie d'Erromardie (Saint-Jean-de-Luz).

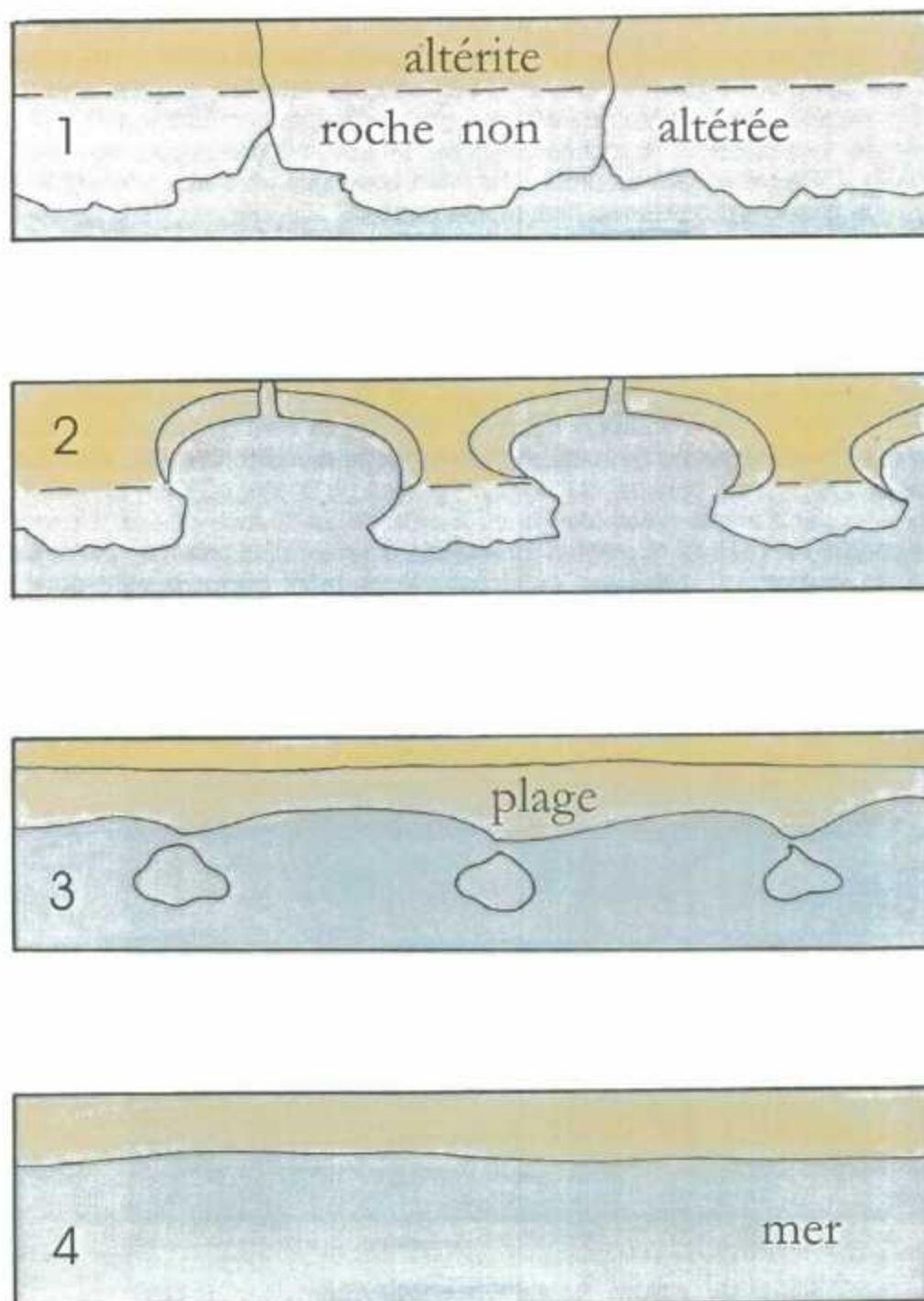


Illustration 20 : Schéma de principe. Evolution du littoral, dans le cas où la côte est constituée d'une roche non altérée en front de mer et d'une altérite à l'intérieur. 1 : état initial, 2 : ouverture des baies, 3 : formation d'îlots, 4 : formation d'une grande plage.

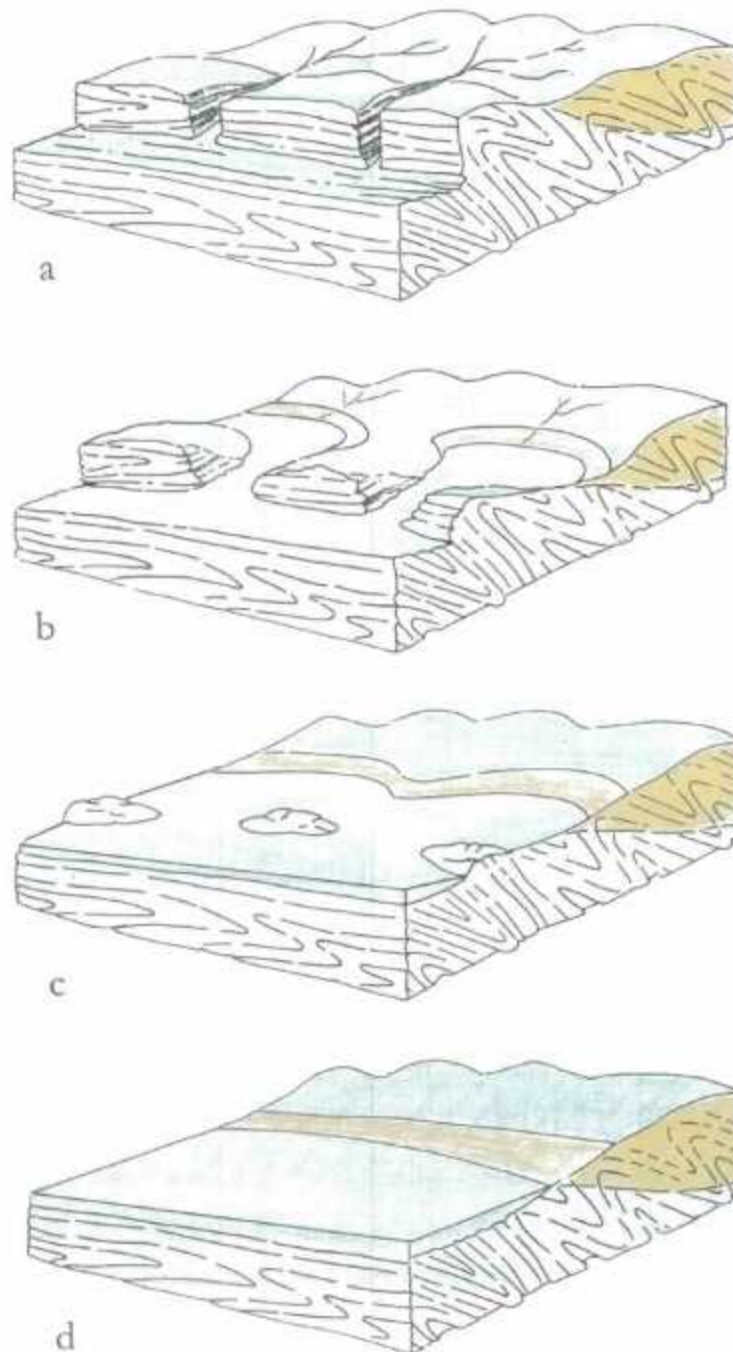


Illustration 21 : Blocs diagrammes a, b, c, et d correspondant aux différents cas de l'illustration 20.

3.5. LIMITE CARTOGRAPHIQUE DES ALTERITES ET DE L'EROSION OCEANIQUE

Une cartographie de la base des altérites a été réalisée. La limite de la zone affectée par l'érosion océanique a également été relevée. Ces limites font l'objet d'un report à l'échelle, sur l'ensemble du littoral basque (Deshayes, 2003). L'illustration 22 révèle les relations spatiales entre les deux traits de la base des altérites et du modelé océanique qui ont été relevés sur l'ensemble du linéaire de côte étudié. Ces relations varient en fonction de la configuration géologique.

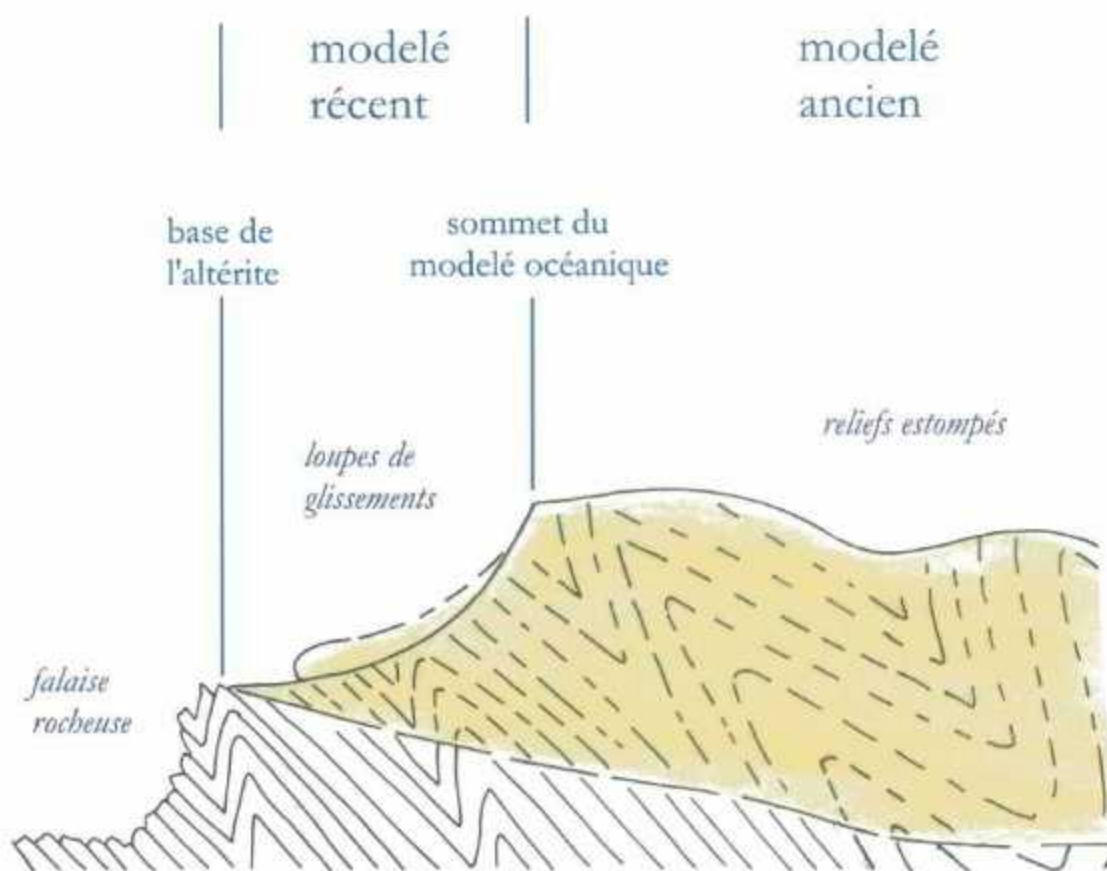


Illustration 22 : Coupe théorique. Mise en évidence de la surimposition de l'érosion océanique sur le modelé continental.

4. Classification géologique de la Côte Basque

4.1. DIFFERENTS TYPES DE COTE

La côte basque peut être subdivisée en différentes zones, en fonction du comportement mécanique de ses roches et de leur mode de dégradation. Sept types de zones ont ainsi été différenciés pour servir de base au découpage géotechnique de la côte. Ils sont représentés sur l'illustration 23.

TYPE 1 : stratification horizontale ou sub-horizontale avec couverture de sédiments récents et altérée de faible épaisseur.

Ce type caractérise principalement les formations oligocènes du synclinal de Biarritz (calcaires et marnes gréseuses) ainsi que divers secteurs de la Pointe Sainte-Anne.

TYPE 2 : stratification déformée et meuble avec couverture récente et altérées.

Ce type caractérise principalement les marnes et marno-calcaires (Eocène) de la Côte des Basques au sud de Biarritz.

TYPE 3 : roche dure et plissée avec couverture récente et altérées.

Ce type caractérise principalement la partie nord du flysch crétacé au sud de Bidart.

TYPE 4 : roche dure et plissée avec altérées au sommet.

Ce type caractérise principalement le flysch crétacé, de Parmentia (Guéthary) à Saint Jean-de-Luz ainsi qu'une zone au sud d'Haizabia.

TYPE 5 : roche dure basculée et non plissée.

Ce type caractérise principalement le flysch crétacé de la Grande Corniche.

TYPE 6 : altérées en reliefs bas.

Ce type caractérise diverses zones qui se situent entre Guéthary et Bidart et des zones intermédiaires sur les côtés de certaines baies.

TYPE 7 : sables et dunes.

Ce type caractérise le fond de certaines baies qui ont quelquefois été bâties.

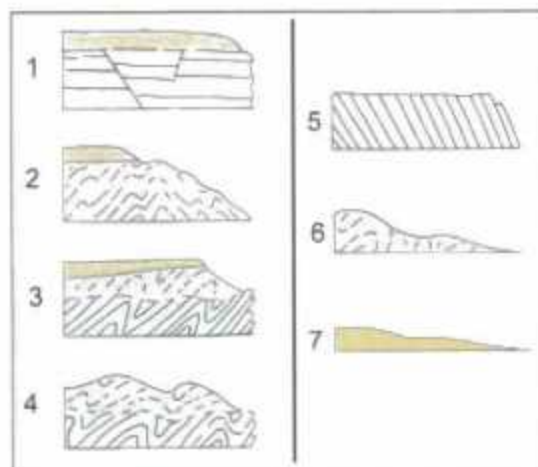


Illustration 23 : Types de zones sélectionnés pour servir de base au découpage géotechnique de la côte (voir texte pour le détail).

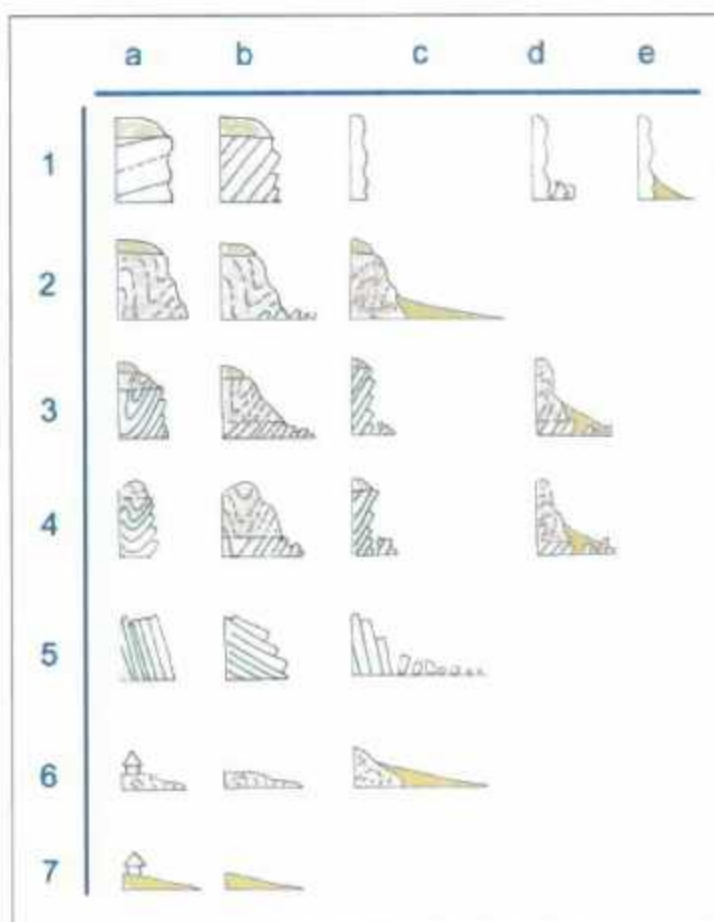


Illustration 24 : Principales variantes des types de la figure précédente.

Les différents types de côte définis ci-dessus peuvent être subdivisés en sous-types, notamment en fonction des variations continues d'épaisseur que subissent les formations géologiques. L'illustration 24 présente différents cas de figure de ces variantes. Elles tiennent compte de l'épaisseur des formations géologiques, du pendage de la stratification, de l'existence de bâtiments et de la présence d'une plage. Elles serviront de base au découpage géotechnique de la côte basque.

4.2. MODES DE DEGRADATION

L'illustration 25 résume les modes de dégradation correspondant aux principaux types de côte de la figure 24.

Le type 1 (figure 24) subit deux modes de dégradation distincts, en pied de falaise et au sommet.

La partie constituée par une stratification horizontale compétente est affectée par des phénomènes de décompression et le développement de fentes subverticales qui assurent le prédécoupage du bâti avant son effondrement. Des phénomènes de sous-cavage par l'érosion marine favorisent cette dégradation. Les effondrements s'effectuent généralement en haut de plage. Le rabotage de l'estran se poursuit plus au large, au-delà de la plage intertidale.

La partie supérieure de la falaise, constituée de terrains meubles, altérites ou formations sableuses récentes, s'érode sous l'effet des eaux météoriques et des glissements gravitaires.

Le type 2 subit un mode de dégradation homogène de la base au sommet de la pente. Sous l'effet des eaux météoriques et de la réhydratation des argiles, des glissements gravitaires se développent sur l'ensemble du profil. Dans les sables de la partie supérieure du profil peuvent se constituer des coulées de petite dimension.

Le type 3 se rapproche du type 1 dans les processus de dégradation. Il présente également deux modes distincts pour la partie inférieure et pour la partie supérieure du profil. Toutefois, les strates sont ici plus fines et plus découpées par la tectonique. Les effondrements sont plus étroitement liés aux configurations locales et sont généralement de plus petite dimension.

Le type 4 présente le même comportement mécanique que le précédent. L'absence au sommet du profil de formations récentes modifie toutefois le modelé de la partie interne de la falaise qui est moins tabulaire que les formations sableuses.

Le type 5 constitué de couches redressées et non plissées se dégrade par ablation des interbanes argileux et écroulement des assises calcaires rigides. Ce mode d'érosion induit parfois un sous-cavage de la falaise qui est alors sujette à des phénomènes de flambage en pied de couche.

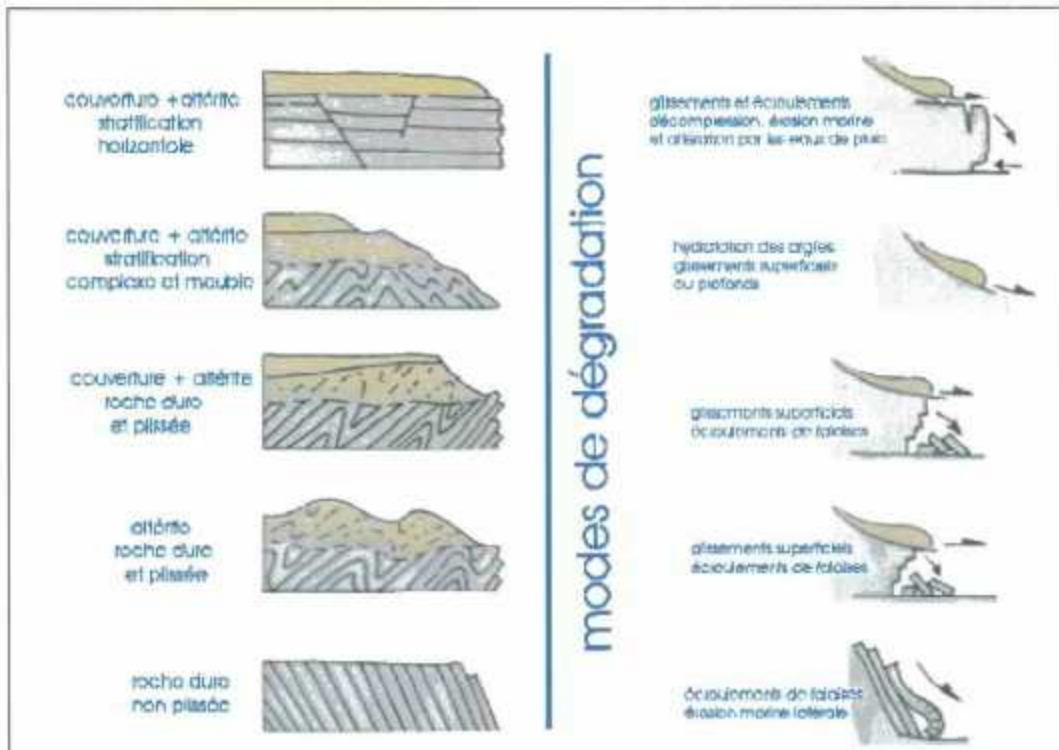


Illustration 25 : Résumé des modes de dégradation correspondant aux types de côte (types 1 à 5 de la figure 24, les côtes meubles des types 6 et 7 ne sont pas représentés).

Le type 6 est affecté par une réhydratation des argiles des altérites provoquant des glissements gravitaires de petite ampleur à cause de la faible hauteur des reliefs.

Le type 7 constitue une partie du type 6 où seule la plage persiste après construction de bâtiments sur la partie supérieure du profil ou sur la plage elle-même. L'évolution du profil restant correspond probablement à un abaissement au cours du temps du niveau de la plage.

5. Conclusions

L'étude géologique de la Côte basque, de Biarritz à Hendaye, met en évidence une complexité importante dans la répartition et le comportement mécanique des terrains. Cette complexité a nécessité une classification par zones des différents segments de côte, pour pouvoir aborder l'aspect géotechnique des effondrements. Ces zones sont définies à partir de 7 types de côte qui représentent chacun une configuration géologique particulière, démonstrative d'un segment de côte théorique et homogène. Ces types principaux présentent des variantes qui sont fonction des épaisseurs des formations géologiques, du pendage de la stratification, de la présence de bâtiments et de plages.

Globalement, on constate que la partie rocheuse non couverte d'altérites ne possède que des plages sableuses de très faible surface ou inexistantes. Dans l'ensemble la présence d'altérites favorise l'apparition d'une plage sableuse. Ce phénomène peut être dû à la rapidité de l'érosion et à l'alimentation locale par la destruction des dépôts détritiques récents (alluvions et dunes) en sommet de falaise. Il est aussi possible que les effets de creux et de pointes soient un facteur aggravant.

Dans le même ordre d'idées, on constate que les diverses pointes ne développent pas de cordons littoraux. D'autre part, les enrochements en pied de falaise ont tendance à diminuer le profil sableux par son sommet et à retirer de la surface à la plage sableuse.

6. Perspectives

La compréhension de la genèse des altérites abordée dans cette étude semble fondamentale pour la reconstitution de l'histoire plio-quadernaire du Pays-Basque et des Landes ainsi que dans la gestion du littoral et des risques naturels de la côte aquitaine.

Divers travaux peuvent être mis en œuvre pour parvenir à une approche de la genèse et de la géométrie des altérites. Tout d'abord, la compilation des sondages BSS qui a fourni un modèle intéressant du mur de la formation et de ses limites géographiques, peut être complétée par des observations de terrain. La géophysique (électrique ou sismique) peut apporter des éléments nouveaux à cette analyse. La réalisation de nouveaux sondages donnerait de nouveaux points d'appui et permettrait aussi l'étalonnage des études géophysiques.

Des datations des formations tourbeuses interstratifiées dans les sables permettraient des comparaisons avec les formations détritiques des Landes. L'analyse des formations sableuses en comparaison avec les formations landaises serait nécessaire. Des datations directes du phénomène d'altération sont envisageables.

Une quantification du phénomène d'altération sur des formations autres que le flysch serait judicieuse pour caler le phénomène dans le temps et dans l'espace, notamment dans la partie nord de la zone, au niveau de Biarritz.

L'analyse du type d'altération fournirait des informations sur le climat et les conditions physiques de cette altération sous couverture ou à l'affleurement. Elle donnerait également des informations sur l'évolution du comportement mécanique de la roche. Les sables des Landes, excellents réservoirs, ont pu fournir l'eau acide nécessaire à la décarbonatation des roches sous-jacentes.

Les problématiques scientifiques sont nombreuses. Elles résident principalement dans l'éclaircissement de l'évolution géologique plio-quadernaire du Pays-Basque et des Landes. Elles englobent la néotectonique, la paléoclimatologie et les paléo-environnements au sens large. Des parallèles pourront être établis avec l'évolution récente de l'extrémité Est de la chaîne pyrénéenne pour laquelle des modèles d'évolution géologique récente ont été proposés par divers auteurs.

Les problématiques sociales sont de deux types, directement liées à la durée du problème. Elles concernent une meilleure gestion des risques sur la côte actuelle mais également dans l'arrière pays où des constructions importantes sont en cours sur des formations altéritiques.

A plus longue échéance, la compréhension de l'évolution latérale et longitudinale des altérites, permettra de contrôler l'évolution de la ligne de côte. Cette ligne de côte va, dans un avenir plus ou moins lointain, développer des baies, à l'arrière de la barre

rocheuse résistante qui ralentit provisoirement l'érosion sur la majeure partie de la côte actuelle.

Il apparaît de plus en plus probable que des diverses données accumulées sur la modification du linéaire côtier peuvent déboucher sur une quantification de la dynamique de ce phénomène.

L'établissement de profils perpendiculaires à la cote prenant en compte la topographie de la partie marine (estran) et continentale (plage, falaise) à différentes époques historiques, permettrait de modéliser cette dynamique. Un tel concept fournirait une vision rapide du processus d'érosion en un point donné et pourrait déterminer une approche prospective du phénomène.

Bibliographie

Alexandre A., Mallet C. et Dubreuilh J. 2003 - Etude de l'érosion de la Côte basque. Synthèse bibliographique, Rapport BRGM n° RP-52370-FR, 125 p.

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 annexes.

Carez L., 1896 - Coupe des falaises de Biarritz et Bidart. Bul. Soc. Géol. de France, (3), XXIV, 392 p.

Cassini C.F., 1815 - Carte géométrique de la France (1/86400).

Choukroune P., 1976 - Structure et évolution tectonique de la zone Nord pyrénéenne. Analyse de la déformation dans une portion de chaîne à schistosité verticale. Mém. S.G.F. n°127, Thèse, Montpellier.

Derancourt E., 1935 - Les côtes de France à l'époque gallo-romaine (II^{ème} siècle). Bulletin de la Société Océanographique de France N° 84, pp. 1460-1467.

Deshayes L., 2003 - Analyse des instabilités de la Côte basque : Recherche de sites d'étude expérimentaux. Mémoire de DESS (géosciences appliquées), Univ. Bordeaux I, 55 p, 2 vol.

Désurmont T., 1995 - L'érosion littorale et les aménagements de protection contre la mer sur la Côte basque (entre Guéthary et l'Adour), Université Michel de Montaigne - Bordeaux III, Mémoire de DEA, 147 p.

Gallica, Bibliothèque nationale de France, site internet : <http://gallica.bnf.fr/>.

Genna A., Capdeville J.P., Dubreuilh J. et Mallet C., soumis - Evolution récente et actuelle de la Côte basque (analyse et perspectives), Compte rendu Acad. Sci.

Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 1986 – Plage de Saint-Jean-de-Luz. Etude sur modèle sédimentologique, 35 p.

Lacazedieu A., Peybernès B. et Seyve C., 1996 - La limite Crétacé-Paléocène : phénomènes biologiques, événements géologiques d'après les sites de la côte basque. Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine. 93 p.

Lamare P. et Goguel J., 1963 - Carte géologique de la France, feuille Bayonne (1/50 000). Bayonne). Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Lamare P. et Destombes J.P., 1964 - Carte géologique de la France, feuille Espelette (1/50 000). Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Landouer P., 1990 - Le littoral d'Anglet, rapport, Pyrénées-Atlantiques, Direction Départementale de l'Équipement des Pyrénées-Atlantiques, 15 p.

Pardineille F., 2000 - L'érosion littorale sur la Côte basque de la Bidassoa à Guéthary, Université Bordeaux III, mémoire de maîtrise, 147 p.

Pardineille F., 2001 - Vulnérabilité de la plage d'Hendaye à l'érosion marine. Université de Bretagne occidentale, mémoire de DEA, 112 p.

Razin P., 1989 - Evolution tectono-sédimentaire alpine des Pyrénées basques à l'ouest de la transformante de Pamplona (Province de Labourd), Thèse de l'Université de Bordeaux III, 465 p.

Razin P. et Mulder T., 2003 - La sédimentation gravitaire dans le bassin Crétacé et Paléogène des Pyrénées Basques : une excursion sur la Côte basque : 17-18 mai 2003, Note explicative de l'excursion du 17 et 18 mai 2003 dans le Pays-Basque, organisée par l'Association des Géologues du Sud-Ouest (AGSO), 81 p.

Société des Sciences Lettres et Arts de Bayonne, 1978 - IV^{ème} centenaire du détournement de l'Adour, 1578 - 1978, Actes du Congrès de Bayonne 28-29 octobre 1978. Bulletin de la Société des Sciences Lettres et Arts de Bayonne, 688 p.