

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la côte basque

Rapport final

BRGM/RP-53372-FR
mai 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 03 LIT A05

Observatoire de la Côte Aquitaine – Volet Côte Basque

A. Winckel, J. Petitjean, M. Borie, C. Mallet, S. Aubié

Vérificateur :

Original signé par P. CORBIER

Approbateur :

Original signé par J. DUBREUILH

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, instabilités, hydrologie, hydrogéologie, hydrochimie, Pyrénées-Atlantiques, Observatoire de la Côte Aquitaine.

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

Winckel A., Petitjean J., Borie M., Mallet C., Aubié S. (2004) – Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la côte basque. BRGM/RP-53372-FR, 113 p., 45 illustrations, 5 annexes.

© BRGM, 2005, 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 qui lui ont été confiées, le Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM réalise une étude sur l'érosion de la côte basque. Elle s'intègre dans le Contrat de Plan Etat-Région 2000-2006 et fait partie des travaux menés par l'Observatoire de la Côte Aquitaine. La première phase de l'étude de l'érosion de la côte rocheuse basque a pour objectifs principaux de caractériser les instabilités de la côte du point de vue géologique et géotechnique. L'objectif final est de mettre à disposition des acteurs de ce littoral, un outil d'aide à la décision et à la gestion de ce milieu face à son évolution géomorphologique constante.

L'eau, de par ses actions physico-chimiques et mécaniques joue un rôle majeur dans le déclenchement ou la réactivation de mouvements de terrain. Une bonne connaissance du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des secteurs instables est donc primordiale.

Le présent rapport constitue une synthèse des données hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques existantes à ce jour. Il regroupe les données acquises dans différents contextes (bibliographie, enquête, revue de presse et campagnes de terrain).

Une cartographie des venues d'eau naturelles et anthropiques du littoral basque observées en avril 2004 a été réalisée. Elle devra être complétée par une seconde campagne de terrain et par les informations acquises par l'IFREMER dans le cadre du programme « Apport ».

L'impact des écoulements d'eau sur les falaises et la plage a été mis en évidence lors de la campagne de terrain d'avril 2004. Localement, des travaux ont été entrepris afin de limiter l'action érosive de l'eau (travaux de drainage, installation d'enrochements, de dissipateurs d'énergie, de digues, ...).

Les phénomènes hydrologiques et hydrogéologiques n'étant connus que dans quelques rares secteurs, les données de niveau d'eau au moment de la foration issues de la BSS-BDES ont été étudiées. Il est apparu que la dispersion des points ne permet pas d'établir une ébauche de carte piézométrique.

Le chimisme des eaux est variable dans le temps et dans l'espace. Les eaux des différents aquifères, souvent peu profonds et mal protégés, sont vulnérables vis à vis des pollutions d'origine anthropique. Les rares informations disponibles ne permettent pas de contraindre les différents processus qui se produisent. Néanmoins, les données existantes constituent une première approche qu'il sera nécessaire de conforter à l'avenir.

L'acquisition de données complémentaires doit conduire à une bonne connaissance du fonctionnement global du système hydrogéologique. Cette connaissance devrait permettre, entre autre, de limiter les actions de l'eau en contrôlant les apports (superficiels, profonds et accidentels) et en diminuant la quantité d'eau présente dans le sol par drainage ou par l'utilisation d'autres méthodes.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	11
2. CONTEXTE PHYSIQUE	13
2.1 PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE	13
2.2 PRÉSENTATION GÉOLOGIQUE.....	13
2.3 PRÉSENTATION HYDROGÉOLOGIQUE	17
2.4 PRÉSENTATION HYDROGRAPHIQUE	18
2.5 PRÉSENTATION CLIMATOLOGIQUE ET ACTION DES PRÉCIPITATIONS SUR LES FALAISES	20
2.6 GÉNÉRALITÉS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET L'IMPACT DE LA PRÉSENCE D'EAU	22
2.6.1. Généralités	22
2.6.2. Impact de la présence d'eau	23
3. HYDROLOGIE, HYDROGÉOLOGIE ET HYDROCHIMIE DE LA CÔTE BASQUE.....	27
3.1 STATIONS D'ÉPURATIONS ET VENUES D'EAU ANTHROPIQUES DE LA COTE BASQUE.....	27
3.1.1. Enquête : identification des venues d'eau anthropiques	27
3.1.2. Revue de presse : recherche d'information sur les stations d'épuration	28
3.1.3. Localisation des stations d'épuration	29
3.2 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE DES DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUES.....	31
3.2.1. Données hydrogéologiques de la Côte des Basques à Biarritz (Capdeville et al., 1982 ; rapport BRGM R 35 442 AQI 4S 92, 1992)	31
3.2.2. Données hydrogéologiques de la Corniche de la falaise à Bidart (Largillier, 2002)	32
3.2.3. Données sur les sources minérales de la commune de Bidart (Winckel et al., 2003 ; Goïty, 1986)	33
3.2.4. Données hydrogéologiques de la source d'Urrugne (Chigot et Mondeilh, 1987)	33
3.2.5. Données hydrogéologiques issues de la BSS-BDES.....	34
3.2.6. Besoins de connaissances et perspectives partielles.....	37
3.3 TRAVAUX DE DRAINAGE	37
3.4 SYNTHÈSE DES DONNÉES HYDROCHIMIQUES	38
3.4.1. Données sur les sources de la Côte des Basques à Biarritz (Capdeville et al., 1982)	39
3.4.2. Données sur les forages A.E.P. d'Anglet et Biarritz (origine : BSS-BDES)	39
3.4.3. Données sur les sources minérales de la commune de Bidart (Winckel et al., 2003 ; Goïty, 1986)	40
3.4.4. Données sur la source d'Urrugne (Chigot et Mondeilh, 1987).....	40
3.4.5. Données sur le puits d'Hendaye (origine : BSS-BDES).....	41
3.4.6. Conclusions partielles	41
3.5 ETUDE DE DÉTAIL DES VIVIERS-BASQUES (URRUGNE)	42
3.5.1. Introduction.....	42
3.5.2. Contexte climatique.....	42
3.5.3. Contexte géographique et géologique	46
3.5.4. Contexte hydrogéologique	47
3.5.5. Informations acquises sur le terrain	48
3.5.6. Type de venues d'eau observables et localisation	49
3.5.7. Mesures de débits.....	56

3.5.8.	<i>Données physico-chimiques</i>	58
3.5.9.	<i>Conclusions et perspectives partielles</i>	62
3.6	CAMPAGNE DE TERRAIN DE RECONNAISSANCE DES VENUES D'EAU NATURELLES ET ANTHROPIQUES	63
3.6.1.	<i>Introduction</i>	63
3.6.2.	<i>Conditions climatiques</i>	63
3.6.3.	<i>Informations acquises sur le terrain</i>	66
3.6.4.	<i>Typologie des venues d'eau</i>	67
3.6.5.	<i>Répartition géographique des venues d'eau</i>	68
3.6.6.	<i>Mesures de débits</i>	70
3.6.7.	<i>Impact des écoulements</i>	71
3.6.8.	<i>Données physico-chimiques</i>	79
3.6.9.	<i>Conclusions et perspectives partielles</i>	82
3.7	CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES	82
4.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	85
5.	PROPOSITIONS D'ACTIONS	87
6.	BIBLIOGRAPHIE	89

Liste des illustrations

Illustration 1 - Carte de localisation des communes de la côte basque française.	14
Illustration 2 - Carte lithologique simplifiée du littoral basque (Genna et al., 2004).....	15
Illustration 3 - Carte du réseau hydrographique et des principaux aquifères (Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine, 2001, d'après BDRHF-V1).....	19
Illustration 4 - Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles (1970-2004) aux stations météorologiques de Biarritz-Anglet et de Ciboure (Pointe de Socoa) sur 34 ans (données Météo France 2004).	21
Illustration 5 - Tableau récapitulatif du nombre de STEP par commune, des noms des STEP, des émissaires associés ainsi que des lieux de rejet.	29
Illustration 6 - Carte de localisation des stations d'épuration des communes du littoral basque et de leurs émissaires.....	30
Illustration 7 - Répartition par commune des points d'eau de la côte basque issus de la BSS-BDES et de ceux présentant de l'eau au moment de la foration.....	35
Illustration 8 - Carte de localisation des points d'eau des communes du littoral basque issus de la BSS-BDES avec indication sur la présence d'eau au moment de la foration.....	36
Illustration 9 - Précipitations et températures mensuelles enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure de janvier à décembre 2004 (données Météo France 2004).	43
Illustration 10 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 1 ^{er} janvier et le 15 décembre 2004 (données Météo France 2004). Les périodes des campagnes de terrain sont encadrées avec des tirets et agrandies sur les illustrations 11 et 12.....	44
Illustration 11 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières du 13 au 23 avril 2004 à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France 2004).	45
Illustration 12 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières du 14 novembre au 15 décembre 2004 à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France 2004).	45
Illustration 13 - Carte de localisation des venues d'eau observées sur la Corniche à Urrugne (avril – mai 2004 ; source : IGN 1/25 000).	49
Illustration 14 - Suintements observés dans l'après-midi du 20 avril 2004, à la suite d'une matinée pluvieuse.....	50
Illustration 15 - Suintement à la faveur d'une fracture perpendiculaire à la stratification, observé dans l'après-midi du 20 avril 2004, à la suite d'une matinée pluvieuse.	51

Illustration 16 - Plage des Viviers-Basques pendant exploitation (antérieure à 2002) et situation actuelle (avril 2004) avec indication de la localisation des sources EM1, EM2, EM2 ^{bis} et EM2 ^{ter}	52
Illustration 17 - Sources EM1 et EM2 (avril 2004).....	52
Illustration 18 - Source initiale du ruisseau Est (avril 2004).....	53
Illustration 19 - Source initiale du ruisseau Est, vue sous les tôles (avril 2004).....	53
Illustration 20 - Extrait de la photographie aérienne de la campagne de 1938 et localisation de l'émergence actuelle à l'origine du ruisseau Est (source : Photographies aériennes de Bayonne mission 1938-XII-44).....	54
Illustration 21 - Source SW à l'origine du ruisseau Ouest (avril 2004).....	55
Illustration 22 - Source SW-triton à l'interface entre le flysch et la formation de surface (avril 2004).....	55
Illustration 23 - Source SW-triton (avril 2004).....	56
Illustration 24 - Débits mesurés et estimés sur le ruisseau et les émergences EM1 et EM2 de la Corniche à Urrugne et conditions climatiques (13 et 22 avril 2004).....	57
Illustration 25 - Corrélation entre précipitations et débits du ruisseau et des émergences EM1 et EM2 de la Corniche à Urrugne du 7 au 25 avril 2004.....	57
Illustration 26 - Diagramme de Schoeller-Berkaloff des venues d'eau de la Corniche à Urrugne (prélèvements du 13 avril 2004).....	61
Illustration 27 - Variations horaires des précipitations aux stations météorologiques de Biarritz et Ciboure (Pointe de Socoa) lors de la campagne de terrain d'avril 2004 (données Météo France, 2004).....	64
Illustration 28 - Hauteur de précipitations journalières, nombre d'heures de précipitations et intensité moyenne des précipitations enregistrées à la station météorologique de l'aérodrome de Biarritz-Anglet entre le 17 et le 23 avril 2004 (données Météo France 2004).....	65
Illustration 29 - Hauteur de précipitations journalières, nombre d'heures de précipitations et intensité moyenne des précipitations enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 17 et le 23 avril 2004 (données Météo France 2004).....	65
Illustration 30 - Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à la station météorologique de l'aérodrome de Biarritz-Anglet entre le 18 et le 24 avril 2004 (données Météo France 2004).....	66
Illustration 31 - Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 18 et le 24 avril 2004 (données Météo France 2004).....	66
Illustration 32 - Répartition par type des 92 venues d'eau observées lors la mission d'avril 2004.....	67
Illustration 33 - Répartition géographique des exutoires rencontrés en avril 2004 sur la côte basque classés par type.....	68
Illustration 34 - Carte de localisation des venues d'eau observées sur la côte basque lors de la mission du mois d'avril 2004.....	69

Illustration 35 - Loupe de glissement au phare de Socoa laissant apparaître des canalisations brisées (pas d'écoulement d'eau visible venant de ces canalisations en avril 2004).....	72
Illustration 36 - Canalisation arrivant en haut de la falaise au Phare de Socoa (écoulement éventuel d'eau impossible à observer du fait de la position de la canalisation, avril 2004).....	72
Illustration 37 - Enrochement mis en place pour protéger le haut de plage de l'accentuation de l'érosion par ravinement au plateau Bellevue (avril 2004).	73
Illustration 38 - Emissaire de la STEP de la Croix d'Arxiloa à Saint-Jean-de-Luz (avril 2004).	74
Illustration 39 - Morphologie de la falaise en « bad-lands » dans les marnes à Ibarritz à Bidart (avril 2004).	76
Illustration 40 - Ruissellement en haut de la plage du Pavillon Royal à Bidart (avril 2004).	76
Illustration 41 - Rivière traversant l'estran sur la plage de Sénix à Guéthary (avril 2004).....	77
Illustration 42 - Panache turbide observé depuis le haut de la Corniche à Urrugne (septembre 2003).	78
Illustration 43 - Source en bas de falaise à Pierrebaita à Bidart (avril 2004).....	78
Illustration 44 - Variations journalières des températures mesurées sur les eaux des exutoires lors de la campagne de mesure d'avril 2004.....	79
Illustration 45 - Variations journalières de la température de l'air du 18 au 24 avril 2004 à Biarritz et à la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France, 2004).....	80

Liste des annexes

Annexe 1	91
Annexe 2	97
Annexe 3	103
Annexe 4	107
Annexe 5	111

1. Introduction

Dans le cadre des missions de service public qui lui ont été confiées, le Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM réalise une étude sur l'érosion de la côte basque. 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. Ce programme est cofinancé par l'Etat, le Conseil Régional d'Aquitaine, le Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques et le BRGM. La première phase de l'étude de l'érosion de la côte rocheuse basque, qui s'est déroulée de 2001 à 2004, avait pour objectifs principaux de caractériser les instabilités de la côte du point de vue géologique et géotechnique. L'objectif final de l'étude de l'érosion de la côte basque est de mettre à disposition des acteurs de ce littoral, un outil d'aide à la décision et à la gestion de ce milieu face à son évolution géomorphologique constante. Pour cela, l'ensemble des données acquises est assemblé dans des bases de données ainsi que dans un Système d'Information Géographique.

Les falaises de la côte basque (Pyrénées-Atlantiques), d'Anglet au Nord à Hendaye au Sud, subissent une dégradation permanente. En effet, les falaises sont soumises à deux types d'érosion :

- l'érosion océanique qui est liée à la houle et aux courants marins. Ces facteurs influent plus particulièrement sur la partie basse de la falaise,
- l'érosion continentale qui est en rapport avec tous les phénomènes géologiques, climatologiques et hydrogéologiques.

Cette attaque, aux conséquences discontinues et difficilement prévisibles dans le temps et dans l'espace, doit être bien connue afin d'assurer une bonne gestion du littoral basque.

Or, l'eau continentale, de par ses actions physico-chimiques et mécaniques joue un rôle majeur dans le déclenchement ou la réactivation de mouvements de terrain. Une bonne connaissance du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des secteurs instables est donc primordiale. Celle-ci devrait permettre de diminuer l'impact de l'eau sur les mouvements de terrain notamment par le contrôle des apports d'eau (superficiels, profonds et accidentels) et la diminution de la quantité d'eau présente dans le sol par drainage ou par utilisation d'autres méthodes.

Le présent rapport s'intéresse aux aspects hydrologiques et hydrogéologiques des falaises de la côte basque et de son arrière-pays, ainsi qu'à l'hydrochimie des eaux du secteur d'étude. Dans le cadre des travaux menés par l'Observatoire de la Côte Aquitaine, des études complémentaires portant sur la géologie (Genna *et al.*, 2004), la géotechnique (Nedellec *et al.*, 2004), la météorologie (Durand et Mallet, 2004) et la géophysique ont été réalisées ou sont en cours.

Les travaux effectués sur les aspects hydrologiques et hydrogéologiques en 2003-2004 sont les suivants :

- campagne de terrain de reconnaissance des venues d'eau naturelles et anthropiques (avril 2004),
- enquête auprès des communes et de diverses instances ayant pour but de localiser et d'identifier les venues d'eau anthropiques au niveau de la côte,
- revue de presse des articles disponibles sur les stations d'épuration des communes de la côte basque et les travaux d'aménagement en cours sur celles-ci,
- synthèse des rares données existantes et disponibles (BSS-BDES¹, bibliographie) et interprétation.

Ce rapport se décompose en quatre parties.

La première partie est consacrée aux généralités concernant la côte basque (présentations géographique, géologique, hydrographique et climatologique) et l'influence de la présence d'eau au sein de la roche dans les mouvements de terrain.

Une seconde partie est axée sur les données existantes ayant trait à l'hydrologie, l'hydrogéologie et l'hydrochimie acquises dans différents contextes (enquête, revue de presse, bibliographie et terrain).

La troisième partie conclut sur les données disponibles à ce jour et qui sont regroupées dans le présent rapport.

Enfin, la quatrième et dernière partie propose de futures pistes de travail, ainsi que des perspectives de recherche et de développement. Celles-ci devraient permettre d'acquérir une connaissance plus complète du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique de la côte basque à des fins de préconisations en terme d'aménagement et de gestion des facteurs hydrologiques et hydrogéologiques par rapport à l'érosion côtière.

¹ **BSS** : Banque du **S**ous-**S**ol, **BDES** : Banque des **E**aux **S**outerraines ; données consultables sur le site Internet du **SIGES** (Système d'Information pour la **G**estion des **E**aux **S**outerraines en Aquitaine) <http://sigesaqi.brgm.fr/>

2. Contexte physique

2.1 PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE

Le domaine de la côte basque française, situé dans les Pyrénées-Atlantiques (64), s'étend sur 43 km de long. Il est délimité, au Nord, par l'embouchure de l'Adour au niveau d'Anglet et au Sud par la frontière espagnole matérialisée par l'embouchure de la Bidassoa à Hendaye (illustration 1). Il constitue le prolongement sud-ouest du littoral sableux des Landes. Il se situe à la jonction entre la plaine des Landes et l'extrémité ouest de la chaîne pyrénéenne.

2.2 PRÉSENTATION GÉOLOGIQUE

La côte basque présente une diversité géologique importante. Stratigraphiquement, les séries affleurantes vont des formations triasiques du Keuper aux plages et dunes récentes de l'Atlantique (illustration 2). Les terrains sont très déformés dans la partie sud du profil par la formation de la chaîne pyrénéenne, et sont peu fracturés dans la partie nord. Les roches saines 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 (Genna *et al.*, 2004).

Les terrains les plus anciens sont d'âge triasique. Ils sont constitués par les argiles rouges ou bariolées du Keuper. Cette formation n'est présente que sur quelques dizaines de mètres de côte sur la commune de Bidart, mais elle est particulièrement instable. Elle contient des masses de gypse très déformées qui constituent un important niveau de décollement pyrénéen.

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 du profil, 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.

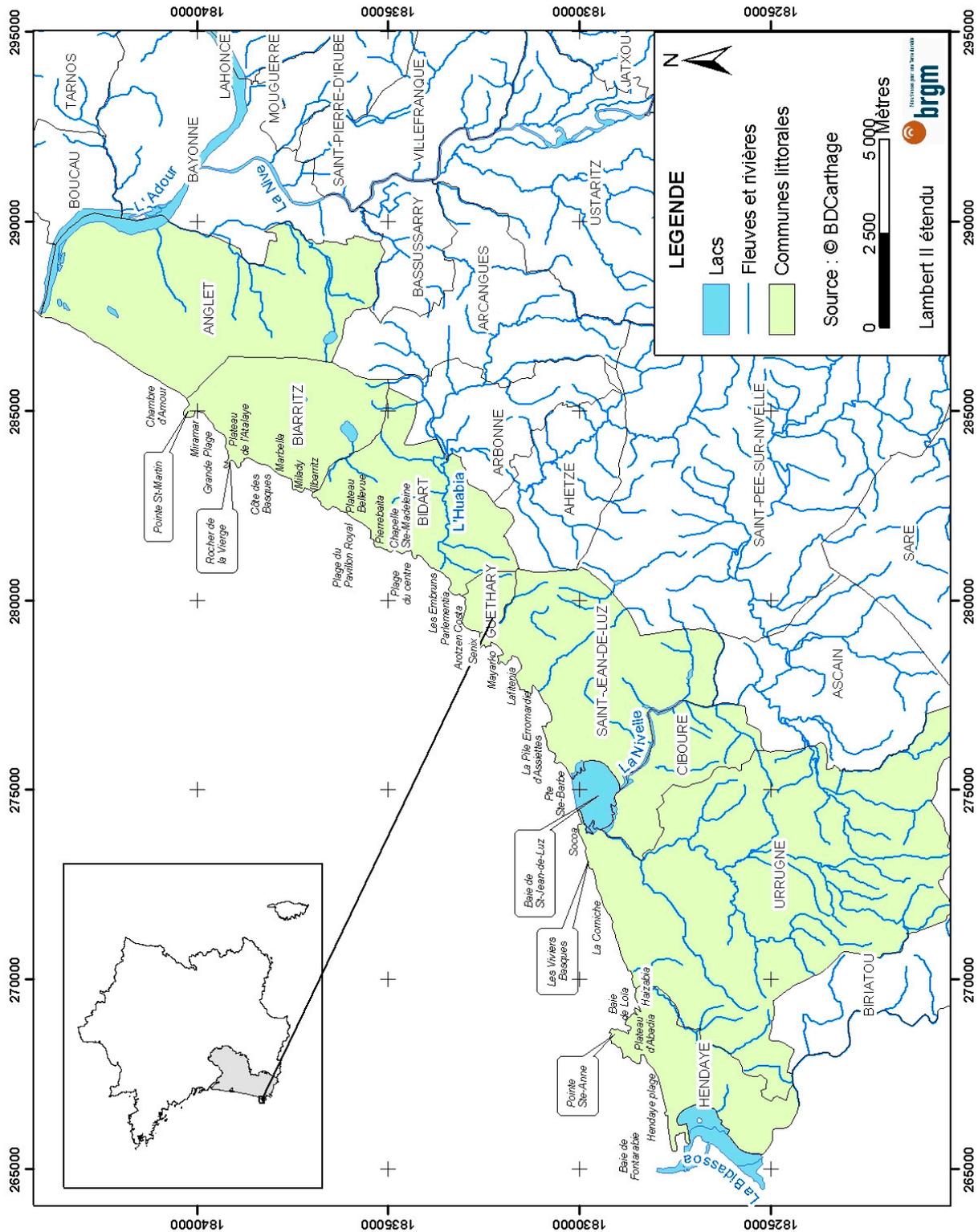


Illustration 1 - Carte de localisation des communes de la côte basque française.

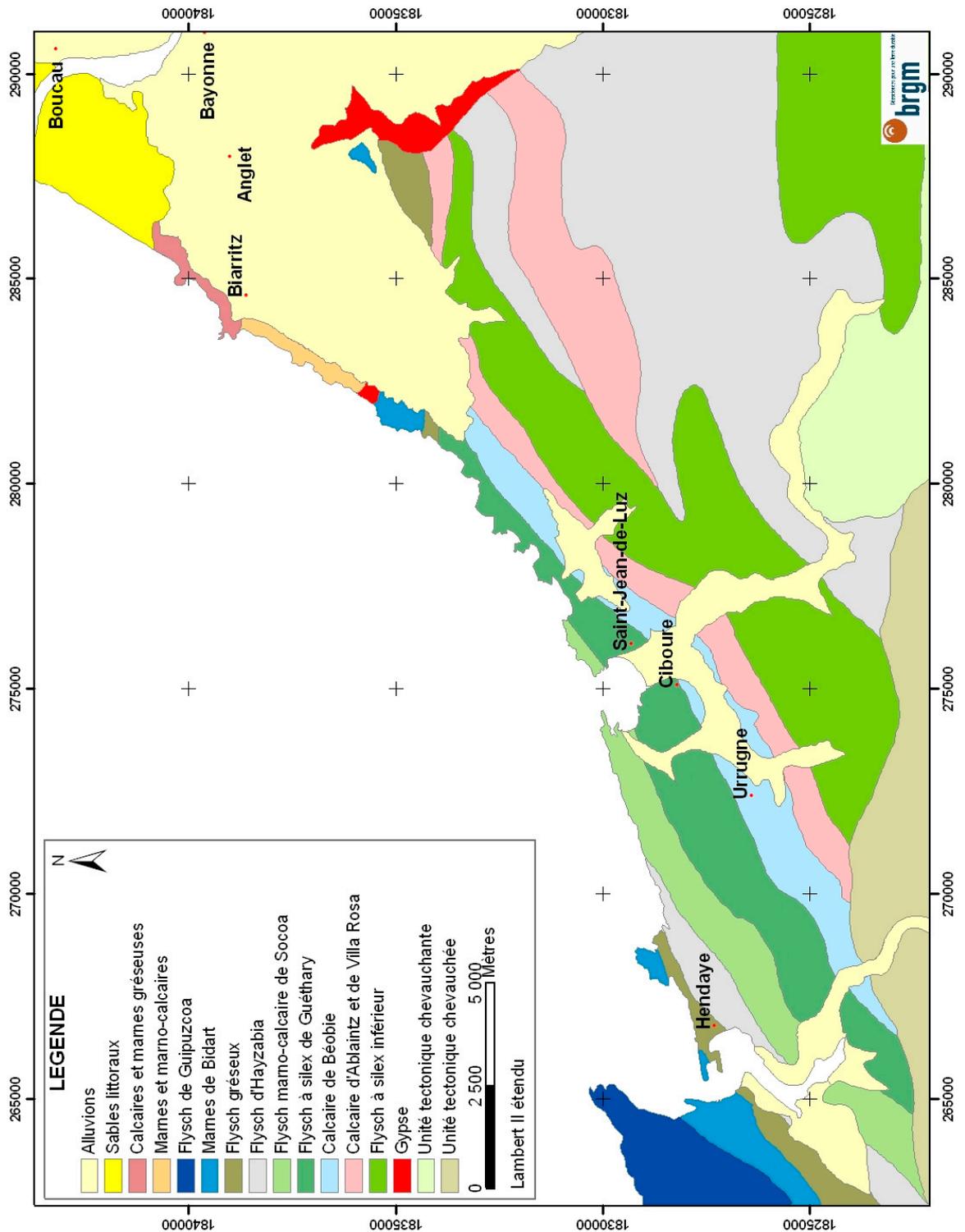


Illustration 2 - Carte lithologique simplifiée du littoral basque (Genna et al., 2004).

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. Elles sont constituées par deux termes principaux avec à la base des conglomérats et sables conglomératiques et des formations dunaires au sommet. Des niveaux de tufs et lignites s'intercalent dans les formations dunaires de la plage du Pavillon Royal (Genna *et al.*, 2004).

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.*, 2004). La grande variabilité des roches et des structures permet d'observer des falaises très différentes. Cela vient des variations mécaniques caractérisant les roches : dureté, fracturation, altération... Ces propriétés leur permettent de résister plus ou moins bien aux agents érosifs océaniques, atmosphériques et continentaux. En général, plus la roche est cohérente et plus la forme de la falaise s'approchera de la verticale.

Une typologie de la côte basque a été établie par le BRGM (Genna *et al.*, 2004) en fonction du comportement mécanique des roches et de leur mode de dégradation. Sept types ont ainsi été définis pour servir de base au découpage géotechnique de la côte (Genna *et al.*, 2004).

L'existence d'altérites d'extension régionale a été mise en évidence sur la côte basque. Elle présente un intérêt fondamental dans l'analyse des phénomènes d'instabilité. Cette altération de la roche 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 qu'elle affecte. Son épaisseur est variable (Genna *et al.*, 2004). Ces altérites se traduisent par des faciès plus ou moins argileux, au sein desquels des reliquats de structures calcaires sont souvent visibles. Au stade ultime, ne persiste qu'une formation argileuse où seuls les fantômes de l'ancienne structure apparaissent localement. Ces faciès d'altération, du fait de leur forte concentration en minéraux argileux, et de leur compacité souvent médiocre, sont très défavorables pour la tenue des versants.

La dynamique d'érosion côtière est fortement influencée par la répartition de ces altérites. Elle détermine l'évolution future du trait de côte. Les calcaires et roches dures ont tendance à développer des falaises subverticales, alors que les altérites produisent un profil d'équilibre plus plat, inférieur à 45°. Le recul de la falaise est beaucoup plus rapide dans les altérites que dans les roches dures.

2.3 PRÉSENTATION HYDROGÉOLOGIQUE

On distingue sur le littoral Basque deux systèmes aquifères libres alluviaux² ainsi qu'un ensemble identifié comme un domaine hydrogéologique³ (Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine, 2001, d'après BDRHF – V1 ; illustration 3). Ils sont décrits dans ce document au sein duquel figurent les éléments suivants :

- le fond géologique avec les principaux affleurements Précambrien à Quaternaire,
- la limite du système ou domaine,
- les accidents tectoniques (failles et chevauchements),
- les ouvrages extraits de la BSS-BDES classés par type (source, puits ou forage) et par usage (A.E.P., industrie, eau minérale, thermalisme, autre),
- le réseau hydrographique pérenne,
- les éventuels périmètres de protection.

Le premier système aquifère libre alluvial est celui de l'Adour et de ses affluents (n° de classification BDRHF – V1 : 348) qui s'étend sur le littoral basque entre Anglet et Bidart. Il correspond aux alluvions de la vallée de l'Adour et des parties avales de ces affluents. Ce système intègre également les terrasses alluviales les plus récentes (Würm et Riss) en continuité hydraulique. Ses limites coïncident grossièrement avec l'axe de la vallée en général inondable. Dans sa partie avale (de Dax au littoral), les matériaux sont fins à tendance argileuse affirmée et à perméabilité plutôt faible. Les caractéristiques hydrodynamiques sont à priori médiocres, sauf au niveau du littoral où l'aquifère est composé de matériaux un peu plus grossiers, sous une dizaine de mètres d'argiles et capable de donner des débits de plusieurs dizaines de m³/h. En dehors des échanges avec la rivière, l'alimentation de la nappe se fait principalement par infiltration directe des eaux de pluie et par les apports latéraux des coteaux et des terrasses plus anciennes, plus argileuses et en position plus élevée.

Le second système aquifère libre alluvial est celui de la Bidassoa (n° de classification BDRHF – V1 : 392) qui correspond à la nappe alluviale de ce fleuve. Il entre en contact avec la côte sur la plage d'Hendaye. Les alluvions de la Bidassoa sont constituées de blocs, de galets et de niveaux sableux recouverts par quelques mètres de limons argileux. Dans cet ensemble alluvial, les variations de faciès peuvent être importantes. Ces alluvions renferment une nappe plus ou moins bien protégée par les matériaux argileux de sub-surface, en relation directe avec la rivière et en partie alimentée par les

² Les systèmes aquifères libres ou superficiels alluviaux correspondent aux grandes nappes peu profondes, en général à surface « libre », en étroite relation avec des cours d'eau. Ces nappes sont contenues dans des formations sédimentaires (calcaires, sables, ...), déposées par le cours d'eau lui-même.

³ Les domaines hydrogéologiques sont des domaines sans grand système individualisé mais à petits aquifères locaux possibles en terrains sédimentaires. Leur délimitation se fait principalement sur des critères géographiques.

ruissellements latéraux des coteaux. En zone aval, et jusqu'à Bariatou, l'impact des marées avec remontée d'eau salée peut se marquer dans la qualité des eaux de cette nappe. Les transmissivités mesurées au cours de pompages d'essai sont bonnes, de l'ordre de $5.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Toutefois, la variation spatiale des faciès alluviaux entraîne une modification rapide de la perméabilité.

Enfin, le domaine hydrogéologique est celui du flysch crétacé du piémont pyrénéen (n° de classification BDRHF – V1 : 567A) présent entre Bidart et le nord d'Hendaye. Il inclut également les formations tertiaires de la côte Basque. Dans ce domaine, l'abondance des termes argileux et marneux empêche le développement de réserves souterraines importantes dans les barres calcaires du flysch. En revanche, on observe de petits aquifères localisés libres de type fissuré ou karstique en fonction des lithologies. Malgré la pluviosité importante du piémont pyrénéen, les sources y sont rares et à débits peu importants et irréguliers. En revanche, dans les marnes à spicules, globalement imperméables, les sources sont relativement fréquentes, à débit faible mais relativement régulier. Sur le secteur de la côte basque, celles-ci se situent principalement dans les formations tertiaires coiffant le flysch crétacé.

Néanmoins, il s'agit là d'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 et qui par conséquent nous intéressent plus particulièrement. Une étude de détail serait donc nécessaire sur tout le linéaire de la côte basque afin de caractériser précisément les aquifères au sein desquels les eaux circulent. Certaines études antérieures apportent quelques éléments qui seront détaillés dans la partie concernant la synthèse des données hydrogéologiques (cf. 3.2).

2.4 PRÉSENTATION HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du littoral basque est relativement dense avec 173 km de rivières et de fleuves répartis sur l'ensemble des communes du littoral basque français (© BDCarthage ; illustration 3). La pluviométrie étant relativement importante (cf. 2.5), les cours d'eau sont nombreux. Quatre rivières débouchent sur le littoral basque, du Nord au Sud : l'Adour à Anglet, l'Uhabia à Bidart, la Nivelle dans la baie de Saint-Jean-de-Luz et enfin 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. L'influence des apports amonts venant des reliefs pyrénéens est particulièrement sensible sur la Nivelle et la Bidassoa qui prennent leurs sources du côté espagnol des Pyrénées. Leurs affluents écoulent à la fois des eaux de pluie mais aussi celles résultant de la fonte printanière des neiges pyrénéennes. La Nivelle présente des débits spécifiques élevés (environ 50 l/s/km^2), des étiages relativement soutenus et des crues aussi violentes que brutales qui témoignent d'un bassin versant à forte pluviosité, à substrats imperméables et à fortes pentes (Bichot et Leroi, 1996).

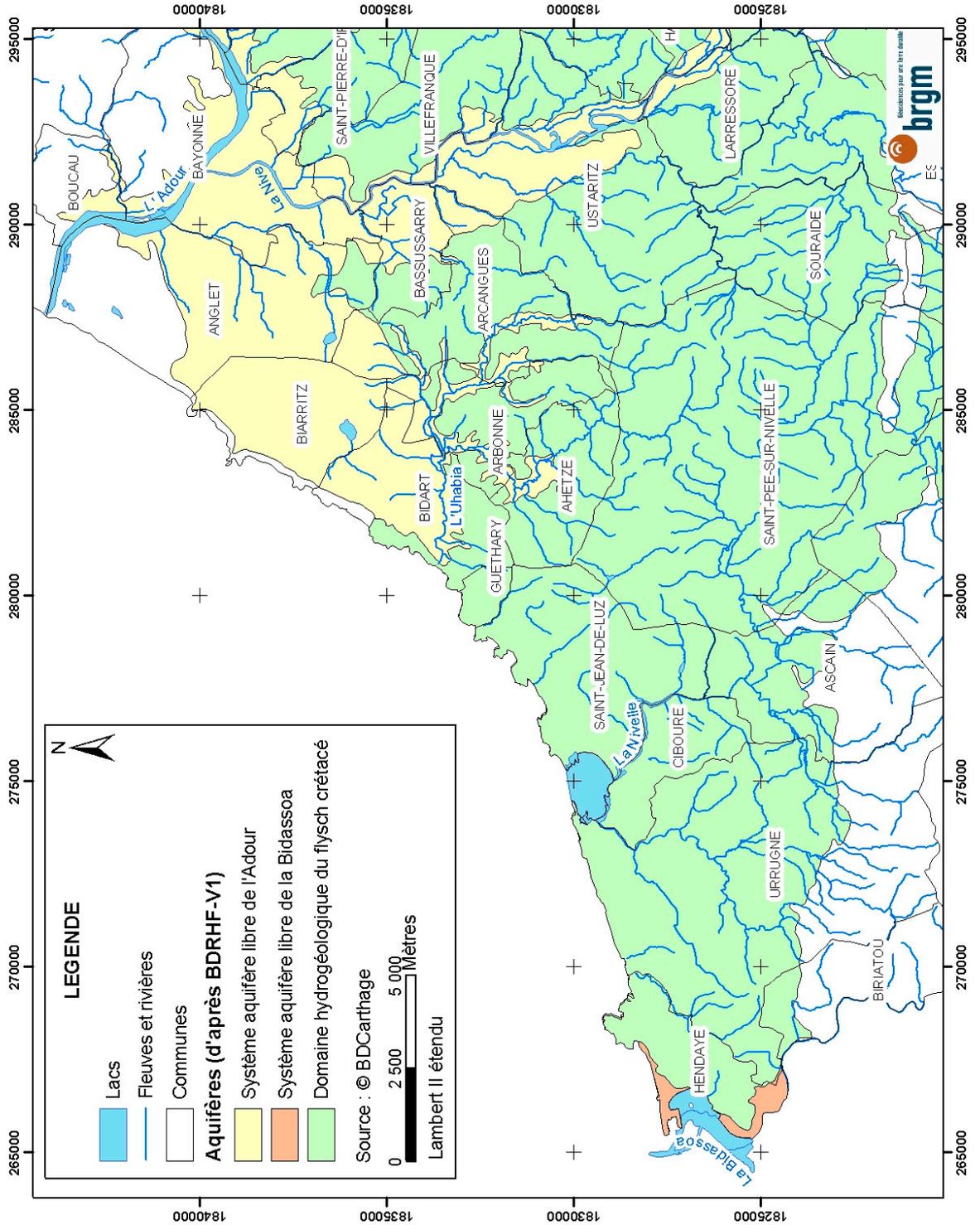


Illustration 3 - Carte du réseau hydrographique et des principaux aquifères (Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine, 2001, d'après BDRHF-V1).

Le régime de l'Adour est fortement influencé par ses affluents, avec des hautes eaux en hiver, une faible influence de la fonte nivale au printemps et des étiages assez prononcés et hâtifs. Les rivières de coteaux en rive gauche de l'Adour possèdent des régimes contrastés avec des étiages accusés et avancés, des hautes eaux d'hiver et des crues soudaines et brèves. L'Adour inférieur est le collecteur commun dans lequel viennent confluer la plupart des cours d'eau basques et béarnais à l'exception de la Nivelle. Elle reçoit le Bec du Gave dans les Landes, les eaux du Gave de Pau et du Gave d'Oloron qui se réunissent eux-mêmes en amont de Peyrehorade. Les rivières basques, gonflées par les pluies de novembre à mai et moins bien alimentées de mai à octobre, se jettent dans l'Adour (Bichot et Leroi, 1996).

Le réseau hydrographique secondaire actuel du littoral basque s'oriente vers l'intérieur des terres. 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 (Genna *et al.*, 2004). Le long de la côte basque, le mur des altérites semble plonger vers le sud-est, soit vers l'intérieur des terres et non vers l'océan. Cette observation démontre la concordance géométrique de la base des altérites avec le réseau hydrographique.

2.5 PRÉSENTATION CLIMATOLOGIQUE ET ACTION DES PRÉCIPITATIONS SUR LES FALAISES

L'eau joue un rôle important au niveau des instabilités de falaise de par sa circulation au sein de la roche (cf. 2.6). Mais la présence et l'importance d'un aquifère sont régis par la quantité de précipitations qui arrive sur les zones de recharge de ces nappes.

Le rapport de Durand et Mallet (2004) réalisé dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2000-2006 propose une analyse du régime météorologique de la Côte Basque. Cette étude est basée sur l'analyse des données météorologiques décennales acquises entre 1983 et 2002 sur la côte basque (données Météo France). Il apparaît que le secteur de la côte basque est particulièrement arrosé avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 1 454 mm à Biarritz et 1 949 mm à Socoa. L'automne est la saison la plus pluvieuse (moyenne de 156 mm/mois) et l'été la saison la plus sèche (84 à 87 mm/mois). L'hiver et le printemps présentent une pluviométrie assez semblable, bien que les précipitations soient en moyenne un peu plus importantes au printemps. Novembre et avril sont les mois les plus pluvieux. Le mois d'avril semble assez singulier puisqu'il ressort sur les statistiques réalisées sur 20 ans, comme très pluvieux (2^{ème} mois le plus pluvieux de l'année) alors qu'il se trouve au sein d'une période (janvier à mai) où la pluviométrie reste modérée (50 à 51 mm de pluie / décade en moyenne en avril alors que la moyenne au printemps est de 43 mm/décade ; Durand et Mallet, 2004).

Les moyennes mensuelles calculées sur 34 ans (entre 1970 et 2004) mettent en évidence des résultats semblables (illustration 4).

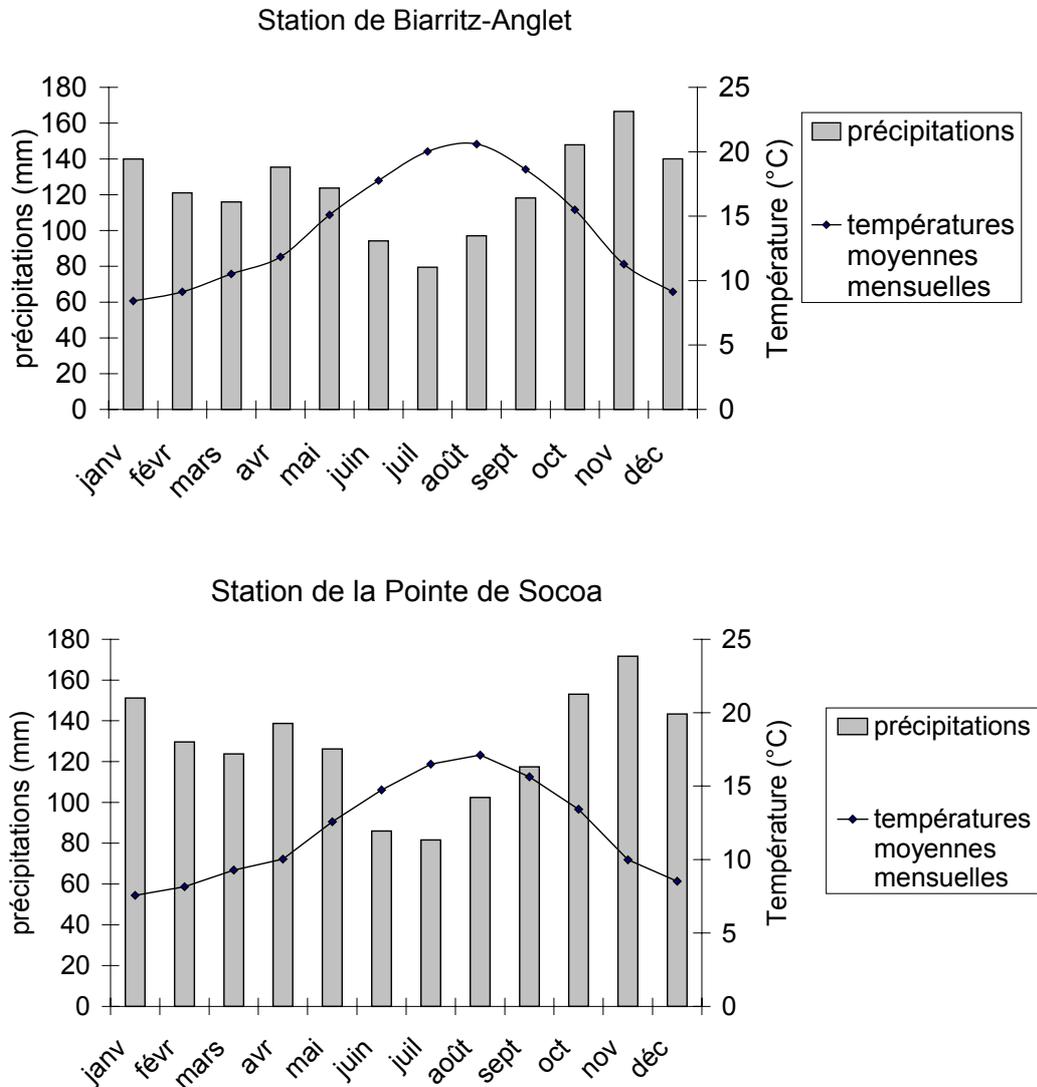


Illustration 4 - Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles (1970-2004) aux stations météorologiques de Biarritz-Anglet et de Ciboure (Pointe de Socoa) sur 34 ans (données Météo France 2004).

A Ciboure comme à Biarritz, les précipitations moyennes mensuelles sont supérieures à 80 mm. Les plus importantes sont observées en automne (171 et 166 mm en moyenne respectivement à Ciboure et à Biarritz pour le mois de novembre) et au

printemps (138 et 135 mm en moyenne respectivement à Ciboure et à Biarritz pour le moins d'avril, illustration 4).

Les températures moyennes mensuelles évoluent entre 7,5°C à Ciboure et 8,5°C à Biarritz au mois de janvier et 17°C à Ciboure et 20,5°C à Biarritz au mois d'août (illustration 4).

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 des pluies importantes. Ces dernières, ainsi que les orages estivaux, provoquent les ravinements observés sur les couches tendres des falaises. A court terme, l'alternance de périodes sèches avec celles de précipitations ininterrompues a un impact sur la cohésion des falaises argileuses, l'action conjuguée de l'humectation et de la dessiccation entretenant leur fissuration. Au Pays-Basque, une à deux semaines sans pluie sont assez fréquentes. Il est important de retenir que d'importantes quantités d'eau de pluie transitent dans les falaises par infiltration (Alexandre *et al.*, 2003).

Le ravinement et le ruissellement se produisent sur les versants abrupts et très peu végétalisés. Ils sont uniquement efficaces pendant les périodes d'orages ou bien de précipitations soutenues. Les falaises sont donc localement et ponctuellement le siège de ravinements intenses pouvant induire le déclenchement de mouvements de terrain. De Sénix à la « Pile d'assiettes », les ravinements sont empêchés par la lande maritime et par la pente trop faible des versants soliflués ayant atteint leur profil d'équilibre (Alexandre *et al.*, 2003).

2.6 GÉNÉRALITÉS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET L'IMPACT DE LA PRÉSENCE D'EAU

2.6.1. Généralités

Un mouvement de terrain est une manifestation du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles et/ou anthropiques.

L'occurrence d'un mouvement de terrain requiert un ensemble de conditions pour lesquelles on distingue :

- les facteurs permanents ou de prédisposition : morphologie, géologie, caractéristiques mécaniques des formations, fracturation, présence de cavités, action marine,
- les facteurs déclencheurs ou aggravants, variables dans le temps, tels que :
 - le facteur hydraulique, c'est-à-dire un épisode météorologique et ses répercussions en un point donné en terme de pression interstitielle et d'état de saturation,

- le facteur anthropique car l'action de l'homme est capable de modifier rapidement certains paramètres comme la pente (travaux de terrassement), la couverture végétale (défrichage, incendies) ou la répartition des écoulements.

2.6.2. Impact de la présence d'eau

La présence d'eau au sein de la roche joue un rôle important dans l'apparition et la réactivation de mouvements de terrain (glissement, éboulement rocheux, coulées de boue, effondrements de vides souterrains, affaissements, gonflement ou retrait des sols, ...). Pour déterminer les zones potentiellement instables, prévoir l'occurrence des mouvements de terrain et définir des travaux permettant de contrecarrer les actions déstabilisantes de l'eau, il faut appréhender les mécanismes qui sous-tendent ces phénomènes.

Pour cela, il faut :

- connaître les lois qui régissent les mécanismes de rupture et de propagation,
- connaître les paramètres qui influent sur ces lois, afin de savoir lesquels surveiller, quels capteurs choisir et quel système de surveillance concevoir et mettre en place.

L'eau intervient sur l'instabilité des pentes à la fois comme un facteur aggravant (action physico-chimique) et comme un facteur déclencheur (action mécanique). L'action de l'eau marine n'est pas prise en compte dans cette étude, seule celle de l'eau continentale est étudiée.

2.6.2.1 L'eau comme facteur d'érosion (facteur aggravant)

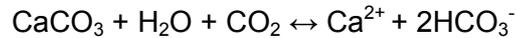
L'eau est un facteur d'érosion de par ses actions chimiques et physiques qui provoquent la dégradation de la roche, modifiant ainsi ses propriétés. Ces processus sont lents et continus dans le temps.

a) Action chimique

L'eau exerce une action chimique sur la roche qui se manifeste par une dissolution de celle-ci, variable en fonction des propriétés physico-chimiques de l'eau et aussi de la composition minéralogique de la roche rencontrée. La perméabilité de la roche, fonction de sa porosité et de sa fissuration (microfissuration et macrofissuration) va également conditionner son érosion par l'action de l'eau.

La dissolution est un processus qui correspond à une dissociation de la molécule en ions par l'action de l'eau, qui agit comme un solvant. Dans le cas de roches

carbonatées, le CO₂ transforme le carbonate de calcium en bicarbonate de calcium soluble dans l'eau :



Une augmentation de l'acidité des eaux circulant en tête de falaise et dans la falaise elle-même s'accompagne d'une dissolution chimique des carbonates, plus intense.

L'effet de l'eau de mer se fait aussi sentir en bas de falaise du fait de sa concentration en sel. En effet, la mer dépose de grandes quantités de sel qui vont cristalliser dans les pores ouverts de la roche en absorbant de l'eau, ce qui provoque une forte pression sur la roche qui finit par se fragmenter. On parle alors d'haloclastie, phénomène reconnu dans les milieux côtiers (Prick, 1999 ; Derruau, 2002). Les embruns jouent également un rôle de corrosion chimique (dissolution et haloclastie).

b) Action physique

L'eau a une action physique : c'est le phénomène d'hydroclastie. Il provoque la fissuration de certaines roches par des changements de volume suite à de très fortes variations de leur teneur en eau. L'humectation s'exprime par un gonflement qui peut atteindre 60% dans le cas de certaines argiles gonflantes (montmorillonite) alors que l'assèchement se manifeste par la desquamation de la roche (détachement superficiel de petites plaques ou de minces copeaux) et sa polygonation, c'est-à-dire que la roche est divisée par un réseau de fentes (Derruau, 2002). Cette érosion physique (fissuration, entraînement, voire arrachement) sera d'autant plus importante que les vitesses d'écoulement sont élevées.

2.6.2.2 L'eau comme facteur d'instabilité (facteur déclencheur)

L'eau agit également comme un facteur d'instabilité par l'action mécanique qu'elle exerce sur les roches. Il s'agit souvent d'une action rapide, brutale et discontinue dans le temps, fonction principalement de la pluviométrie.

L'eau exerce une poussée isotrope qui vient s'ajouter aux autres contraintes physiques du milieu, forces souvent anisotropes. Cette force a une action qui, selon les situations, peut avoir un effet déstabilisateur. L'action mécanique de l'eau se complique du fait de la fracturation de la roche, qui constitue autant de discontinuités d'un point de vue mécanique, que des voies préférentielles d'écoulements. De plus, les ruissellements et les infiltrations d'eaux pluviales surchargent les matériaux et exercent des sous-pressions dans les fissures. Ces fissures sont des surfaces mécaniques fragiles, maintenues dans un état de saturation élevé ou total et soumises à des mises en charge aussi intenses que brutales. Elles s'avèrent susceptibles de guider une possible rupture.

L'eau engendre également une pression interstitielle au sein de la matrice qui diminue fortement la résistance mécanique du matériau, d'autant plus que la teneur en eau augmente, ce qui peut provoquer la déstabilisation de blocs entiers. Le passage d'un état non saturé à un état saturé peut s'accompagner d'une réduction de 500 % de la résistance mécanique (Caudron *et al.*, 2001).

La détermination du rôle de l'eau dans le déclenchement et l'évolution des mouvements de terrain est donc fondamentale. C'est pourquoi la connaissance de l'hydrologie et de l'hydrogéologie des secteurs présentant des instabilités est importante.

3. Hydrologie, hydrogéologie et hydrochimie de la côte basque

3.1 STATIONS D'ÉPURATIONS ET VENUES D'EAU ANTHROPIQUES DE LA COTE BASQUE

3.1.1. Enquête : identification des venues d'eau anthropiques

Des informations portant sur les venues d'eau purement « anthropiques » ont été recherchées. Pour cela, une enquête a été menée auprès des différentes instances concernées. Au préalable, un questionnaire a été réalisé afin de définir les thèmes et questions à aborder (annexe 1).

Ce questionnaire se décompose en trois parties :

- recherche d'informations sur les stations d'épuration (nombre, localisation, type de traitement, zones de rejet, volumes traités, capacité de traitement),
- questions sur la structure des réseaux d'eau pluviale (séparation des réseaux eaux pluviales/eaux usées, localisation des zones à réseau unitaire et à réseau séparé, zones de rejet, volumes rejetés, existence de buses de déversement),
- informations sur l'assainissement (existence ou non d'un schéma directeur d'assainissement, localisation des zones à assainissement autonome et celles raccordées au réseau collectif, existence dans les zones à réseau collectif de maisons non raccordées).

Le but principal de ce questionnaire était de localiser :

- les points de rejet d'eau issus des stations d'épuration,
- les zones de rejets d'eaux pluviales,
- les éventuelles buses de déversement permettant d'évacuer le trop plein lors des orages violents le long du réseau de collecte des eaux pluviales,
- les quartiers où les maisons ne sont pas raccordées au réseau collectif d'assainissement.

Des contacts ont été pris avec diverses instances afin de cibler les interlocuteurs. Puis, le questionnaire, accompagné d'un courrier, a été envoyé.

Ainsi le questionnaire a été transmis :

- aux mairies des huit communes de la côte basque,
- à la Lyonnaise des Eaux,

- au Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques,
- au Conseil des Elus du Pays Basque,
- à la DDE,
- à la communauté d'agglomération BAB,
- à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Plusieurs réponses ont été fournies au BRGM mais la recherche d'information n'a pas été approfondie. En effet, nous avons appris que l'IFREMER et la DDE Maritime avaient entamé, au préalable à une étude sur la qualité des eaux de la côte basque, un recensement exhaustif de toutes les venues d'eau de la côte. Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme « Apport ». Au total, une centaine de points de rejets a été identifiée et placée dans un SIG. Une demande d'information auprès de l'IFREMER concernant ces données est en cours.

Cette étude, ainsi que les données de terrain acquises lors de la campagne d'avril 2004 (cf. 3.5) devraient permettre d'avoir une bonne image de la répartition des rejets classés par type et ainsi d'identifier les zones pour lesquelles des rejets naturels et/ou anthropiques peuvent aggraver l'équilibre fragile des falaises.

Il serait également nécessaire de localiser et de remédier aux fuites des conduites des réseaux d'assainissement et/ou d'alimentation en eau potable. Ces fuites peuvent être le résultat de défauts de conception et/ou de la vétusté des canalisations. Elles peuvent aussi avoir été générées par une déformation des conduites, suite à un mouvement de terrain. Les systèmes de collecte des eaux superficielles peuvent également, par manque d'entretien ou suite à un mauvais dimensionnement, redistribuer artificiellement de l'eau. Le contrôle de ces apports nécessite une prise en compte dès l'étape de conception de ces aménagements. En particulier, il est impératif pour de telles installations de ne pas se contenter d'une étude locale, mais de considérer l'ensemble du versant (Leroi *et al.*, 1997). Néanmoins, dans le cas d'aménagements anciens, il est parfois difficile de savoir si ces paramètres ont été pris en compte. La localisation de ces fuites est très difficile à obtenir.

3.1.2. Revue de presse : recherche d'information sur les stations d'épuration

Des articles de journaux ou issus de sites Internet concernant la construction ou la rénovation des stations d'épuration de la côte ont été collectés et analysés. En effet, depuis quelques années des travaux sur les stations d'épuration sont engagés sur tout le linéaire du littoral basque. Ces informations ont complété les données acquises dans le cadre de l'enquête sur les venues d'eau anthropiques (cf. 3.1.1).

Il a ainsi été possible de :

- localiser les nouvelles stations d'épuration,

- identifier celles en cours de modernisation,
- mesurer les améliorations apportées pour faire face aux problèmes rencontrés dans le passé (capacité de traitement trop faible, pollution de l'eau de mer, ...),
- identifier les nouvelles zones de rejet (localisation des émissaires, rejets en rivière, ...).

3.1.3. Localisation des stations d'épuration

Les informations acquises dans le cadre de l'enquête sur la localisation des venues d'eau anthropiques (cf. 3.1.1) et de la revue de presse (cf. 3.1.2) ont permis de localiser les stations d'épuration et leurs rejets associés (illustration 5). Ces informations ont été intégrées dans un SIG (illustration 6).

COMMUNE	Nombre de STEP	Nom de la STEP	Nom de l'émissaire	Lieu de rejet
ANGLET	1	Pont de l'Aveugle	le Barbot	Adour
BIARRITZ	1	Marbella	la Milady	océan
BIDART	1	Rue de la Chapelle		Uhabia
GUETHARY	1	Senix		océan
SAINT JEAN DE LUZ	1	Croix d'Arxiloa	Pte Ste Barbe	océan
CIBOURE	0			
URRUGNE	0			
HENDAYE	2	Armatonde	Pte Ste Anne	océan
		Jonçaux		Bidassoa
TOTAL	7			

Illustration 5 - Tableau récapitulatif du nombre de STEP par commune, des noms des STEP, des émissaires associés ainsi que des lieux de rejet.

Sept stations d'épuration existent sur le littoral basque. La commune d'Hendaye possède deux stations d'épuration. En revanche, les communes de Ciboure et Urrugne n'en possèdent pas. Pour ces deux dernières, les eaux usées sont traitées par la station d'épuration de Saint-Jean-de-Luz qui assure donc à elle seule le traitement des eaux usées des trois communes du syndicat. Les cinq autres communes de la côte basque possèdent toutes une station d'épuration. A noter qu'une partie des eaux usées de la commune de Bidart est traitée à la station d'épuration de Marbella à Biarritz.

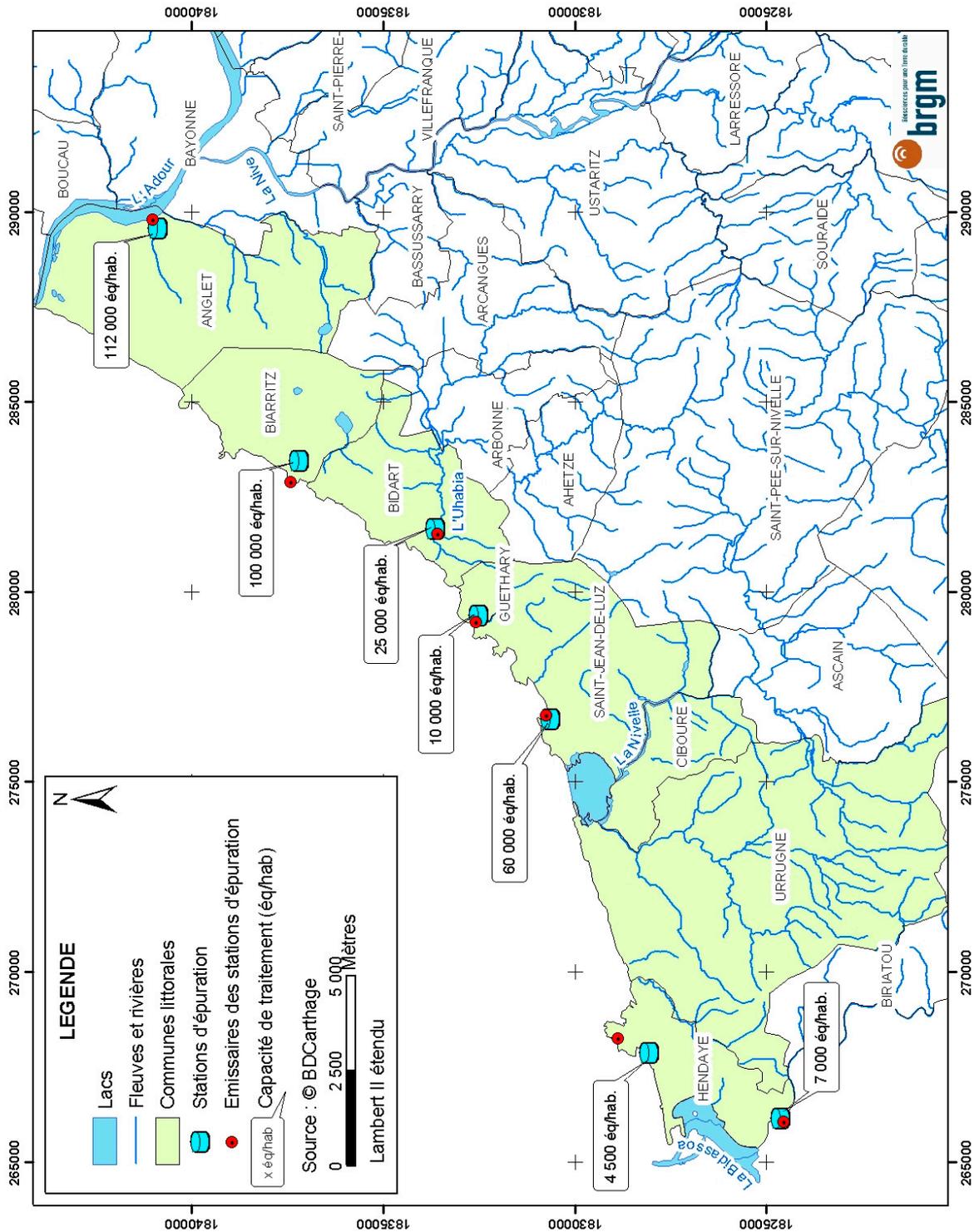


Illustration 6 - Carte de localisation des stations d'épuration des communes du littoral basque et de leurs émissaires.

La capacité de traitement de ces stations d'épuration (illustration 6) est variable entre 4 500 éq/hab (station d'Armatonde à Hendaye) et 112 000 éq/hab (station du Pont de l'Aveugle à Anglet).

L'évacuation des eaux usées traitées se fait par le biais d'émissaires qui débouchent :

- soit dans les rivières proches (l'Adour pour la STEP du Pont de l'Aveugle à Anglet, l'Uhabia pour la STEP de la rue de la Chapelle à Bidart et la Bidassoa pour la STEP des Jonçaux à Hendaye),
- soit vers l'océan. Deux cas de figures existent alors, à savoir :
 - les eaux sont évacuées assez loin en mer (800 m de la plage pour la STEP Marbella à Biarritz et 300 m de la plage pour la STEP de Senix à Guéthary),
 - les eaux émergent en bas de falaise ou haut de plage et ruissellent sur la plage avant de rejoindre l'océan (STEP de la Croix d'Arxiloa à Saint-Jean-de-Luz et STEP d'Armatonde à Hendaye).

3.2 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE DES DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUES

3.2.1. Données hydrogéologiques de la Côte des Basques à Biarritz (Capdeville *et al.*, 1982 ; rapport BRGM R 35 442 AQI 4S 92, 1992)

Le travail réalisé sur la Côte des Basques dans le cadre de l'installation de protections contre l'érosion côtière (Capdeville *et al.*, 1982) a mis en évidence que le principal niveau aquifère de ce secteur est localisé dans les formations alluvionnaires. Celles-ci ont été déposées sur le substratum essentiellement marneux de l'Eocène qui représente le mur de l'aquifère. Il constitue la principale cause des dégâts constatés au niveau de la falaise.

Les caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité et porosité) sont très médiocres au niveau de l'aquifère saturé constitué par les sables argileux rouges et jaunes de la base de la série détritique. En effet, l'eau ne se situe que très rarement dans les formations graveleuses sus-jacentes et plus perméables. Les transmissivités calculées s'échelonnent entre $2,4 \cdot 10^{-7}$ et $4,4 \cdot 10^{-6}$ m²/s, ce qui est faible et donne une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (Capdeville *et al.*, 1982). Ceci implique des circulations lentes qui se traduisent par la persistance des écoulements et suintements au niveau de la falaise, même en l'absence de pluies fortes.

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. Une reconstitution du mur des altérites, réalisée à partir des données des sondages de la BSS-BDES, met en évidence diverses zones de creux qui canalisent les circulations d'eaux souterraines (Genna *et al.*, 2004).

Des mesures piézométriques ont été effectuées dans le cadre de l'étude de Capdeville *et al.* (1982) qui ont permis de dresser une carte piézométrique de ce secteur (carte disponible dans ce rapport au format A0). Cette carte montre que l'écoulement général de la nappe diverge à partir d'une zone topographiquement haute centrée sur l'avenue du Président J.F. Kennedy et le cimetière Saint-Martin.

Les exutoires naturels sont constitués :

- au Sud, par un écoulement souterrain orienté vers la dépression jalonnée par le lac Mouriscot et l'étang de Brindos,
- à l'Ouest, par un alignement de sources ou de suintements matérialisant le contact alluvions-marnes le long des talwegs aboutissant à Marbella et le long de la falaise,
- au Nord, par un écoulement souterrain favorisé par un substratum semi-perméable à perméable servant d'aquifère-relais.

Ces constatations sont confirmées par le rapport BRGM R 35 442 AQI 4S 92 (1992).

La forte densité de piézomètres implantés le long de la falaise a permis de mettre en évidence une parfaite corrélation entre la piézométrie de la nappe, la perméabilité de l'aquifère et la géologie. De plus, il apparaît que le bassin versant souterrain qui s'écoule vers la falaise est très étroit et que sa surface est de l'ordre de 0,328 km². Ceci est en rapport avec le fait que la base des formations plio-quadernaires plonge vers l'intérieur des terres.

Les auteurs ont également mis en évidence l'existence, en 1982, d'infiltrations parasites (pertes des réseaux d'eau et d'assainissement, puits perdus, fosses septiques, ...).

3.2.2. Données hydrogéologiques de la Corniche de la falaise à Bidart (Largillier, 2002)

La Corniche de la falaise à Bidart a fait l'objet d'une étude de stabilité réalisée par ANTEA en 2002. Cette étude a été demandée par la commune, suite à un glissement de terrain (date indéterminée) qui s'était produit à proximité de la route passant sur la corniche.

La falaise est entaillée dans les marnes conchoïdes de Bidart, d'âge maastrichtien. Ces marnes sont recouvertes par des alluvions anciennes constituées de sables et de graves de couleur ocre. Il existe une nappe phréatique dans ces alluvions perméables au contact des marnes imperméables dans la partie haute de la falaise. Cette nappe donne naissance à une source située le long du chemin rural Ithurriko Bidea, sous la parcelle 20, dans la partie sud du site. Sur le reste de la pente, aucune source n'a été repérée à ce niveau mais il existe vraisemblablement des niveaux humides masqués par l'abondante végétation arbustive. Les glissements dans les alluvions sont à l'évidence favorisés par l'émergence de la nappe en pied de falaise qui déstabilise la pente au contact alluvions – marnes. ANTEA préconise donc le drainage de cette

nappe des alluvions, dans le but de stabiliser la pente dans la partie sensible (proposition de système de drainage : tranchée drainante). Les instabilités sont sans doute aggravées lorsque les eaux pluviales du plateau se déversent sur la pente, d'où la nécessité de les canaliser.

3.2.3. Données sur les sources minérales de la commune de Bidart (Winckel *et al.*, 2003 ; Goïty, 1986)

Six sources se trouvent sur la commune de Bidart. Certaines d'entre elles bénéficient de données de débits (entre 1 et 3 mesures) acquises dans le cadre d'études sur les eaux thermales et minérales (Goïty, 1986 ; Winckel *et al.*, 2003). Seules quatre d'entre elles sont répertoriées dans la BSS-BDES. Parmi les six sources de la commune de Bidart, trois sont connues comme étant pérennes (Chailla, Contresta et Plazako Ithurria). Une autre ne coule pas toute l'année (Uronea), pour une autre, aucune information sur la permanence de l'émergence n'existe (Juana) et enfin la dernière (Ramuntcho) a disparu de nos jours (Goïty, 1986).

Les sources Chailla (n° BSS : 10017X0053) et Contresta (n° BSS : 10017X0052) ont bénéficié en 2003 d'une étude géologique de détail (Winckel *et al.*, 2003). Il s'agit de sources de débordement des formations sableuses plio-quadernaires qui apparaissent au contact d'argiles, de sables et de graviers. Ces sources se situent dans la formation cartographiée Fx (terrasse alluviale de 40-50 m ; carte géologique de Bayonne). L'échelle de cette cartographie ne permet pas de montrer la localisation des sources qui se trouvent à la base des formations sableuses plio-quadernaires et au sommet des formations anciennes affectées par un profil d'altération. Le réservoir aquifère est constitué de graviers et de galets sur une quinzaine de mètres d'épaisseur, reposant sur de l'argile. On peut qualifier la nappe de superficielle car elle est alimentée par l'eau de pluie.

L'émergence de la source Ramuntcho, aujourd'hui disparue, était située dans des sables intercalés de marnes argileuses. Le niveau aquifère était constitué par les calcaires de Bidache (Crétacé moyen ; Goïty, 1986).

3.2.4. Données hydrogéologiques de la source d'Urrugne (Chigot et Mondeilh, 1987)

La source dite d'Urrugne (n° BSS : 10262X0018), située sur la commune du même nom fut exploitée jusqu'en 2001 pour l'alimentation en eau potable. Depuis, nous n'avons pas d'indication quant à son exploitation. Elle est située dans les terres et donc en retrait de la côte. D'après les données du rapport de Chigot et Mondeilh (1987), cette source était considérée comme étant une résurgence de la nappe à forte perméabilité des grès permotriassiques. Une réinterprétation des données géologiques réalisée en 2004 montre que cette source émerge au niveau d'un contact faillé entre

les dolomies et calcaires du Muschelkalk et les grès et poudingues du Stéphanién-Autunien. Aucune mesure de débit n'existe sur cette source. Chigot et Mondeilh (1987) notent également la présence, sur la commune d'Urrugne, de trois autres sources situées à proximité de celle citée précédemment, mais sans plus de précision.

3.2.5. Données hydrogéologiques issues de la BSS-BDES

Aucun suivi piézométrique à proximité des falaises et dans l'arrière pays n'a été effectué dans le passé, mis à part l'étude portant sur la falaise de la Côte des Basques (cf. 3.2.1).

L'analyse des points d'eau existants dans la BSS-BDES a donc été entreprise pour pallier ce manque de données. Elle a montré que la majorité des ouvrages sont des sondages qui ont été réalisés principalement dans le cadre de l'implantation de structures telles que des parkings, des résidences, des immeubles, une gare, des routes ou encore un port de plaisance. Par conséquent, ces sondages ont la plupart du temps été rebouchés et n'ont servi que pour avoir une connaissance locale des formations composant le sous-sol. Ils ne sont donc plus accessibles actuellement.

358 ouvrages de faible à moyenne profondeur (maximum : 53 m) ont été recensés dans la BSS-BDES, dont 287 situés sur les communes de la côte basque (Biarritz, Anglet, Bidart, Ciboure, Guéthary, Hendaye, Saint-Jean-de-Luz et Urrugne) et 71 sur la commune de Bayonne.

Parmi les 287 ouvrages situés en zone côtière, la majorité correspond à des sondages, principalement situés sur les communes d'Anglet et de Biarritz (illustration 6). Seuls 37 ouvrages sont des forages et 11 sont des puits. De plus, la plupart de ces 287 points ne se situe pas à proximité même de la côte mais plus dans les terres.

Aucune mesure piézométrique n'existant sur ces forages, nous nous sommes intéressés aux éventuelle(s) venue(s) d'eau apparue(s) lors de la foration des ouvrages, leur profondeur et leur niveau statique. Ces niveaux ne sont pas identiques à des mesures piézométriques faites dans un puits ou un forage mais sont en général assez proches. L'utilisation de ces données pour réaliser une carte piézométrique très précise n'est pas possible car ces informations ne peuvent remplacer les mesures acquises dans le cadre d'une campagne de mesures synchrones (importance de faire des mesures dans un laps de temps limité afin d'éviter tout écart lié aux modifications des conditions climatiques telles que les précipitations, l'ensoleillement, ...). Néanmoins, elles pourraient permettre d'avoir une idée générale des sens d'écoulement et de délimiter grossièrement les bassins versants. Le secteur de la Côte des Basques pourrait servir de zone test en comparant les courbes obtenues grâce aux données de la BSS-BDES et celles issues de la campagne de 1982 (Capdeville *et al.*, 1982).

	Nombre de points	Nombre de points avec présence d'eau
ANGLET	74	46
BIARRITZ	104	75
BIDART	13	8
GUETHARY	3	0
SAINT JEAN DE LUZ	29	23
CIBOURE	23	14
URRUGNE	27	11
HENDAYE	12	5
TOTAL	285	182

Illustration 7 - Répartition par commune des points d'eau de la côte basque issus de la BSS-BDES et de ceux présentant de l'eau au moment de la foration.

Sur les 285 points d'eau situés sur les communes de la côte basque (illustration 7), 182 présentent des données de niveau d'eau au moment de la foration, soit environ les deux tiers des points (illustration 7). Les données sont les plus nombreuses sur les communes de Biarritz (104 données soit 36 %) et d'Anglet (74 données soit 26 %). Le faible nombre de données sur les communes de Bidart et Hendaye ne permettra pas l'ébauche d'une carte.

La dispersion des points comportant un niveau d'eau (illustration 8) rend difficile une interprétation sous forme de carte piézométrique. De plus, le peu de données existantes (mis à part la falaise de la Côte des Basques à Biarritz) ne suffit pas pour apprécier et comprendre totalement le fonctionnement de l'aquifère à proximité de son exutoire en bord de falaise. En particulier, il manque des mesures en tête de falaise, où les fluctuations sont plus importantes (pas de niveau imposé par la topographie des fonds de talweg). Cette donnée doit être acquise car la hauteur de saturation dans l'arrière falaise immédiat est un des principaux facteurs déterminant l'état d'instabilité de toute zone susceptible de mouvement de terrain. Par conséquent, des études doivent être engagées pour obtenir une bonne connaissance du fonctionnement du (des) aquifère(s) côtier(s). Pour cela, il faudra également acquérir, au préalable à l'acquisition de données piézométriques, des données sur les systèmes aquifères concernés par les circulations d'eau (caractéristiques des formations aquifères, limites géographiques, ...). En effet, il est primordial d'identifier les différents aquifères présents afin de ne pas tracer de courbes piézométriques entre deux points n'appartenant pas au même aquifère.

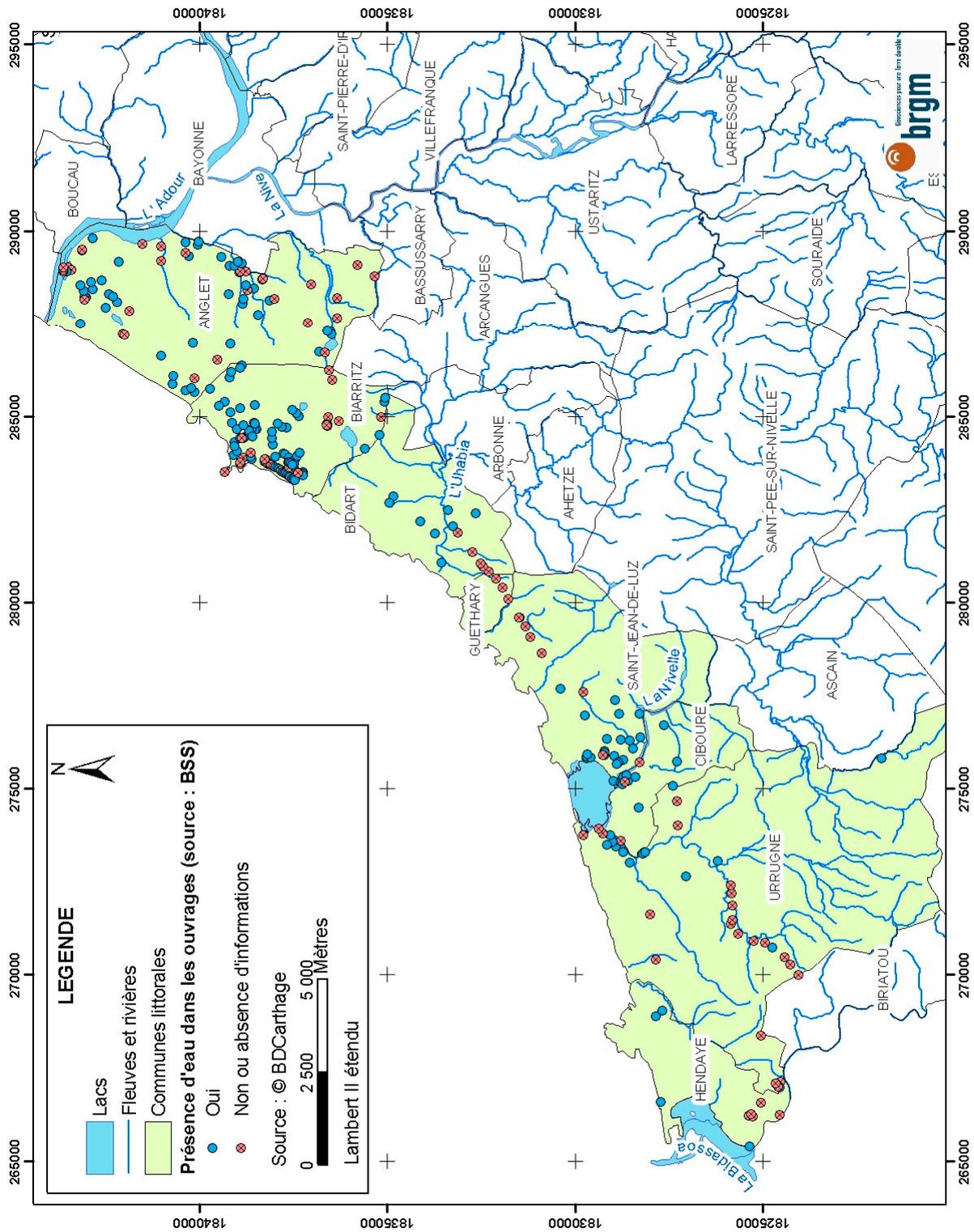


Illustration 8 - Carte de localisation des points d'eau des communes du littoral basque issus de la BSS-BDES avec indication sur la présence d'eau au moment de la foration.

3.2.6. Besoins de connaissances et perspectives partielles

Peu de données existent à ce jour sur les formations aquifères qui sont le siège de circulation d'eau sur la côte basque. Seules quelques études ponctuelles (cf. 3.2.1 à 3.2.5) ont permis d'acquérir des informations dans des secteurs limités. Il faudra donc à l'avenir compléter ces données.

Aucune étude piézométrique, mis à part sur la falaise de la Côte des Basques (cf. 3.2.1), n'a été menée. A ce jour, de nombreuses informations manquent sur les autres secteurs et principalement sur le sens d'écoulement des eaux, la taille des bassins versants et les quantités d'eau qui se déversent sur la côte, ce qui nous intéresse tout particulièrement.

L'étude des points d'eau référencés dans la BSS-BDES a montré qu'aucune donnée piézométrique n'existe sur ces ouvrages. En revanche, des données sur la profondeur d'apparition et le niveau statique de l'eau au moment de la foration sont parfois disponibles. Il a donc été envisagé de traiter ces informations sachant qu'elles devaient être utilisées avec précaution compte tenu des conditions dans lesquelles elles ont pu être obtenues. L'analyse cartographique de ces données a montré que la dispersion des points ne permet pas de réaliser une carte piézométrique, même approximative. De plus, la majorité des points est assez loin de la côte.

Une meilleure connaissance des formations aquifères est donc nécessaire. De plus, la compréhension des modes de circulation des eaux à proximité de la falaise et dans l'arrière pays est indispensable sur tout le linéaire de la côte basque. Elle devrait permettre de mieux apprécier les aléas potentiels de mouvements de la falaise. Par conséquent, l'acquisition des mesures des niveaux saturés du ou des aquifère(s) présent(s) sur la côte basque est essentielle.

3.3 TRAVAUX DE DRAINAGE

Pour pallier aux problèmes relatifs aux circulations d'eau au sein des roches, principalement dans les secteurs instables, des travaux de drainage des eaux souterraines ont été engagés sur certaines communes. Plusieurs expertises et rapports ont été réalisés afin de déterminer les problèmes spécifiques aux différents sites et préconiser des solutions.

A titre d'exemple, on pourra citer les rapports de Capdeville *et al.* (1982) et de Largillier (2002).

Sur la falaise de la côte des basques à Biarritz, l'étude menée par Capdeville *et al.* (1982) a permis de préciser la géologie locale ainsi que le sens d'écoulement de la nappe (cf. 3.2.1). Il est ressorti de cette étude qu'un drainage de la falaise devait être réalisé au plus près du bord pour être efficace et ce dans le but de récupérer le

maximum des fuites des réseaux qui existeront toujours. Trois dispositifs de drainage ont été examinés :

- tranchée drainante,
- galerie drainante,
- ligne de puits à drains.

Les critères pris en compte dans le choix du type de drainage ont été :

- efficacité,
- pérennité de l'efficacité dans le temps,
- faisabilité technique et risques,
- coûts.

Finalement, ce fut le drainage par ligne de puits à drains rayonnants qui fut retenu, cumulant tous les avantages par rapport aux autres solutions.

Sur la commune de Bidart, au niveau de la Corniche de la falaise, l'étude de stabilité réalisée par ANTEA (cf. 3.2.2) a conduit à proposer que soient réalisés des travaux de drainage de la nappe phréatique dans la partie haute de la falaise (Largillier, 2002).

De nombreuses autres études de ce type ont été menées sur la côte basque. Elles ont la plupart du temps conduit à des travaux de drainage (Alexandre *et al.*, 2003).

3.4 SYNTHÈSE DES DONNÉES HYDROCHIMIQUES

La connaissance du faciès chimique des eaux revêt une importance particulière car elle doit permettre de :

- caractériser l'aquifère d'un point de vue géologique (formations rencontrées),
- comparer des données sur des eaux issues d'un même aquifère et d'en déduire éventuellement des particularités locales,
- apprécier les temps de circulation des eaux au sein de l'aquifère,
- estimer l'action chimique de l'eau sur la roche,
- déterminer des éventuels mélanges avec l'eau de mer,
- définir la vulnérabilité de l'aquifère aux pollutions anthropiques qui peuvent modifier le chimisme de l'eau.

Les données chimiques sont peu nombreuses et ont été acquises le plus souvent dans des contextes différents.

3.4.1. Données sur les sources de la Côte des Basques à Biarritz (Capdeville *et al.*, 1982)

En 1982, six prélèvements d'eau ont été réalisés au niveau de sources et de lavoirs de la Côte des Basques à Biarritz (Capdeville *et al.*, 1982). Les eaux ont un faciès chimique bicarbonaté calcique à sodique suivant les points. Seule une source se distingue par un faciès chloruré sodique mais avec une minéralisation totale assez faible par rapport à d'autres points. Le pH mesuré au niveau de ces émergences, ainsi que dans quatre piézomètres du secteur est faible (entre 5,5 et 6,5). Les eaux sont donc acides, ceci en rapport avec la composition lithologique de l'aquifère, essentiellement siliceuse. Il s'agit donc d'eaux agressives vis-à-vis des formations calcaires.

3.4.2. Données sur les forages A.E.P. d'Anglet et Biarritz (origine : BSS-BDES)

Des données chimiques existent sur 6 forages destinés à l'alimentation en eau potable dont quatre sur la commune d'Anglet (10014X0017, 10014X0019, 10014X0022 et 10014X0036) et deux sur la commune de Biarritz (10017X0024 et 10017X0056). Néanmoins, tous se situent à l'intérieur des terres et ne pourront permettre de caractériser l'aquifère en bordure même de falaise. Une étude géologique complémentaire sera nécessaire pour voir si les aquifères concernés par ces circulations s'étendent jusqu'à la côte.

Les forages de la commune d'Anglet captent les eaux des alluvions quaternaires constituées de sables, graviers et galets. Trois de ces forages présentent un faciès chimique bicarbonaté calcique. Le dernier montre un faciès chimique ainsi qu'une minéralisation totale, variables. En effet, de bicarbonaté calcique sodique en 1993 avec une conductivité de 664 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le faciès chimique de ce forage est devenu chloruré à bicarbonaté sodique en 2003 avec une conductivité de 1 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour tous ces ouvrages, les données de pH correspondent à des mesures effectuées au laboratoire et non *in situ* : elles ne peuvent donc être comparées à d'autres valeurs acquises sur site. La présence de nitrates dans les eaux est sensible bien que les teneurs (maximum : 12,7 mg/l) soient inférieures à la norme de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine (50 mg/l). Ceci témoigne de la vulnérabilité des eaux aux pollutions anthropiques.

Les deux forages de Biarritz se situent dans un contexte géologique différent. Situés l'un à côté de l'autre au nord-est du lac Mouriscot, une réinterprétation des données géologiques a montré qu'ils se situent dans un système karstique au sein des calcaires éocènes situés entre 22 et 25 m de profondeur. Ces karsts sont remplis de dépôts plio-quaternaires de type sables et graviers, localement conglomératiques. Le faciès chimique des eaux est bicarbonaté calcique et les deux forages présentent des teneurs similaires pour les différents éléments mesurés. Comme dans le cas des forages

d'Anglet, les mesures de pH, acquises en laboratoire ne sont pas exploitables. Les teneurs en nitrates sont plus élevées et s'échelonnent entre 18,5 et 20,8 mg/l.

3.4.3. Données sur les sources minérales de la commune de Bidart (Winckel *et al.*, 2003 ; Goïty, 1986)

Quelques données sur le chimisme des eaux de sources existent, et en particulier sur deux sources minérales situées sur la commune de Bidart : les sources Chailla (10017X0053) et Contresta (10017X0052). La source Chailla présente un faciès chimique bicarbonaté calcique avec une conductivité variable, de l'ordre de 320 $\mu\text{S/cm}$ en 1985 et entre 490 et 510 $\mu\text{S/cm}$ en 2001 et 2003 sur trois analyses. De même, le pH semble avoir légèrement varié dans le temps, de 6,7 en 1985 et entre 6,1 et 6,3 en 2001 et 2003. La teneur en nitrates varie entre 12,0 et 13,8 mg/l entre 1985 et 2001.

La source de Contresta, qui émerge dans le même contexte géologique (cf. 3.2.3), présente un faciès chloruré sodique calcique mais avec une très faible minéralisation (entre 210 et 360 $\mu\text{S/cm}$). Le pH des eaux est plus faible que celui de la source Chailla, et relativement constant dans le temps entre 5,1 et 5,2. Les teneurs en nitrates mesurées en 1999 (82,2 mg/l) et en 2001 (67,9 mg/l) laissent apparaître une importante pollution des eaux. Suite à ce problème, un panneau d'information, indiquant que l'eau ne peut être consommée, a été placé à l'entrée de l'espace aménagé autour de cette source afin de prévenir la population (Winckel *et al.*, 2003).

Au niveau des autres sources de la commune de Bidart (cf. 3.2.3), aucune information n'existe sur la qualité des eaux de la source de Ramuntcho (10017X0055), qui a disparu de nos jours.

Pour la source d'Uronea (10017X0054), qui ne coule pas toute l'année, les seules informations chimiques disponibles sont la conductivité (552 $\mu\text{S/cm}$) et le pH (7,7) mesurés en 1985 (Goïty, 1986).

Pour les eaux des sources Plazako Ithurria et Juana, le pH est respectivement de 6,9 et 7,1 en 1975 (Goïty, 1986). La source de Juana, localisée en sommet de falaise sur la commune de Bidart, n'a pas été observée lors de la campagne de terrain d'avril 2004. Néanmoins, il serait intéressant de chercher à la retrouver de par sa situation géographique.

3.4.4. Données sur la source d'Urrugne (Chigot et Mondeilh, 1987)

Différentes analyses chimiques existent sur les eaux de la source dite d'Urrugne (10262X0018) entre 1988 et 2001. Elles présentent un faciès chimique de type bicarbonaté chloruré sodique avec une conductivité très faible (entre 60 et 92 $\mu\text{S/cm}$). Cette faible minéralisation des eaux implique qu'elle est liée aux précipitations et que la

minéralisation par contact avec la roche est faible : le temps de séjour des eaux au sein de l'aquifère doit être court. Ceci est en accord avec la forte perméabilité de l'aquifère (cf. 3.2.4). Une mesure de la conductivité des eaux de pluie a été réalisée à Urrugne le 22 avril 2004. Elle est de l'ordre de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est relativement proche de la conductivité des eaux de la source d'Urrugne. Les teneurs en Na^+ et Cl^- des eaux de la source sont proches des teneurs moyennes des précipitations marines et côtières (Langmuir, 1997). Ces eaux contiennent des nitrates en faibles proportions (de l'ordre de 3 mg/l). En revanche, l'ensemble des analyses a mis en évidence la présence de coliformes et de streptocoques dans les eaux. Le nombre de coliformes totaux pour 100 ml d'eau varie fortement entre 4 et 460, celui en streptocoques entre 1 et 7 : ces eaux sont donc vulnérables aux pollutions anthropiques.

3.4.5. Données sur le puits d'Hendaye (origine : BSS-BDES)

Un puits localisé sur la commune d'Hendaye (10261X0012), assez proche de la falaise fournit quelques indications. Les eaux de ce puits, captant l'aquifère des formations plio-quadernaires (sables et gravillons des alluvions de la Bidassoa), présentent en 1999 un faciès chimique bicarbonaté calcique. La conductivité des eaux est de 578 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La teneur en nitrates des eaux (12,8 mg/l) et la forte densité de coliformes dans les eaux (450 coliformes totaux pour 100 ml en 1999) indiquent une pollution de celles-ci en rapport avec la forte vulnérabilité de l'aquifère.

3.4.6. Conclusions partielles

Cette étude a permis de faire un premier état des lieux des données chimiques qui existent sur les eaux des communes de la côte basque. Néanmoins, une étude géologique sera nécessaire pour identifier précisément les aquifères au sein desquels les eaux circulent et leurs limites. Pour ce faire, une étude de terrain devra être réalisée, qui nécessitera probablement la réalisation de sondages afin de connaître la composition du sous-sol dans certaines zones où peu de données existent. Une fois les formations aquifères connues ainsi que les limites des bassins versants souterrains, il sera possible de déterminer si les eaux observées en retrait de la côte sont issues du même aquifère que celle émergeant au niveau des falaises. Cette détermination permettra d'extrapoler ou non les observations faites en arrière pays aux zones côtières.

Les analyses chimiques montrent que le faciès chimique des eaux, ainsi que leurs paramètres physico-chimiques, sont variables et fonction de plusieurs paramètres et principalement :

- la localisation des points d'eau,
- le type d'aquifères contenant ces eaux,
- le temps de circulation des eaux.

Il apparaît également que les paramètres physico-chimiques et la minéralisation peuvent évoluer dans le temps (cf. 3.4.2 et 3.4.3).

La proximité de la mer a une influence sur la minéralisation des points d'eau côtiers (mélanges possibles avec l'eau de mer, contact avec des embruns ; cf. 3.4.5).

D'une façon générale, les eaux circulent dans des niveaux aquifères de faible profondeur et peu protégés (cf. 3.2). Ceci induit une vulnérabilité des eaux des aquifères aux pollutions anthropiques qui se traduisent par des teneurs en nitrates plus ou moins élevées. Ces résultats sont confirmés par des analyses bactériologiques disponibles sur quelques points.

3.5 ETUDE DE DÉTAIL DES VIVIERS-BASQUES (URRUGNE)

3.5.1. Introduction

Afin d'étudier les instabilités de la falaise rocheuse des Viviers-Basques, une campagne de terrain a été réalisée entre le 5 avril et le 13 mai 2004. Elle avait pour but de déterminer les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la falaise et du massif rocheux. Ce travail, initié par le BRGM dans le cadre de l'étude qui lui a été confiée, a été réalisé par M. Borie au cours d'un stage de DEA effectué sous la direction de J.L. Favre (Ecole Centrale des Arts et Manufactures de Paris), J. Riss, R. Fabre et A. Marache (Centre de Développement des Géosciences Appliquées de l'Université Bordeaux 1).

Un suivi hydrogéologique complémentaire a débuté au mois de novembre 2004 et se poursuivra pendant au moins une année. Quatre campagnes de mesures ont été effectuées entre novembre et fin décembre 2004, soit environ une mesure tous les quinze jours. Les résultats préliminaires seront présentés afin d'étayer les connaissances acquises au printemps 2004. La densité des mesures par unité de temps ($1 \text{ mesure} / 15 \text{ jours}$), volontairement importante actuellement, sera réajustée en fonction du temps de réponse de l'aquifère aux variations climatiques.

3.5.2. Contexte climatique

Les conditions climatiques à la pointe de Socoa à Ciboure, située à moins de 3 km à l'est/nord-est des Viviers-Basques, entre le 1^{er} janvier et le 15 décembre 2004, sont résumées sur les illustrations 9 et 10 (données Météo France 2004). La pluviométrie est beaucoup plus contrastée que la moyenne observée sur les 34 dernières années (cf. 2.5). D'une part, les mois les plus pluvieux ont été les mois de janvier avec 231 mm de précipitations (soit plus de 7 mm par jour en moyenne, avec un maximum de 54,6 mm le 23 janvier) contre 150 mm en moyenne sur les 34 dernières années,

d'octobre (195 mm) et d'août (162 mm). D'autres part, les précipitations ont été nettement plus faibles que la moyenne en février (2004 : 85 mm ; moyenne : 130 mm), mars (2004 : 95 mm ; moyenne : 123 mm), juin (2004 : 50 mm ; moyenne : 86 mm), juillet (2004 : 62 mm ; moyenne : 82 mm) et novembre 2004 (2004 : 119 mm ; moyenne : 172 mm).

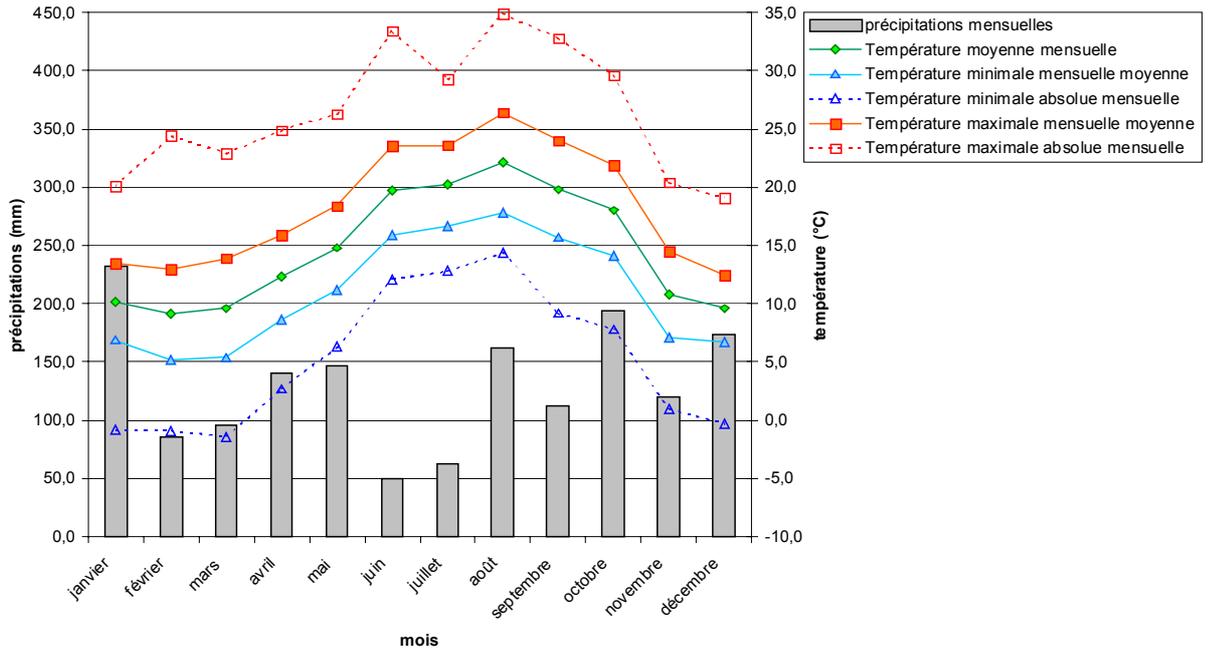


Illustration 9 - Précipitations et températures mensuelles enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure de janvier à décembre 2004 (données Météo France 2004).

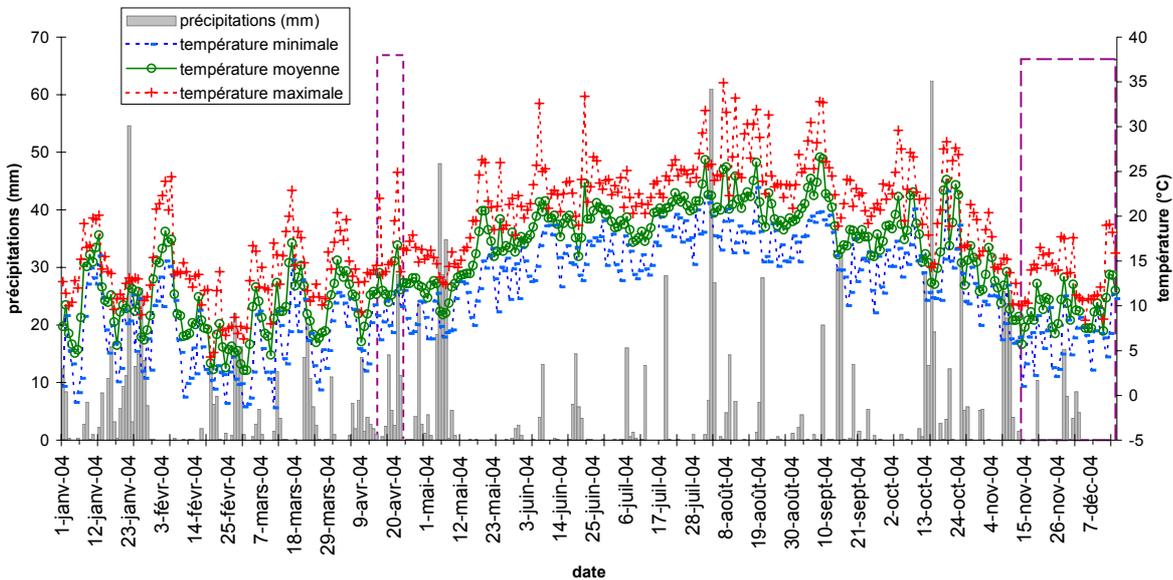


Illustration 10 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 1^{er} janvier et le 15 décembre 2004 (données Météo France 2004). Les périodes des campagnes de terrain sont encadrées avec des tirets et agrandies sur les illustrations 11 et 12.

La première campagne de mesures concernant les sources s'est déroulée du 13 au 23 avril 2004. L'illustration 11 présente un agrandissement de l'illustration 10 sur cette période. Les précipitations ont été abondantes durant ce laps de temps. En effet, sur 11 jours, 9 ont été arrosés, dont 5 jours de très faibles pluies (inférieures à 5 mm dans la journée). On remarque deux pics, le 18 avril (15 mm), et les 21-22 avril (cumul de 40 mm dont 28 mm dans la soirée du 21 avril, la journée ayant été par ailleurs ensoleillée).

Les températures moyennes journalières, peu variables sur cette période, sont en moyenne de 12,5°C (température moyenne minimale : 9,5°C ; température moyenne maximale : 16,5°C). On note néanmoins un pic de chaleur le 21 avril avec une température moyenne de 16,8°C (température minimale : 12,3°C ; température maximale : 24,9°C) et un second pic, moindre, le 15 avril (température moyenne 13,7°C ; température minimale : 6,2°C ; température maximale : 22,0°C).

L'amplitude thermique journalière est en moyenne de 7,0°C. On remarquera les 15 et 21 avril deux amplitudes plus importantes, de 15,8°C et 12,6°C respectivement.

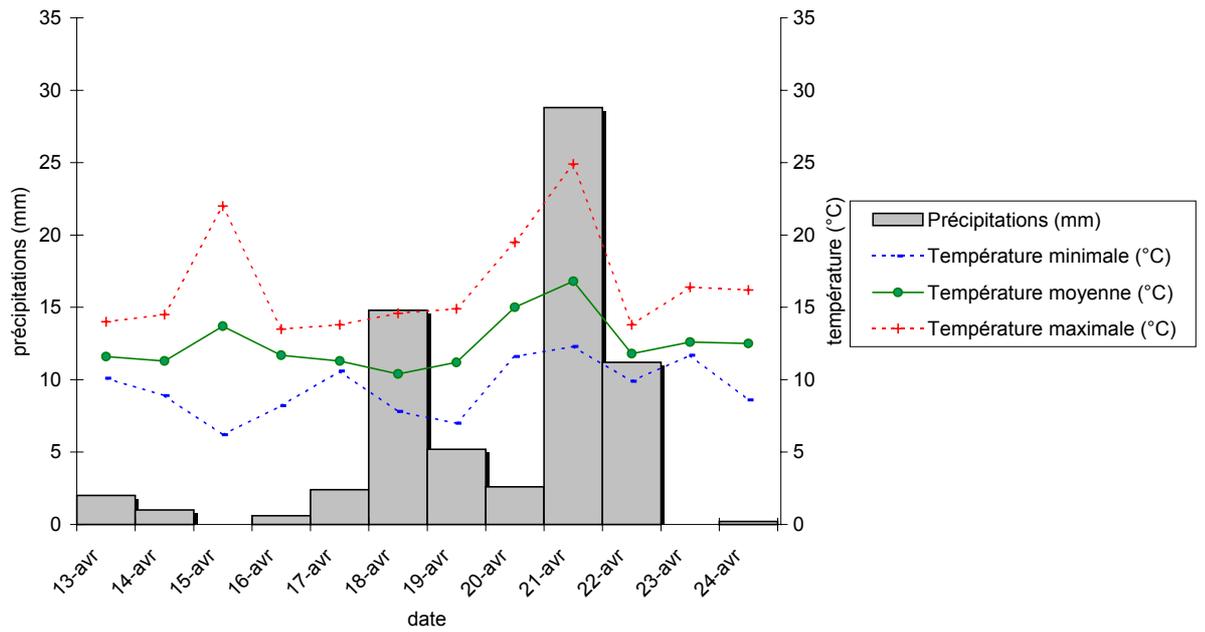


Illustration 11 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières du 13 au 23 avril 2004 à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France 2004).

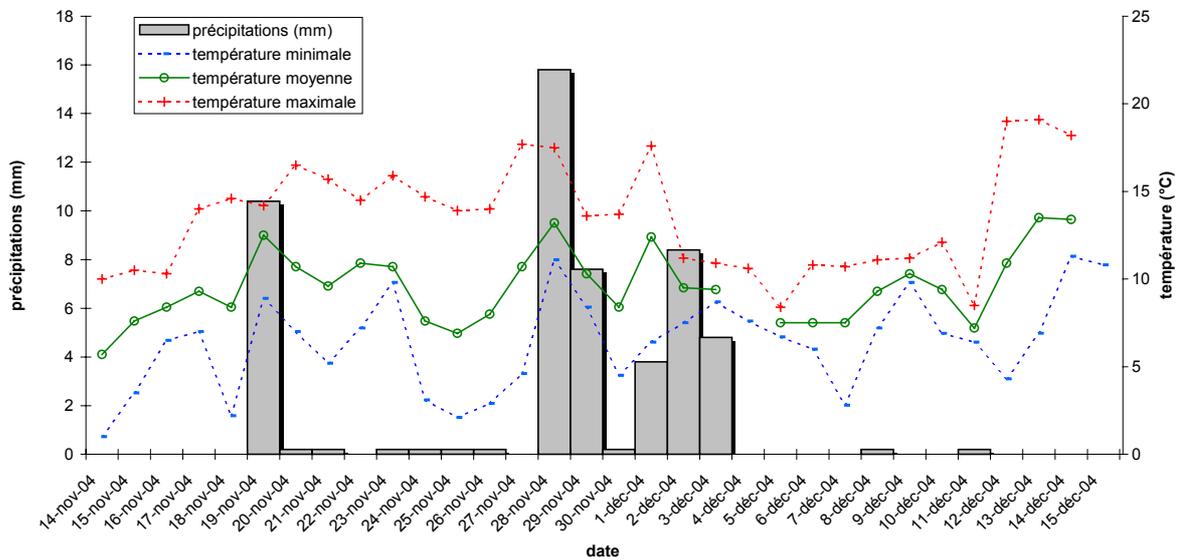


Illustration 12 - Précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) journalières du 14 novembre au 15 décembre 2004 à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France 2004).

Les conditions météorologiques au cours de la campagne de mesure complémentaire qui a débuté le 16 novembre 2004 sont présentées dans l'illustration 12.

On observe deux pics de précipitations, le 19 novembre avec 10 mm et la semaine du 28 novembre au 3 décembre avec 41 mm cumulés, on notera une accalmie le 30 novembre.

Les températures varient peu sur cette période avec une température moyenne de 9,6°C, la température moyenne journalière maximale étant de 13,5°C (le 13/12/04) et la minimale de 5,7°C (le 14/11/04). Aucune gelée n'est constatée sur cette fin d'automne 2004, la température minimale étant de 1°C le 14 novembre. Un pic de chaleur est observé à la mi-décembre, avec 19°C et 18°C respectivement les 13 et 14 décembre. L'amplitude thermique journalière est également de 7°C en moyenne.

3.5.3. Contexte géographique et géologique

Bordée au Nord-Ouest par l'Océan Atlantique, la falaise des Viviers-Basques, longue de 350 m, s'élève jusqu'à l'altitude de 40 m. Elle est formée par le flysch marno-calcaire de Socoa, composé d'une alternance de bancs gréseux calcaires, silteux marneux et des interbancs argileux. Les niveaux marneux et argileux sont prépondérants. Une formation superficielle argileuse recouvre le massif rocheux avec une épaisseur variable.

Ce massif rocheux s'intègre dans l'unité monoclinale d'Urrugne. Aux Viviers-Basques, les bancs, de direction parallèle au trait de côte (N69°E), plongent en moyenne de 25° vers le Nord-Ouest. La pente topographique est conforme au pendage des bancs.

Plusieurs familles de fractures découpent le massif rocheux :

- famille T (N171°E 86°E),
- famille L (N59°E 72°SSE),
- famille D1 (N107°E 75°SSW),
- famille D2 (N26°E 80°SE),
- famille E (N4°E 19°E).

Les instabilités de terrain se manifestent par des glissements plans le long de la stratification, ainsi que par la chute de blocs isolés se produisant essentiellement à la suite de fortes précipitations.

3.5.4. Contexte hydrogéologique

Un seul système aquifère a été identifié aux Viviers-Basques. Il correspond au massif rocheux du flysch dont la perméabilité est essentiellement liée à la porosité de fractures et de fissures. Les directions d'écoulement sont fonction de la stratification et de la fracturation.

L'abondance des niveaux argileux et marneux dans le flysch, organisés selon la stratification est, *a priori*, à l'origine de réseaux de circulation complexes, avec l'existence possible de nappes perchées. Plusieurs échelles de fracturation ont été relevées (depuis l'étude d'affleurements jusqu'à l'étude à plus petite échelle des photographies aériennes) formées par des lignes structurales plus ou moins persistantes et plus ou moins épaisses. Observées à grande échelle, ces lignes structurales sont généralement des cassures nettes dans la roche (fractures au sens strict ou fissures), à ouverture variable, permettant la circulation d'eau entre les deux épontes de la discontinuité. Les lignes structurales observées à petite échelle, d'extension plus importante, ont une épaisseur notable (jusqu'à plusieurs mètres). Ce sont des zones plus ou moins broyées, constituées d'un réseau dense de fractures plus ou moins parallèles à la direction générale. Ces différentes échelles de fracturation sont à l'origine d'une hétérogénéité dans la perméabilité.

La présence d'émergences légèrement sous pression permet d'émettre l'hypothèse que certaines zones de l'aquifère sont captives (délimitées au toit par des formations à perméabilité très faible comme la formation argileuse superficielle observée sur le site étudié).

L'extension du bassin versant de cet aquifère est encore indéterminée. La pérennité des ruisseaux et de certaines sources démontre que la surface de l'aquifère ne se limite pas aux interfluves⁴ des bassins versants topographiques (capacité d'infiltration et précipitations insuffisantes), mais s'étale au-delà. Des études complémentaires seront nécessaires pour caractériser précisément la géométrie de cet aquifère et évaluer ses ressources en eau.

La formation de surface, argileuse, est quasiment imperméable. Elle ne permet pas de circulations d'eau notables, mais seulement la rétention d'eau. Elle s'étend de façon discontinue sur la zone étudiée, avec une épaisseur variable. A la suite de précipitations, l'eau ruisselle sur cette formation et les infiltrations sont concentrées dans les zones où elle est peu épaisse, voire inexistante, accentuant à ces endroits les phénomènes de dissolution du massif rocheux.

Le fonctionnement des aquifères à double porosité de fractures et de fissures induit de fortes surpressions néfastes pour la stabilité du massif rocheux en périodes de hautes eaux. En effet, en période d'étiage, l'eau contenue dans les fissures est drainée par les fractures. En cas de montée importante des eaux de l'aquifère, les fractures se

⁴ Les interfluves correspondent aux reliefs séparant deux vallées.

saturent rapidement (à cause de leur forte conductivité hydraulique), et alimentent les fissures, créant ainsi les surpressions déstabilisatrices. Le fait que les glissements bancs sur bancs se produisent à la suite d'évènements pluvieux (communications personnelles ; T. Mulder, C. Desreumaux) corrobore cette hypothèse. L'eau s'infiltré dans les discontinuités stratigraphiques engendrant de fortes surpressions interstitielles. Ces dernières diminuent la résistance au cisaillement des discontinuités déjà fortement altérées par les saturations en eau successives liées aux épisodes pluvieux précédents. Cet ensemble de processus peut ainsi conduire à la rupture qui engendrera le glissement des bancs préalablement prédécoupés par la fracturation. Cette hypothèse a été validée par une modélisation numérique avec un couplage hydro-mécanique (Borie, 2004).

3.5.5. Informations acquises sur le terrain

Différents types de venues d'eau (cf. 3.5.6) ont été observés sur le secteur de la Corniche.

Pour chaque venue d'eau, et dans la limite de leur accessibilité, les mesures et observations suivantes ont été réalisées sur le terrain :

- localisation,
- date des mesures,
- conditions climatiques la veille et le jour de la mesure,
- mesure ou estimation de débits en relation avec la pluviométrie,
- mesure des paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, alcalinité),
- prélèvements d'échantillons d'eau en vue d'analyses chimiques*,
- géométrie et nature des exutoires et des lits des ruisseaux.

*Les analyses chimiques des eaux prélevées (illustration 26 et annexe 2) ont été réalisées au laboratoire d'Hydrogéologie de l'EGID (Université Bordeaux 3).

De plus, pour le ruissellement de surface (rivières), des observations ont porté sur :

- la trajectoire des cours d'eau,
- la pérennité des cours d'eau,
- le positionnement des talwegs,
- la délimitation du bassin versant topographique.

3.5.6. Type de venues d'eau observables et localisation

3.5.6.1 Rivières

Les apports de surface sont canalisés par deux ruisseaux, identifiés par leur emplacement géographique relatif, le ruisseau Ouest et le ruisseau Est (illustration 13).

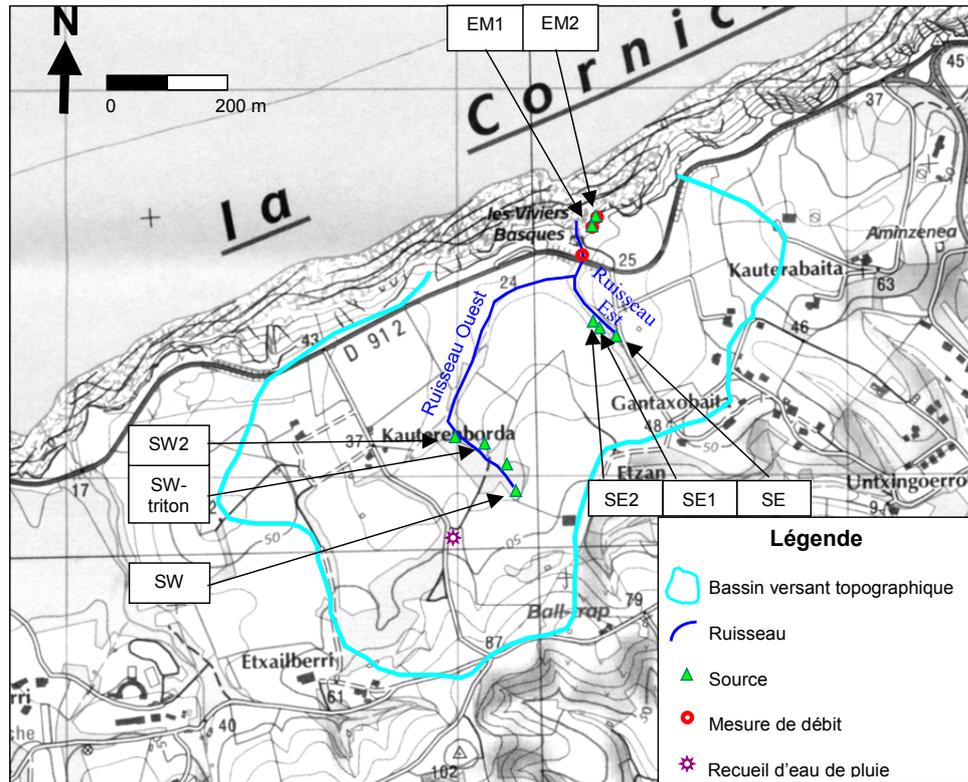


Illustration 13 - Carte de localisation des venues d'eau observées sur la Corniche à Urrugne (avril – mai 2004 ; source : IGN 1/25 000).

Les ruisseaux Ouest et Est confluent non loin de l'embouchure, au sud immédiat de la route départementale 912 et drainent un bassin versant topographique d'une aire totale de 0,97 km² (0,66 km² pour le bassin versant du ruisseau Ouest et 0,31 km² pour le ruisseau Est ; illustration 13). Ces cours d'eau s'écoulent directement sur les flyschs, selon des directions similaires à celles des principales fractures du massif rocheux. En effet, l'eau emprunte préférentiellement ces zones généralement moins résistantes.

Chaque ruisseau est alimenté par plusieurs émergences au fil de son parcours (illustration 13) dont les caractéristiques géographiques et physico-chimiques seront détaillées dans les paragraphes suivants (cf. 3.5.6.2, 3.5.7 et 3.5.8). De sources locales, ces deux ruisseaux, aménagés afin de permettre l'alimentation d'abreuvoirs, sont pérennes.

3.5.6.2 Sources et suintements

a) Caractérisation et localisation

Les venues d'eau observées sur le secteur de la Corniche se produisent à la faveur :

- des discontinuités du massif rocheux,
- du contact entre le flysch et la formation argileuse de surface.

On distingue deux types de venues d'eau :

- les suintements, remarquables à la suite d'épisodes pluvieux,
- les sources.

b) Venues d'eau situées sur la falaise

Les suintements ne sont visibles qu'à la suite de précipitations. Ils apparaissent à la faveur des discontinuités stratigraphiques (illustration 14), mais également à la faveur de certaines fractures (illustration 15). Localement, on les observe à l'interface entre la roche saine et la formation de surface (illustration 14).



Illustration 14 - Suintements observés dans l'après-midi du 20 avril 2004, à la suite d'une matinée pluvieuse.

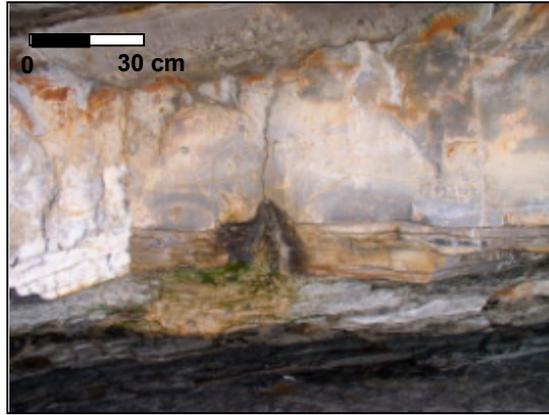


Illustration 15 - Suintement à la faveur d'une fracture perpendiculaire à la stratification, observé dans l'après-midi du 20 avril 2004, à la suite d'une matinée pluvieuse.

Deux sources (EM1 et EM2), remarquables par la relative importance de leur débit, autrefois exploitées pour les Viviers (illustration 16), ont donné lieu à des mesures physico-chimiques. Elles émergent de fractures de la famille D1, orientées N110°E 85°S et N119°E 88°S respectivement, largement ouvertes (12 cm et 25 cm ; illustration 17).

Remarque :

Le 16 novembre 2004, la source habituelle EM2 est tarie. Néanmoins, on observe deux nouvelles arrivées d'eau (illustration 16) :

- la première, EM2^{bis}, émerge de la discontinuité de la famille D1 dans laquelle circulait l'eau de la source EM2, à une altitude plus faible (environ 50 cm plus bas),
- la seconde, EM2^{ter}, émerge de la discontinuité stratigraphique formée par le mur du banc sur lequel s'écoulait l'eau de EM2 (soit environ 10 cm sous l'émergence EM2), à environ 1 m au nord-ouest de EM2.

Les propriétés de l'eau de ces nouvelles émergences sont par ailleurs quasi identiques (exceptée la température) et semblables à celles de l'eau qui arrivait à EM2 (annexe 2). Ceci permet d'émettre l'hypothèse que l'eau de ces nouvelles émergences est celle qui arrivait à la source EM2, ce qui peut s'expliquer par deux phénomènes :

- soit l'eau a érodé son lit d'argile et s'écoule à présent sur un niveau inférieur,
- soit un débit plus faible ne permet pas à l'eau de circuler à l'altitude de EM2 (d'autre part, le débit de EM1 semblait (à vue) plus faible que ceux observés lors des campagnes précédentes)

La différence de température peut être due à un rééquilibrage avec la température extérieure (plus froide que l'eau) qui s'effectue de façon différente lorsque l'eau circule

dans la discontinuité D1 (eau plus exposée à l'air ambiant) ou dans une discontinuité stratigraphique (eau protégée de la température extérieure par le banc sus-jacent).

Lors des campagnes de mesures suivantes (25 novembre, 8 et 22 décembre 2004), la source EM2 coulait à nouveau normalement. Il semblerait ainsi que la seconde hypothèse soit la plus vraisemblable.

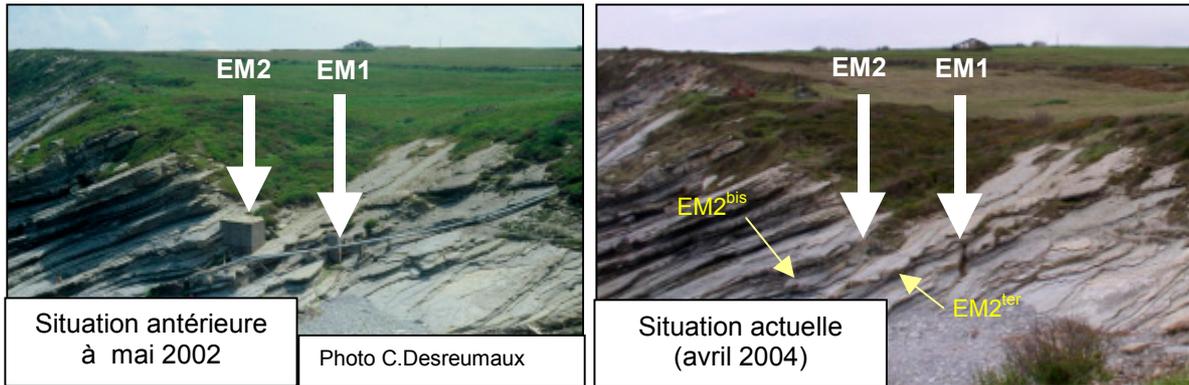


Illustration 16 - Plage des Viviers-Basques pendant exploitation (antérieure à 2002) et situation actuelle (avril 2004) avec indication de la localisation des sources EM1, EM2, EM2^{bis} et EM2^{ter}.

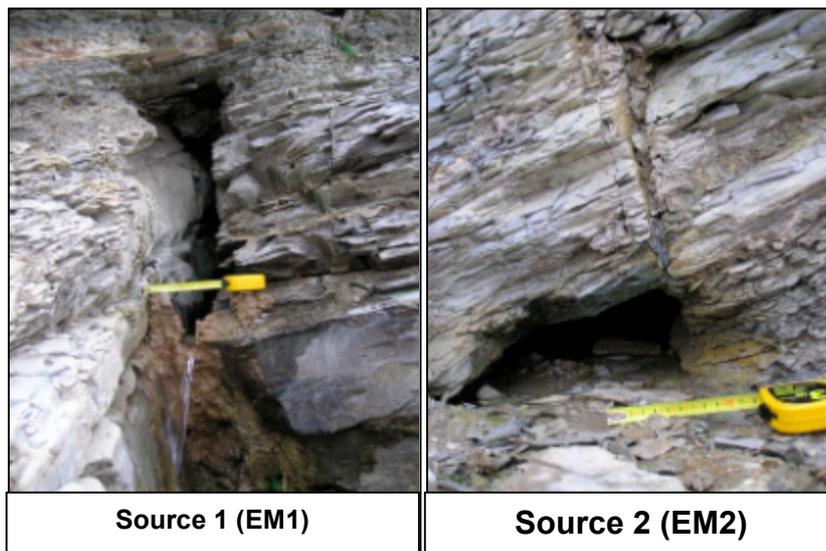


Illustration 17 - Sources EM1 et EM2 (avril 2004).

D'autres sources existent sur la falaise mais leur faible débit n'a permis ni prélèvement ni mesures.

c) Venues d'eau dans l'arrière-pays

De nombreuses sources alimentent les ruisseaux Est et Ouest (illustration 13). Les plus remarquables par leur débit et leur accessibilité ont été localisées sur la carte de l'illustration 13 et ont donné lieu à des mesures physico-chimiques.

Le ruisseau Est prend sa source au sud immédiat de la route reliant la RD912 à Gantaxobaita (illustrations 13, 18 et 19). Bien que circulant au contact direct des flyschs, aucun indice ne permet de déterminer l'aquifère d'origine. La source initiale de ce ruisseau est protégée du piétinement du bétail par des tôles. Une canalisation permet de relier les fossés de part et d'autre de la route, dont le contenu est directement déversé dans la source (illustration 18). Une seconde canalisation apparaît immergée au sein de la source, cette dernière semble avoir été aménagée (illustration 19).

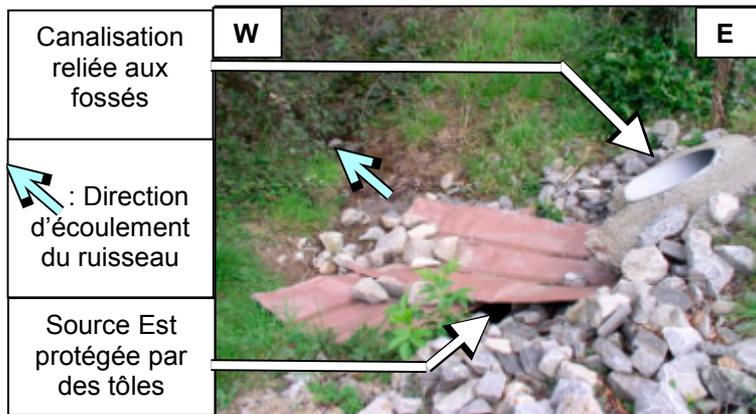


Illustration 18 - Source initiale du ruisseau Est (avril 2004).

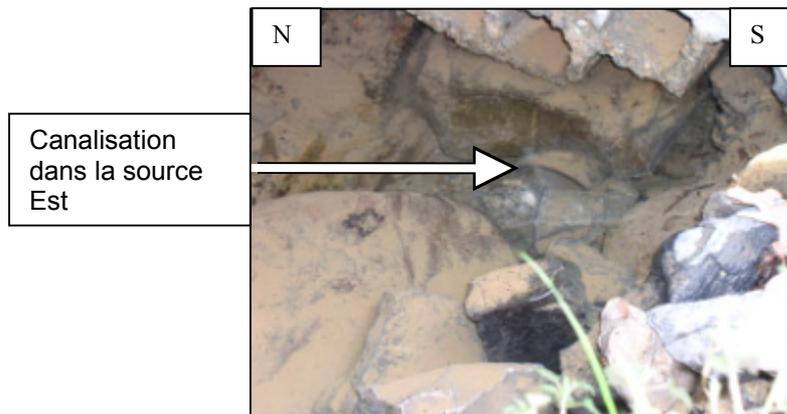


Illustration 19 - Source initiale du ruisseau Est, vue sous les tôles (avril 2004).

En amont de l'émergence actuelle, sur les photos aériennes de la campagne de 1938, on peut noter la présence d'un bosquet dans l'alignement du ruisseau. Ce bosquet étant composé d'arbres alignés, ils ont probablement été plantés par l'homme. Ceci laisse supposer qu'à l'époque de la plantation de ces arbres, la nappe était relativement proche de la surface. Il est également possible d'envisager que la source se situait en amont de l'émergence actuelle, dans le champ localisé à l'est de la route (illustration 20). Néanmoins, rien ne permet de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. Actuellement, les arbres ont disparu et ont laissé leur place à un champ. Nous ne possédons aucune information sur les conditions actuelles du sol dans cette zone.

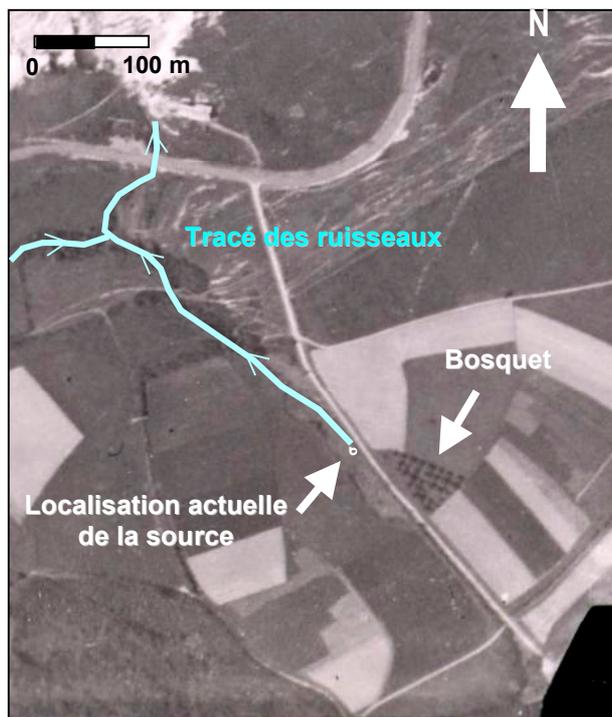


Illustration 20 - Extrait de la photographie aérienne de la campagne de 1938 et localisation de l'émergence actuelle à l'origine du ruisseau Est (source : Photographies aériennes de Bayonne mission 1938-XII-44).

En plus de cette source initiale, le ruisseau est alimenté par d'autres émergences localisées principalement à l'interface entre le flysch et la formation de surface. Ceci est le cas des sources SE2 et SE3 (illustration 13), dont les débits ont été mesurés (cf. 3.5.7).

Le ruisseau Ouest prend naissance dans une petite vasque (source notée SW) dans laquelle se déverse une ou plusieurs sources (en fonction de la pluviométrie) provenant d'un horizon intermédiaire entre le flysch et la formation de surface argileuse (illustration 21). A la suite de fortes précipitations, l'eau s'écoule à travers des terriers creusés dans cet horizon intermédiaire.

Ce ruisseau est par la suite nourri par diverses sources (illustrations 13, 22 et 23) émergeant à la faveur de discontinuités dans le flysch ou à l'interface entre le flysch et la formation superficielle.

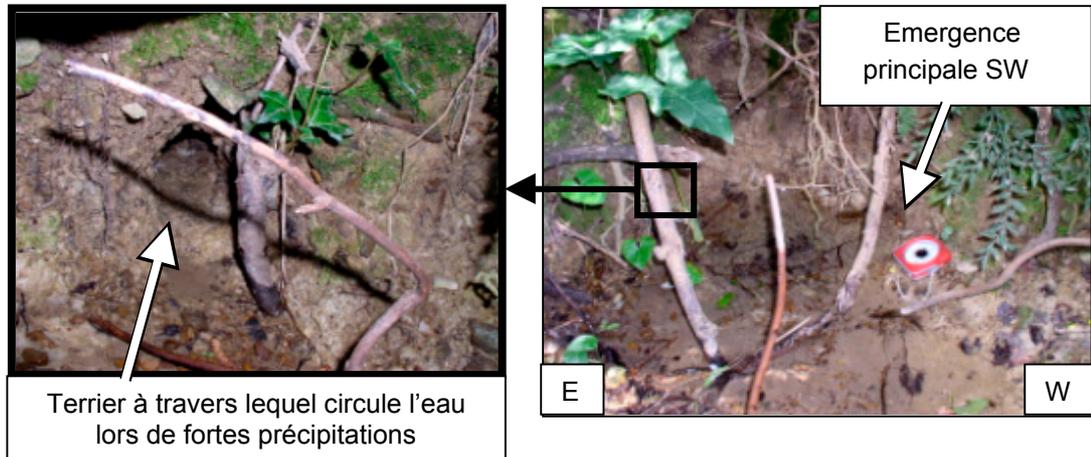


Illustration 21 - Source SW à l'origine du ruisseau Ouest (avril 2004).

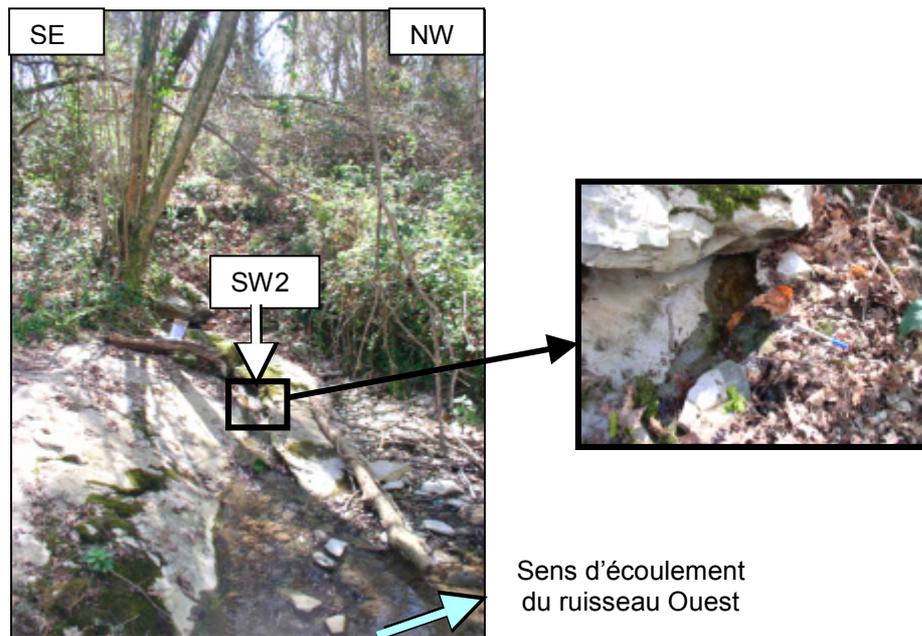


Illustration 22 - Source SW-triton à l'interface entre le flysch et la formation de surface (avril 2004).

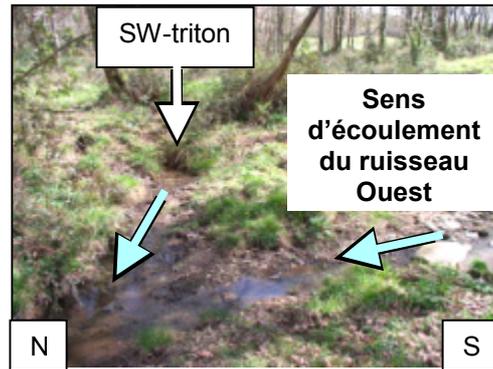


Illustration 23 - Source SW-triton (avril 2004).

L'eau des sources SW et SW2 émerge avec une légère pression, ce qui laisse supposer que l'aquifère est captif à ces endroits.

La liste des sources fournie dans le cadre de ce travail n'est pas exhaustive. En effet, seules les émergences au débit remarquable, permettant le prélèvement d'eau au moment de la campagne de terrain, ont été retenues. De plus, l'existence de venues d'eau de l'aquifère directement dans le lit des ruisseaux est possible. Ces dernières, masquées par le flot des ruisseaux, pourraient être déduites par mesures de débits le long du ruisseau.

3.5.7. Mesures de débits

Lorsque cela était possible, le débit des différentes venues d'eau (ruisseau et sources) a été mesuré avec plus ou moins de précision selon les situations.

Le débit du ruisseau formé par la confluence des ruisseaux Est et Ouest a été estimé (22 avril 2004) et mesuré au courantomètre (13 avril 2004) en fonction des conditions climatiques.

Pour les émergences EM1 et EM2, les débits ont été :

- mesurés en chronométrant le temps nécessaire au remplissage d'une burette graduée de 250 ml (moyenne sur 9 à 10 jaugeages ; 13 avril 2004),
- estimés en mesurant le temps nécessaire au remplissage d'un seau de 10 l (forts débits). Dans ce cas, l'eau ne pouvant être canalisée dans sa totalité vers le seau, le débit obtenu est approximatif, on retiendra alors surtout l'ordre de grandeur (22 avril 2004).

Ces mesures et estimations sont présentées sur les illustrations 24 et 25.

Date	Conditions climatiques	Objet	Débit
13/04/2004	Journée humide, brouillard, peu de pluie (2 mm le 12/04 et 1 mm le 13/04 à Ciboure)	Ruisseau	0,97 m ³ /h
		EM1	0,42 m ³ /h
		EM2	0,18 m ³ /h
22/04/2004 midi	Précipitations importantes depuis la veille (40 mm cumulées sur 2 jours)	Ruisseau	> 5 m ³ /h
		EM1	1,7 m ³ /h
		EM2	0,7 m ³ /h

Illustration 24 - Débits mesurés et estimés sur le ruisseau et les émergences EM1 et EM2 de la Corniche à Urrugne et conditions climatiques (13 et 22 avril 2004).

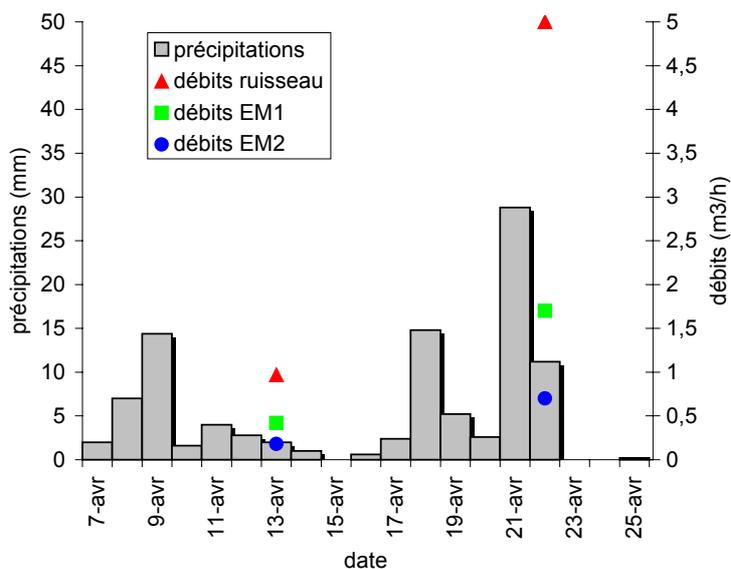


Illustration 25 - Corrélation entre précipitations et débits du ruisseau et des émergences EM1 et EM2 de la Corniche à Urrugne du 7 au 25 avril 2004.

Suite aux précipitations, le débit des venues d'eau augmente dans un court laps de temps (moins de 24 heures ; illustration 24). De plus, l'eau du ruisseau devient turbide, conséquence de la forte teneur en matières en suspension. Ces particules fines peuvent provenir soit de la formation superficielle argileuse, lessivée par la pluie, soit de « poches » argileuses piégées au sein du massif rocheux flysch, charriées par l'augmentation du courant et/ou du niveau d'eau.

Deux mesures de débit sont insuffisantes à la détermination du régime hydraulique du site étudié. Ce type d'étude doit se réaliser sur au moins un cycle climatique entier (soit un an).

3.5.8. Données physico-chimiques

Pour chacune des venues d'eau citées précédemment (cf. 3.5.6), les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité et alcalinité) ont été mesurés sur le terrain (annexe 2). Des prélèvements d'eau ont été réalisés en vue d'analyses chimiques (concentrations en éléments majeurs, nitrates et fluorures ; illustration 26 et annexe 3).

3.5.8.1 Température

La température des sources EM1 et EM2 varie peu (en moyenne 13,3°C et 12,4°C respectivement) pendant la campagne de printemps 2004 (annexe 2). De plus, elle reste comprise entre la température minimale et maximale atmosphérique de la journée (cf. 3.5.2). La température des sources SW, SW-triton, SE, SE2 et SE3 est relativement élevée et proche du maximum de la journée (température ambiante au moment des mesures). Ces dernières sont toutes des venues d'eau localisées à l'interface entre le flysch et la formation superficielle. L'eau de la source SW2 présente une température inférieure de 2°C aux autres venues d'eau. Il est possible que cette eau circule à une profondeur légèrement plus importante et qu'elle soit moins influencée par les conditions extérieures.

Les températures des sources relevées à partir du 16 novembre 2004 (annexe 2) sont plus élevées que celles mesurées au printemps. Elles baissent assez régulièrement dans le temps entre les maxima du 16 novembre (15,3°C en moyenne) et les minima du 22 décembre (14,4°C en moyenne). L'eau de SW-triton fait exception, elle est généralement plus froide avec 12,4°C. En effet, dans ce cas, l'eau stagnante a eu, *a priori*, plus de temps pour se rééquilibrer. Ces températures sont supérieures à la température atmosphérique moyenne mensuelle de novembre (10°C à Socoa, cf. 2.5) et aux températures maximales journalières.

La température moyenne de l'eau de l'ensemble des venues d'eau sur la période considérée est de 14,1°C (avec un maximum de 15,2°C pour SW et un minimum de 12,2°C pour le ruisseau). La température journalière moyenne annuelle atmosphérique

à Socoa étant de 14,3 °C, ces températures restent à ce stade de l'étude dans la norme. Mais un suivi complémentaire, avec une densité de mesure adaptée, est nécessaire.

3.5.8.2 Conductivité

La conductivité des eaux est variable (441 à 811 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en fonction des points mais aussi dans le temps (annexe 2). La plupart des mesures a été réalisée les 13 avril, 16 et 25 novembre et 8 et 22 décembre 2004, d'autres ont été effectuées les 20, 22 et/ou 23 avril 2004.

Les sources EM1 et EM2 ont bénéficié chacune de huit mesures effectuées les 13, 20, 22 et 23 avril, les 16 et 25 novembre et les 8 et 22 décembre 2004. Les différentes mesures sont relativement homogènes pour chaque source. On remarque néanmoins une conductivité de l'eau de la source EM1 plus élevée en moyenne en automne (737 $\mu\text{S}/\text{cm}$) qu'au printemps (616 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne). La conductivité de l'eau de EM2, peu variable, est en moyenne de 761 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cependant, pour ces deux sources, la donnée du 22 avril est plus faible que les autres (451 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour EM1 et 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour EM2). Il s'avère que les journées du 21 et 22 avril 2004 ont été particulièrement pluvieuses (cumul de 40 mm ; cf. 3.5.2). Ceci est en accord avec les débits mesurés sur ces sources qui étaient près de 4 fois plus importants le 22 que 13 avril (cf. 3.5.7). La baisse de conductivité des venues d'eau lors de la mesure du 22 avril 2004 pourrait donc être en rapport avec les fortes précipitations. En effet, une mesure réalisée sur les eaux de pluie du secteur le 22 avril montre que la conductivité de celles-ci est de l'ordre de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (annexe 2). Le 23 avril, qui a été exempt de précipitation (cf. 3.5.2), on note une augmentation de la conductivité qui tend vers les valeurs observées précédemment les 13 et 20 avril 2004, jours de précipitations modérées. Il apparaît donc que lors de précipitations intenses, l'eau des sources est diluée par de l'eau de pluie de moindre conductivité. Deux hypothèses peuvent être avancées quant à ces observations :

- la zone de recharge est proche de la zone d'émergence et les eaux circulent rapidement dans l'aquifère : lors d'un épisode pluvieux, l'eau de pluie se retrouve rapidement à l'exutoire sans avoir eu le temps de se minéraliser au contact des roches,
- la zone de recharge de la nappe est relativement éloignée des sources ; lors d'évènements pluvieux importants, l'eau de pluie s'infiltré à proximité de la zone d'émergence.

La première hypothèse doit être écartée car le fait que les eaux aient une conductivité de l'ordre de 700 à 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un faciès chimique bicarbonaté calcique implique un temps de circulation des eaux dans l'aquifère assez long. Ceci peut être mis en relation avec une zone de recharge assez éloignée, d'autant plus éloignée que la perméabilité et la porosité de l'aquifère sont importantes. La zone de recharge de la nappe pourra être déterminée grâce à une étude géologique et hydrogéologique de détail, couplée à une étude chimique et isotopique (détermination des temps de

circulation des eaux). De plus, cette hypothèse impliquerait que les sources ne soient visibles que lors d'évènements pluvieux, ce qui n'est pas en accord avec les observations de terrain (cf. 3.5.7) et les dires de la population locale (cf. 3.5.6).

La seconde hypothèse semble donc la plus probable. Lors d'évènements pluvieux, de l'eau de pluie s'infiltré à proximité de la zone d'émergence où la formation aquifère n'est recouverte que par une fine couche imperméable, localement inexistante, qui est fortement fracturée (cf. 3.5.4). Les effets de ces infiltrations (baisse de conductivité et augmentation des débits) sont rapidement visibles après le début des précipitations (au maximum 24 heures) et rapidement estompés (retour à la normale au niveau de la conductivité en moins de 24 heures).

De façon similaire, la conductivité de l'eau des sources de l'arrière-pays des Viviers-Basques diminue significativement le 08/12/04, cinq jours après d'importantes précipitations. Cependant, la conductivité de l'eau des sources EM1 et EM2 reste inchangée. Cette mesure peut être interprétée comme résultant d'une réponse différée ou plus longue de l'eau des sources à la pluie dans l'arrière pays que sur la falaise.

Dans tous les cas, les mesures posent certaines interrogations sur le fonctionnement de l'aquifère. Des études complémentaires doivent être menées afin d'étayer cette hypothèse, et en particulier connaître avec précision la réponse de l'eau des sources de l'arrière pays et de la falaise à la pluie quantitativement et qualitativement. Pour cela, un suivi journalier, voire bijournalier, sur une période à déterminer serait nécessaire.

3.5.8.3 pH

Le pH des eaux continentales est proche de la neutralité (6,7 à 7,4), alors que celui des venues d'eau sur la falaise est plus basique (entre 8,0 et 8,3 en moyenne respectivement pour les eaux des sources EM1 et EM2). Ces valeurs indiquent que les eaux ont subi un dégazage et se sont au moins partiellement rééquilibrées avec l'atmosphère avant que la mesure ne soit effectuée.

3.5.8.4 Concentration en ions majeurs

L'eau de l'ensemble des venues d'eau est bicarbonatée calcique (illustration 26). En effet, les ions prédominants sont les bicarbonates (entre 184 et 361 mg/l ; annexe 3) et les ions calcium (entre 90 et 140 mg/l ; annexe 3). Ce faciès est dû à la nature carbonatée de la roche au sein de laquelle les eaux circulent.

Les teneurs en Na^+ (entre 17,0 et 65,8 mg/l), Cl^- (entre 22,4 et 115,3 mg/l) et K^+ (entre 1,3 et 4,5 mg/l ; annexe 3) sont relativement élevées et augmentent avec la proximité de la mer. Pour les teneurs en Na^+ et Cl^- , les valeurs maximales correspondent aux eaux des sources EM2 et EM1.

Diverses origines à ces fortes concentrations sont envisageables :

- contamination directe par l'eau de mer,
- contamination indirecte par l'eau de mer par le biais des embruns et/ou de la pluie (en effet, cette dernière peut transporter à l'état solide Na^+ et K^+)
- dissolution de formations évaporitiques de type halite (NaCl) ou sylvite (KCl),
- existence d'un biseau salé, actuel ou fossile, « polluant » l'eau douce de l'aquifère.

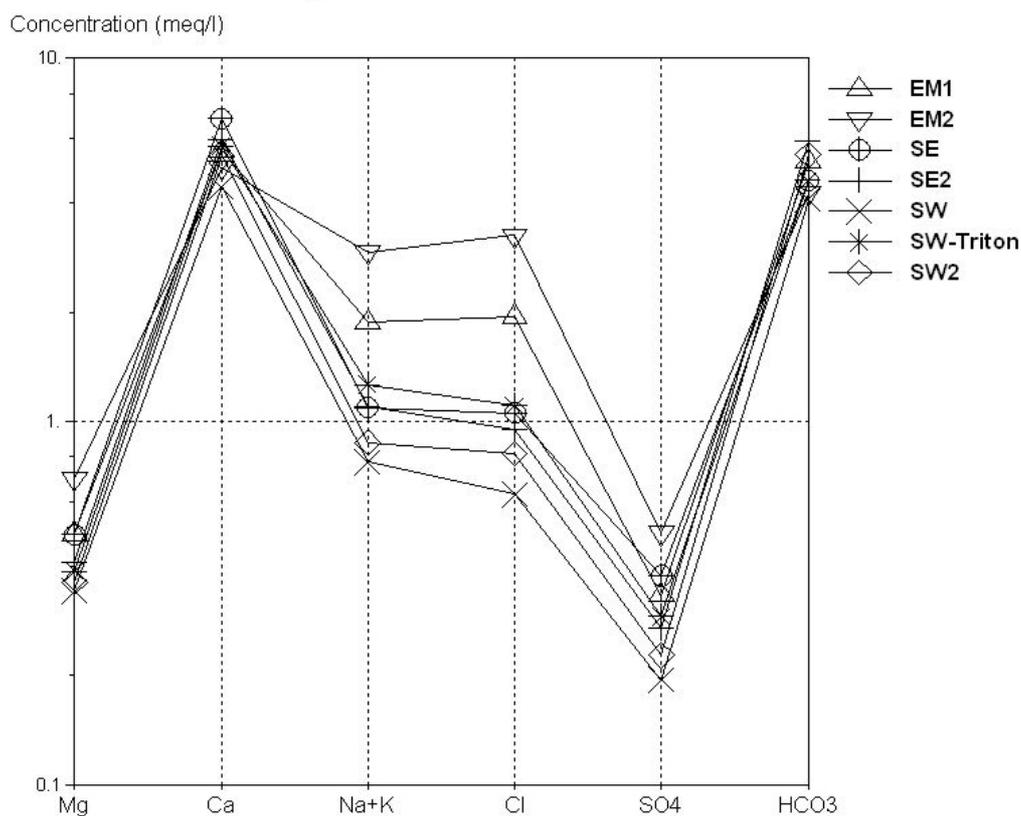


Illustration 26 - Diagramme de Schoeller-Berkaloff des venues d'eau de la Corniche à Urrugne (prélèvements du 13 avril 2004).

A marée haute, le niveau de la mer demeure plus bas que les émergences, l'hypothèse d'une contamination directe par la mer actuelle semble donc peu probable, de même que la pollution par un biseau salé actuel. Mais l'existence de « poches » d'eau de mer fossile piégée dans le massif rocheux ne peut être exclue.

L'hypothèse portant sur la dissolution d'évaporites semble peu plausible en l'état actuel des connaissances géologiques. En effet, la présence de roches de type halite ou sylvite n'est pas notifiée dans le Pays Basque.

Les teneurs en sulfates (SO_4^{2-}) varient de 9 à 23 mg/l : elles pourraient être liées à la présence de nodules d'oxydes de fer sur les affleurements mais elles peuvent également être dues à l'influence marine, à un contact avec du gypse et/ou de l'anhydrite ou encore à un apport anthropique (pollution).

Les sources situées dans l'arrière-pays présentent des concentrations en nitrates comprises entre 7,6 et 15,3 mg/l à l'exception de la source SW-triton (annexe 2). Les teneurs sont notables bien qu'inférieures à la norme de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine. La présence de cette molécule, liée à l'exploitation agricole des terres sus-jacentes (autrefois cultivées, ces terrains sont aujourd'hui utilisés soit comme pâturage pour les bovins, soit pour faire le foin, seule une parcelle de maïs demeure sur la rive gauche du ruisseau Ouest) illustre la vulnérabilité de la nappe vis à vis des pollutions anthropiques.

Cette étude physico-chimique montre que les caractéristiques des eaux sont relativement proches, il est donc probable qu'elles proviennent d'aquifères semblables voire du même réservoir.

3.5.9. Conclusions et perspectives partielles

L'influence supposée des venues d'eau au sein du massif rocheux (créant des surpressions interstitielles) sur les glissements des Viviers-Basques a suscité une étude détaillée des apports d'eau.

Les données bibliographiques étant quasiment inexistantes, l'étude s'est essentiellement appuyée sur des observations de terrain, des mesures et la mémoire des habitants. Elle a permis de mettre en évidence l'existence d'un aquifère à double porosité de fractures et de fissures dans le massif flysch, dont l'extension n'a pu être déterminée.

La connaissance de cet aquifère reste incomplète et nécessite une étude sur au moins un cycle climatique complet durant lequel des mesures de débit et physico-chimiques ainsi que des prélèvements d'eau devront être effectués régulièrement. De plus, l'implantation d'un réseau de piézomètres permettrait de déterminer les directions d'écoulement de cette nappe. La transmissivité de cet aquifère et son coefficient d'emménagement pourraient être obtenus à partir d'essais de pompages.

3.6 CAMPAGNE DE TERRAIN DE RECONNAISSANCE DES VENUES D'EAU NATURELLES ET ANTHROPIQUES

3.6.1. Introduction

Afin de localiser et de caractériser les venues d'eau naturelles et anthropiques des falaises de la côte basque, une campagne de terrain d'une semaine a été organisée entre le 19 et le 23 avril 2004. Ce travail a été réalisé dans le cadre du stage de Master Sciences et Technologie 2^{ème} année (Université Bordeaux 1) de J. Petitjean sous la direction de C. Mallet (BRGM).

Les exutoires ont été observés à marée basse depuis le bas de falaise, afin d'avoir une meilleure image des circulations d'eau sur le flanc de falaise. Des observations complémentaires ont été réalisées localement depuis le haut de falaise dans les zones accessibles. Néanmoins, il ne s'agit pas là d'un recensement exhaustif de toutes les venues d'eau de la côte basque. Ce travail devra être conforté par les données du programme « Apport » de l'IFREMER, les données d'une ou plusieurs autres campagnes de terrain, ainsi que les informations que pourront nous fournir la DDE ou les services techniques des communes.

3.6.2. Conditions climatiques

La période d'observation s'est avérée relativement pluvieuse avec au cours du mois d'avril, 116 mm de précipitations à Biarritz et 140 mm à Ciboure (pointe de Socoa). Pour ce mois, le nombre de jours de précipitations s'élève à 16 jours pour Biarritz et 19 jours pour Ciboure dont 5 jours avec 10 mm au plus de précipitations.

La répartition des précipitations horaires enregistrées aux stations météorologiques de Biarritz et Ciboure entre le 17 et le 23 avril 2004 (soit durant la mission et également deux jours avant) est présentée sur l'illustration 27. Les hauteurs de précipitations journalières, le nombre d'heures de précipitations ainsi que l'intensité moyenne des précipitations enregistrées aux deux stations ont été reportées dans les tableaux des illustrations 28 et 29. La journée la plus pluvieuse de la semaine (et même du mois ; Bulletin Autan, avril 2004) fut le jeudi 22 avril avec 28,8 et 30,4 mm de précipitations à Biarritz et Ciboure (données Météo France 2004), réparties respectivement sur 12 et 14 heures. Le nombre d'heures maximum de précipitations (16 heures) fut atteint le 18 avril à Ciboure et le 19 avril à Biarritz. L'intensité des précipitations (hauteur de précipitations par heure) fut variable entre 0,56-0,57 et 2,40 mm/h à Biarritz comme à Ciboure. Les journées du 17 et du 23 avril ont été totalement exemptes de précipitations.

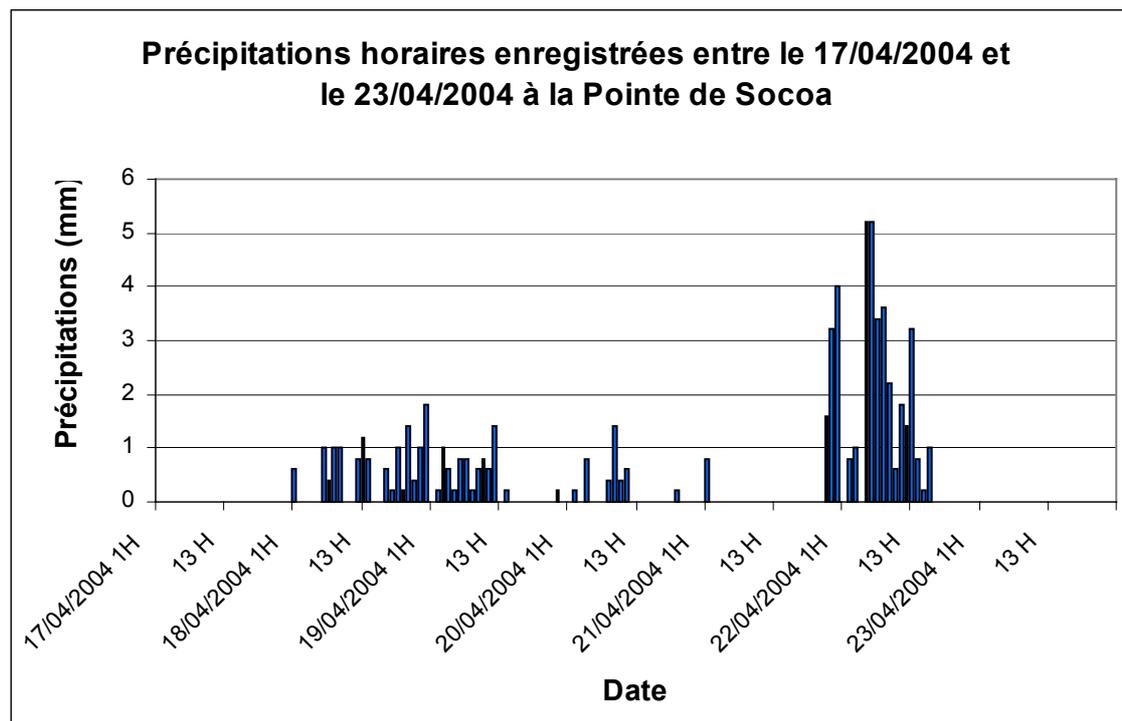
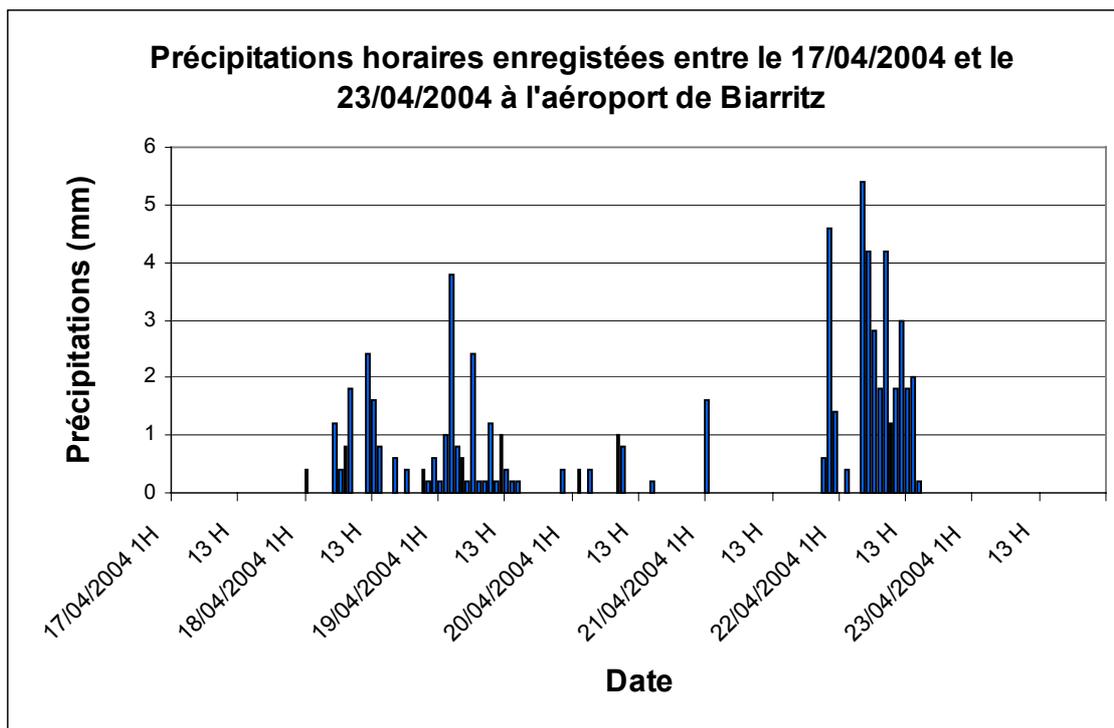


Illustration 27 - Variations horaires des précipitations aux stations météorologiques de Biarritz et Ciboure (Pointe de Socoa) lors de la campagne de terrain d'avril 2004 (données Météo France, 2004).

Date	Hauteur de précipitations journalières (mm)	Nombre d'heures de précipitations (h)	Intensité moyenne des précipitations (mm/h)
17/04/2004	0	0	
18/04/2004	11,6	13	0,89
19/04/2004	13,0	16	0,81
20/04/2004	2,8	5	0,56
21/04/2004	8,2	4	2,05
22/04/2004	28,8	12	2,40
23/04/2004	0	0	

Illustration 28 - Hauteur de précipitations journalières, nombre d'heures de précipitations et intensité moyenne des précipitations enregistrées à la station météorologique de l'aérodrome de Biarritz-Anglet entre le 17 et le 23 avril 2004 (données Météo France 2004).

Date	Hauteur de précipitations journalières (mm)	Nombre d'heures de précipitations (h)	Intensité moyenne des précipitations (mm/h)
17/04/2004	0	0	
18/04/2004	13,4	16	0,84
19/04/2004	7,6	13	0,58
20/04/2004	4,0	7	0,57
21/04/2004	9,6	4	2,40
22/04/2004	30,4	14	2,17
23/04/2004	0	0	

Illustration 29 - Hauteur de précipitations journalières, nombre d'heures de précipitations et intensité moyenne des précipitations enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 17 et le 23 avril 2004 (données Météo France 2004).

Les températures minimales, maximales et moyennes mesurées à Biarritz et à Ciboure entre le 18 et le 24 avril 2004 (soit un jour avant et un jour après la mission) sont reportées dans les tableaux ci-dessous (illustrations 30 et 31). Les températures sont variables sur la période d'observation avec des températures minimales entre 7,0 et 12,3 °C à Ciboure et entre 6,2 et 11,3°C à Biarritz. Les températures maximales oscillent entre 13,8 et 24,9°C à Ciboure et entre 13,1 et 24,8°C à Biarritz. Les températures moyennes quant à elles évoluent entre 11,0 et 18,6°C à Ciboure et entre 10,3 et 17,4°C à Biarritz. Globalement, et mis à part une exception, la température est toujours plus élevée à Ciboure qu'à Biarritz que cela soit au niveau des températures minimales (entre 0,3 et 2,3°C), maximales (entre 0,1 et 2,1°C à l'exception du 20 avril) et moyennes (entre 0,2 et 1,3°C).

L'amplitude thermique journalière est variable suivant les jours. C'est à Biarritz que l'on observe l'amplitude thermique journalière la plus faible (3,0°C de variation le 23 avril)

et la plus forte (14,8°C le 21 avril). A Ciboure, l'amplitude thermique varie entre 3,9 et 12,6°C.

Date	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Température moyenne (°C)	Amplitude thermique journalière (°C)
18/04/2004	6,7	14,0	10,4	7,3
19/04/2004	6,2	14,3	10,3	8,1
20/04/2004	10,9	19,8	15,4	8,9
21/04/2004	10,0	24,8	17,4	14,8
22/04/2004	9,5	13,1	11,3	3,6
23/04/2004	11,3	14,3	12,8	3,0
24/04/2004	8,3	15,3	11,8	7,0

Illustration 30 - Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à la station météorologique de l'aérodrome de Biarritz-Anglet entre le 18 et le 24 avril 2004 (données Météo France 2004).

Date	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Température moyenne (°C)	Amplitude thermique journalière (°C)
18/04/2004	7,8	14,6	11,2	6,8
19/04/2004	7,0	14,9	11,0	7,9
20/04/2004	11,6	19,5	15,6	7,9
21/04/2004	12,3	24,9	18,6	12,6
22/04/2004	9,9	13,8	11,9	3,9
23/04/2004	11,7	16,4	14,1	4,7
24/04/2004	8,6	16,2	12,4	7,6

Illustration 31 - Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à la station météorologique du sémaphore de la pointe de Socoa à Ciboure entre le 18 et le 24 avril 2004 (données Météo France 2004).

3.6.3. Informations acquises sur le terrain

Pour chaque venue d'eau, un certain nombre de mesures ont été effectuées :

- localisation du point en latitude et longitude au GPS,
- mesure ou estimation du débit,
- mesure des paramètres physico-chimiques (température et conductivité).

En complément, diverses observations ont été réalisées :

- description des roches affleurantes et situation de l'exutoire par rapport à ces roches,
- type d'exutoire (cf. 3.5.4),
- altitude approximative de la venue d'eau (par rapport aux cartes IGN TOP25),
- situation du point sur la minute de terrain (pour confirmer l'information GPS),
- la date et l'heure des mesures et observations,
- niveau de la marée (haute, basse, descendante ou montante),
- conditions climatiques au moment de la mesure.

3.6.4. Typologie des venues d'eau

Une typologie des types de venues d'eau a été définie. Ainsi, ont été différenciés :

- les suintements,
- les sources karstiques ou non,
- les rivières (cours d'eau pérenne),
- les talwegs (cours d'eau non pérenne, drain naturel en surface),
- les canalisations (caniveaux d'eau pluviale, drain artificiel),
- les émissaires (conduite d'installation, d'industries, exutoire des stations d'épuration, trop-plein de bassin d'orage).

Des photographies ont également été prises.

Au total, 92 points d'eau ont été recensés, répartis par type comme suit (illustration 32) :

TYPE DE VENUES D'EAU	NOMBRE
Canalisations	24
Emissaires	8
Rivières	4
Sources	15
Sources karstiques	3
Suintements	9
Talwegs	29
TOTAL	92

Illustration 32 – Répartition par type des 92 venues d'eau observées lors la mission d'avril 2004.

Ce tableau montre que sur les 92 points d'eau identifiées, seuls 60 correspondent à des venues d'eau naturelles, les canalisations et émissaires étant des venues d'eau canalisées donc considérées comme anthropiques. Il s'agit là des venues d'eau observées sur la côte basque lors de la campagne et non pas d'une liste exhaustive de toutes les venues d'eau existantes (cf. 3.5.1).

3.6.5. Répartition géographique des venues d'eau

La campagne de terrain a permis de localiser, au GPS Magellan 320, 92 venues d'eau débouchant sur la falaise, en bas de falaise ou sur la plage (illustration 34). Sur cette carte, 4 émissaires de stations d'épuration non observés, mais localisés d'après l'enquête et la revue de presse (cf. 3.1) ont été ajoutés. Lors de la mission de terrain, deux points ont été observés en retrait de la zone littorale : une source au lieu-dit Pierrebaita, à Bidart et un regard d'accès à l'émissaire de la Pointe Sainte Anne.

Les illustrations 33 et 34 montrent que ces exutoires sont inégalement répartis le long de la côte basque.

	Nombre d'exutoires	Canalisations	Emissaires	Rivières	Sources	Sources karstiques	Suintements	Talwegs
ANGLET	5	2					1	2
BIARRITZ	6	1						5
BIDART	30	7			6		1	16
GUETHARY	8	4	2				2	
SAINT JEAN DE LUZ	17	7	3	1	1		4	1
CIBOURE	0							
URRUGNE	6	1	1	1	1	2		
HENDAYE	20	1	3	2	7	1	1	5

Illustration 33 - Répartition géographique des exutoires rencontrés en avril 2004 sur la côte basque classés par type.

De Bidart à Saint-Jean-de-Luz, on observe une forte densité de venues d'eau (55 sur les trois communes concernées) réparties de façon assez homogène sur ce linéaire. Néanmoins, si l'on ne tient compte que des venues d'eau naturelles (rivières, talwegs, sources et suintements), il apparaît que les communes de Guéthary et Saint-Jean-de-Luz ne présentent que peu de points d'eau. Sur la commune de Guéthary, 2 suintements ont été observés au niveau d'Harotzen Costa. A Saint-Jean-de-Luz, les venues d'eau naturelles se situent au niveau de la plage de Senix et entre Mayarko et Lafitenia, ainsi qu'au sud de la plage d'Erromardie. En revanche, la commune de Bidart présente de nombreuses exurgences naturelles réparties de façon relativement homogène entre Ilbarritz et Pierrebaita.

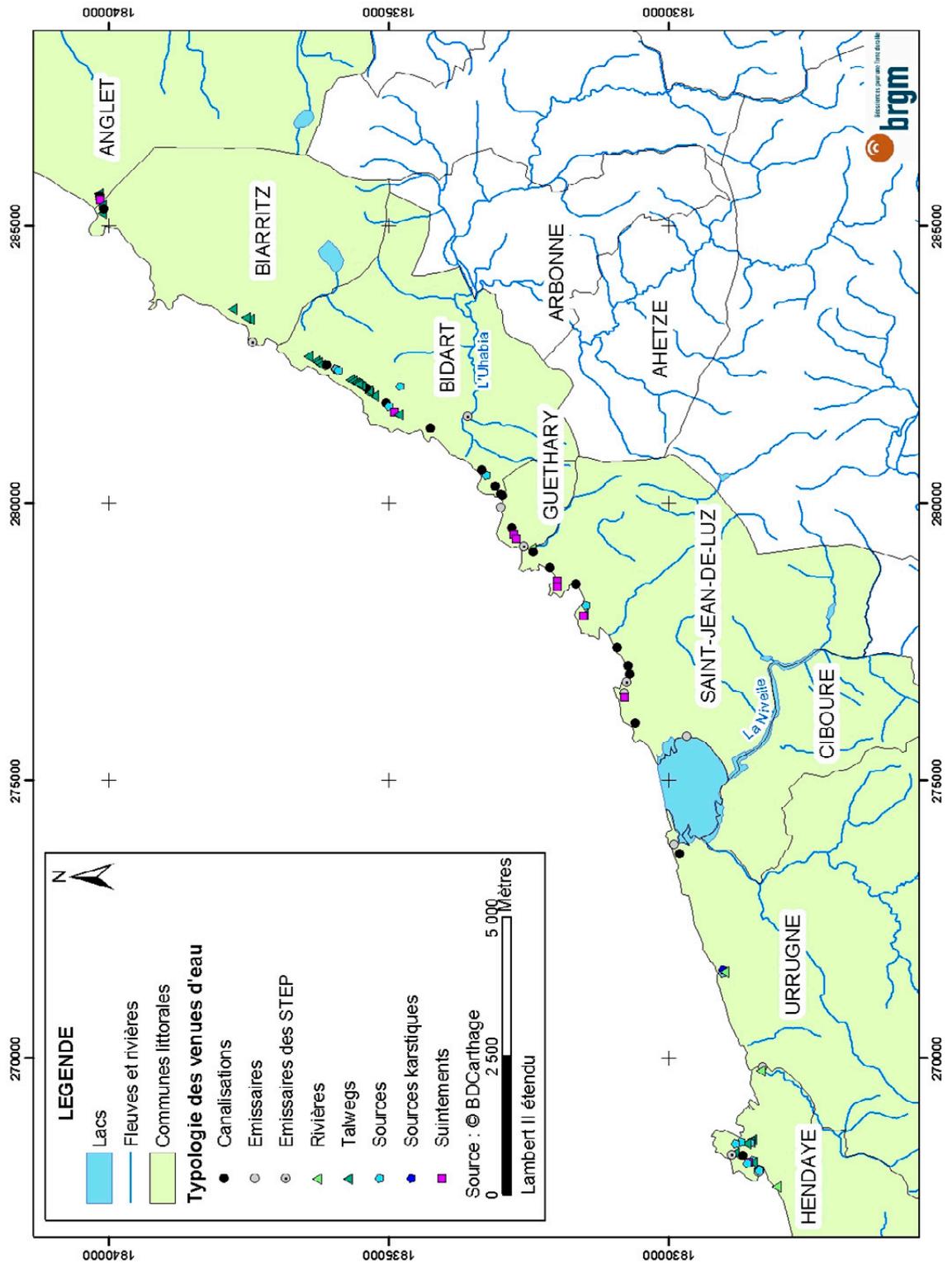


Illustration 34 - Carte de localisation des venues d'eau observées sur la côte basque lors de la mission du mois d'avril 2004.

Sur la commune d'Anglet, seules 5 venues d'eau dont 3 naturelles sont identifiées. Elles sont toutes situées au sud de la commune, au niveau de la Pointe Saint-Martin, proches de la limite communale avec Biarritz. Sur cette dernière, 6 points d'eau ont été relevés : 3 à la Pointe Saint-Martin (1 canalisation et 2 talwegs) et 3 au niveau de Marbella (3 talwegs).

A Urrugne, 6 points d'eau ont été localisés dont 4 sont naturels. Ces derniers sont situés au niveau des Viviers Basques. Sur la commune d'Hendaye, 16 des 20 venues d'eau sont naturelles. Une rivière a été identifiée à Haizabia alors que les autres points se situent entre la Baie de Loïa au Nord et l'extrémité nord d'Hendaye plage au Sud.

Aucune résurgence n'a été observée sur la commune de Ciboure.

Toutefois pour les zones lacunaires, où aucune résurgence n'a été observée, trois hypothèses peuvent être émises, à savoir :

- absence de résurgence,
- zone inaccessible "à pied" rendant l'observation impossible,
- zone accessible mais débit de la résurgence nul au moment de l'observation.

Cette dernière hypothèse est liée aux variations météorologiques importantes observées durant la semaine de terrain et qui faisaient plus ou moins apparaître les exutoires naturels (cf. 3.5.2). En effet, certains exutoires (talwegs et sources en particulier) peuvent réagir rapidement au cours d'un évènement pluvieux et se tarir dès la fin de celui-ci (cf. 3.5.6). Ils peuvent donc être difficilement repérables en l'absence de précipitations. Cette réactivité de certains points aux précipitations confirme l'importance de noter les conditions météorologiques au moment de l'observation.

3.6.6. Mesures de débits

Sur ces différentes venues d'eau, lorsque cela était possible, des données de débit (mesuré ou estimé) ont été acquises.

Lors de la mission de terrain, les précipitations importantes ont facilité l'observation du ruissellement et des venues d'eau (cf. 3.5.2). Le mois d'avril fait partie des mois caractérisant la période des hautes eaux continentales où les débits enregistrés sont maximum lors de crues saisonnières. De plus, les mesures ont été effectuées en bas de falaise, là où la vitesse d'écoulement est en général maximale. Les mesures réalisées doivent donc approcher les potentiels maximums d'érosion et de transport d'éléments continentaux observables sur le littoral basque.

La plupart des débits ont été estimés visuellement sur la base de la description d'un débit équivalent à 3 m³/h. L'estimation a souvent été le seul moyen d'évaluer des débits d'écoulement qui ne se prêtaient pas à la mesure. Les valeurs de débit ont été estimées sur 57 points dont 6 sur lesquels une mesure a également été réalisée (annexe 4). En effet, lorsque l'écoulement était bien canalisé, les débits ont été

mesurés à partir du temps de remplissage de récipients (seau gradué de 10 l, béciers gradués de 1 l ou de 500 ml en fonction de l'importance du débit à mesurer). La comparaison de cette estimation avec la mesure réelle a montré que les débits estimés sont au moins deux fois supérieurs aux débits mesurés. Un facteur correctif minimum de $\frac{1}{2}$ a été appliqué à l'ensemble des débits estimés afin de les corriger pour qu'ils correspondent au mieux aux débits réels. Cependant, cette correction reste approximative et la plupart des débits corrigés est probablement supérieure aux débits réels observés sur le terrain.

Les 57 points d'eau sur lesquels des débits ont pu être mesurés se répartissent comme suit :

- 43 venues d'eau naturelles,
- 14 venues d'eau anthropiques.

Les débits des exutoires naturels observés sont très variables en fonction du type d'exutoire (annexe 4). Les précipitations influencent fortement ces débits. Cette relation pluie/débit a été observée sur le secteur des Viviers Basques (Urrugne ; cf. 3.5.7).

3.6.7. Impact des écoulements

3.6.7.1 Impact des écoulements anthropiques en surface

Dans les zones urbanisées, on observe de nombreux réseaux de canalisations transportant de l'eau qu'il s'agisse d'eau potable, d'eaux usées ou d'eaux pluviales. Les réseaux évacuant les eaux usées et les eaux pluviales peuvent participer, en fonction des zones de rejet, à l'érosion des falaises, soit par ravinement et transport des matériaux de la falaise, soit par augmentation des pressions interstitielles dans les pores ou fractures de la roche.

En ce qui concerne les eaux usées, elles vont généralement vers les stations d'épuration pour y subir un traitement. Les émissaires de celles-ci sont généralement bien identifiés (cf. 3.1.3). Néanmoins, certaines maisons ne sont toujours pas à ce jour reliées au réseau de collecte des eaux usées, ce à quoi les communes sont actuellement en train de remédier. Il existe donc localement des canalisations susceptibles d'amener les eaux usées au niveau des falaises. Certaines d'entre elles débouchent en tête de falaise et ont un effet érosif qui peut s'avérer important. Au phare de Socoa, une loupe de glissement en haut de falaise fait actuellement affleurer des extrémités cassées de canalisations (illustration 35). Nous ne savons pas s'il s'agit de canalisations anciennes qui ne servent plus à ce jour. Aucun écoulement d'eau n'était visible en avril 2004, néanmoins, la maison était visiblement inhabitée à cette période.



Illustration 35 - Loupe de glissement au phare de Socoa laissant apparaître des canalisations brisées (pas d'écoulement d'eau visible venant de ces canalisations en avril 2004).

Une canalisation formant un coude vers la falaise est également visible au nord-ouest du phare (illustration 36). A cet endroit, il était impossible compte tenu de la position de la canalisation de voir si de l'eau coulait ou non.

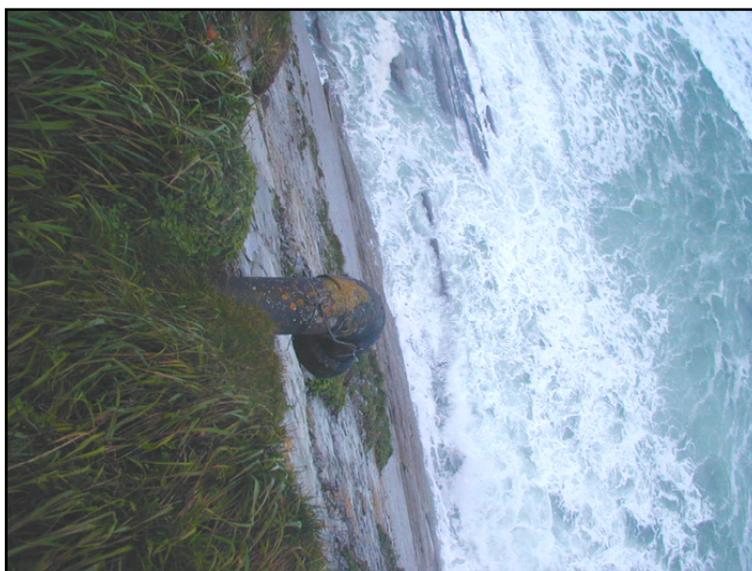


Illustration 36 - Canalisation arrivant en haut de la falaise au Phare de Socoa (écoulement éventuel d'eau impossible à observer du fait de la position de la canalisation, avril 2004).

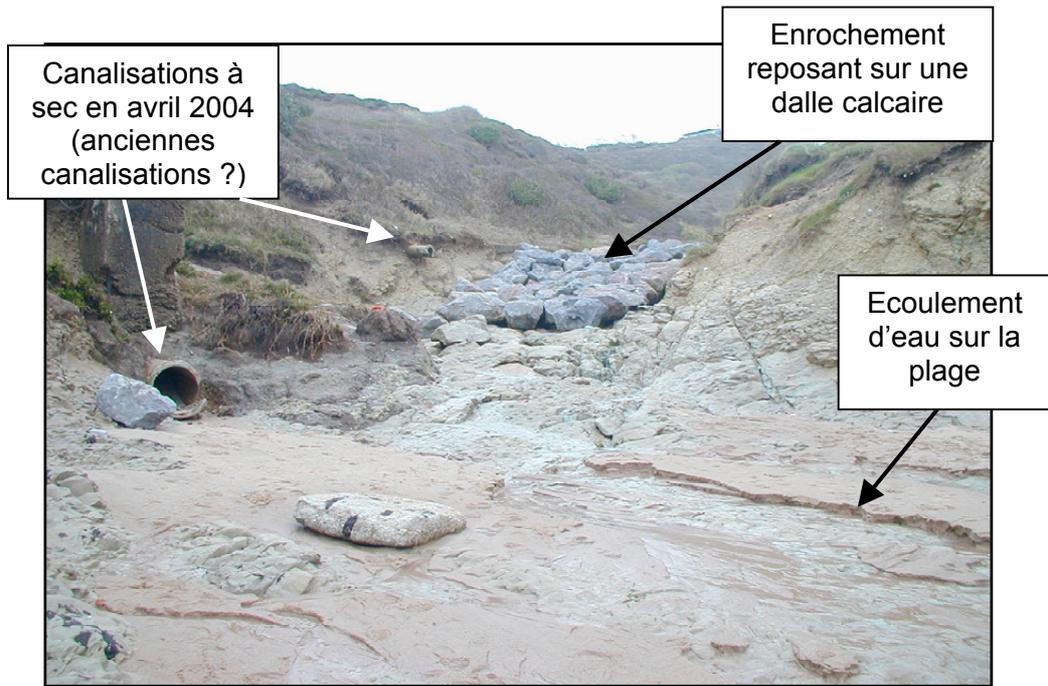


Illustration 37 - Enrochement mis en place pour protéger le haut de plage de l'accentuation de l'érosion par ravinement au plateau Bellevue (avril 2004).

Les zones urbanisées, de plus en plus étendues sur la côte basque, sont généralement équipées de collecteurs d'eaux pluviales. Ces eaux circulent alors dans un réseau de canalisation, avant d'être évacuées le plus souvent au niveau des falaises. Ce réseau récupère un maximum d'eau ruisselante sur les surfaces urbaines imperméabilisées (enrobés, toitures, trottoirs, ...). Une grande quantité d'eau se concentre dans ces collecteurs d'eaux pluviales. Les débits qui sont susceptibles d'en sortir peuvent être très élevés, en particulier lors d'averses orageuses. Leur énergie et leur capacité d'érosion sont très donc fortes. Si les rejets d'eaux pluviales se font directement sur la falaise, le ravinement s'en trouve fortement accentué. Afin de limiter ce fort impact érosif, des mesures visant à consolider la falaise dans les zones de rejet sont nécessaires.

Au Plateau Bellevue au lieu-dit des Cent Marches à Bidart, on peut observer une canalisation localisée dans un talweg qui débouche en haut de plage. Il s'agit d'une canalisation reliée au déversoir d'orage de la rue des Russes. Dans ce secteur, le réseau est unitaire et les eaux usées et pluviales collectées vont vers la station de relevage de Contresta. Lors de pluies violentes, le trop-plein emprunte le déversoir, puis est canalisé dans des collecteurs en ciment recouverts d'une plaque métallique en amont avant d'atteindre la plage où l'eau ruisselle. Pour limiter l'érosion du talweg, un enrochement a été placé au débouché des collecteurs afin de consolider le haut de plage (illustration 37).

L'impact du ravinement peut également être limité par l'aménagement des zones de rejet en haut de plage (digue de Guéthary, Parliamentia, de la plage de Bidart centre, de Biarritz, ...). Enfin, les eaux peuvent être drainées vers l'intérieur des terres comme cela est le cas à la Pointe Sainte-Barbe à Saint-Jean-de-Luz. Ces aménagements semblent suffisants pour éviter l'accentuation de l'érosion par le ruissellement anthropique.

Les stations d'épuration (STEP) ont besoin d'évacuer d'importants volumes d'eau en peu de temps, principalement en période estivale où leur capacité maximale est généralement atteinte. Les stations d'épuration de la côte basque évacuent leurs eaux usées vers la mer directement ou par le biais des rivières (cf. 3.1).

Alors que pour certaines stations d'épuration les rejets se font directement en mer via un émissaire passant sous la plage (ex : STEP de Marbella à Biarritz), d'autres ont un émissaire en bas de falaise-haut de plage, puis l'eau s'écoule vers l'océan. C'est le cas de la STEP de la Croix d'Arxiloa à Saint-Jean-de-Luz (illustration 38). Cet émissaire évacue de très forts débits en continu en bas de falaise, comme cela a été observé en avril 2004 (débit estimé : 15,0 m³/h ; débit corrigé : 7,5 m³/h ; annexe 4).

Afin de limiter l'érosion produite par ces rejets, un dissipateur d'énergie (ou tranquiliseur) a été aménagé à l'exutoire, dans le but de briser l'énergie du courant. Néanmoins, les observations de terrain montrent que la partie argilo-sableuse de la falaise a été décapée au-dessus des calcaires.

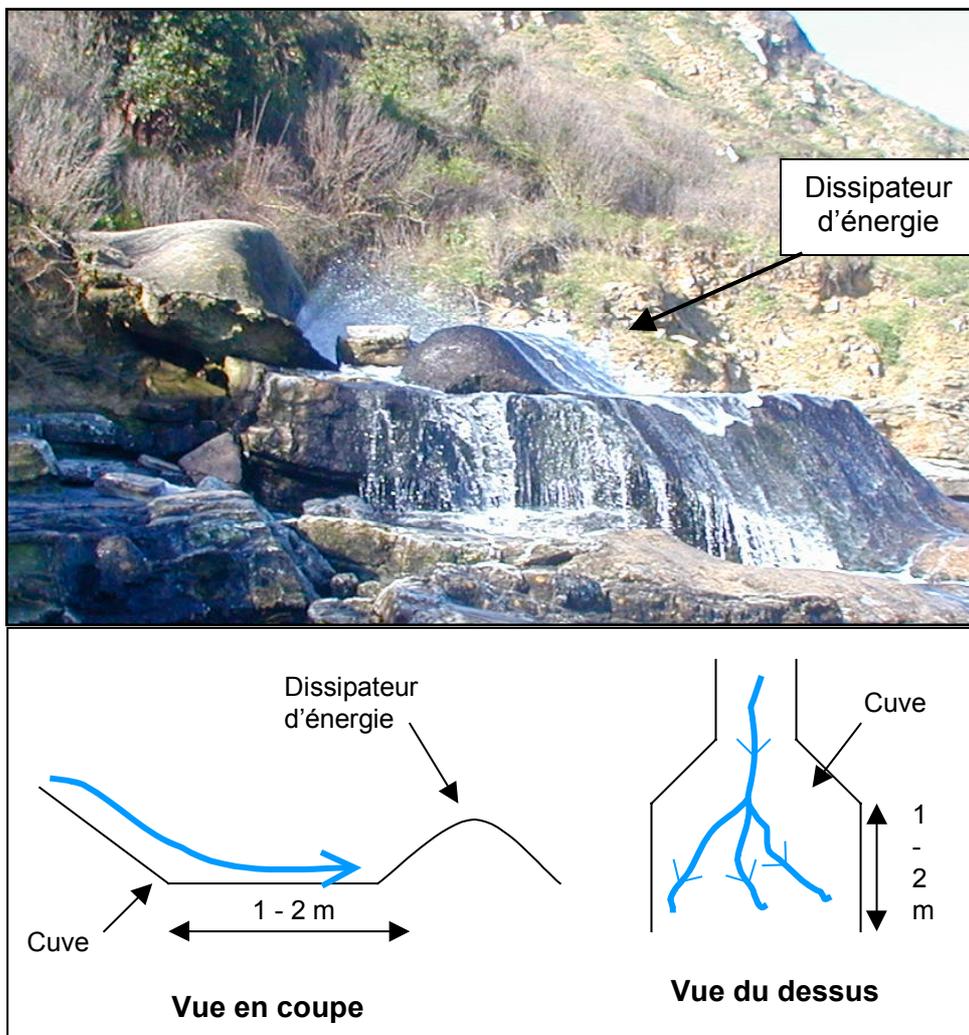


Illustration 38 - Emissaire de la STEP de la Croix d'Arxiloa à Saint-Jean-de-Luz (avril 2004).

Les émissaires, qu'ils soient de stations d'épuration ou non, sont donc susceptibles d'éroder fortement la falaise par ravinement. Les aménagements, même s'ils sont faits pour réduire l'impact des rejets, ne sont pas forcément efficaces à long terme.

Les émissaires marins (qui concernent uniquement les stations d'épurations ; cf. 3.1.3) n'ont pas pu être observés car ils étaient recouverts par la marée. Il est probable qu'ils renforcent localement l'érosion de l'estran à long terme. En revanche, ils n'ont pas d'impact immédiat sur l'érosion de la falaise.

3.6.7.2 Influence du ruissellement

Il est à noter que l'influence du ruissellement sur les formations géologiques est fonction de plusieurs facteurs, à savoir :

- la lithologie de la roche et donc sa perméabilité (le ruissellement sera d'autant plus important que la roche est imperméable),
- l'état de fracturation de la roche (une partie de l'eau ruisselant sur une roche fracturée s'infiltrera dans la roche ; plus la roche est fracturée et plus l'eau s'infiltrera),
- le pendage des couches géologiques (plus le pendage sera fort et plus le ruissellement sera fort).

De plus, le ruissellement n'a de conséquence réelle qu'en l'absence notable de végétation sur la falaise. Cette absence de végétation est particulièrement perceptible sur les falaises marneuses, ainsi que sur certaines falaises argilo-sableuses et ne semble donc pas dépendre uniquement des variations lithologiques. Les vents dominants, les embruns salés peuvent être également des facteurs limitant la végétalisation de la falaise. De plus, les fortes pentes dues à l'érosion importante sur la côte basque facilitent l'entraînement de l'eau en surface et non son infiltration dans le sol.

Les talwegs décrits sur le linéaire côtier coïncident en général avec l'observation de ravines (illustration 39) plus ou moins creusées par le ruissellement sur la falaise. La surface des falaises prend alors la forme de « bad-lands »⁵.

⁵ Ce terme de « bad-lands » vient de l'anglais et signifie « mauvaises terres ». Il s'agit de terrains où la faible végétation et le ruissellement important ont contribué à la formation de profondes ravines. Ce phénomène affecte des pentes de roches meubles (argiles, marnes, gypse) en pays subdésertique ou en pays plus humide, souvent par suite de la destruction par l'homme du couvert végétal



Illustration 39 - Morphologie de la falaise en « bad-lands » dans les marnes à Ilbarritz à Bidart (avril 2004).

En bas de falaise, l'eau s'infiltré progressivement dans la porosité des sables de la plage en arrivant sur l'estran. En fonction du taux de saturation des sables et de leur transmissivité, l'eau peut encore ruisseler et transporter des particules plus ou moins loin sur l'estran (illustration 40). Mais, l'eau des talwegs n'atteint généralement pas la basse mer.



Illustration 40 - Ruissellement en haut de la plage du Pavillon Royal à Bidart (avril 2004).

L'influence des talwegs semble donc s'arrêter dans la zone intertidale. Seules les rivières pérennes ont des débits suffisamment puissants pour traverser la totalité de l'estran (illustration 41) et transporter des particules dans l'océan lors des basses mers de vives eaux. Cependant, cette migration n'est pas forcément définitive.



Illustration 41 - Rivière traversant l'estran sur la plage de Sénix à Guéthary (avril 2004).

Mais d'autres phénomènes hydrologiques entrent en jeu en haut de falaise, où l'énergie du ruissellement naissant est faible par rapport à celui en bas de falaise. L'effet « splash⁶ », provoqué sur les argiles par de fortes précipitations, induit l'apparition d'une croûte de battance⁷. Il crée une couche imperméable en haut de falaise qui accentue le ruissellement. Leur impact est plus particulièrement sensible en haut de falaise dans les couches d'altérites argilo-sableuses et de marnes non végétalisées.

Il serait intéressant de quantifier les débits solides entraînés par les eaux de ruissellement (illustration 42). Des outils actuellement en cours de développement devraient permettre de quantifier plus précisément ces transports de matière (modèle STREAM développé par l'INRA).

⁶ L'effet « splash » est un phénomène résultant de l'action des eaux de pluie sur les agrégats du sol. Les gouttes de pluie brisent les mottes et les agrégats et projettent les particules arrachées. Ce phénomène de rejaillissement sous l'impact, ou « splash », déplace les particules sur quelques dizaines de centimètres, la distance dépendant de la masse des particules et de l'angle d'incidence des gouttes de pluies par rapport à la surface. Les particules fines déplacées sont piégées entre les éléments plus grossiers et ferment les pores : la surface du sol perd de sa capacité d'infiltration. La masse de sol détachée peut être de l'ordre de plusieurs dizaines de tonnes par hectare et par an.

⁷ Sous l'action des pluies, la surface du sol passe d'un état fragmentaire poreux et meuble à un état plus continu et compact. La couche superficielle forme une croûte de battance qui diminue la vitesse d'infiltration et donc favorise le ruissellement. Les croûtes de battance se développent surtout sur les sols limoneux. La vitesse d'infiltration peut passer de plusieurs dizaines de millimètres par heure à moins de 1 mm/h lorsque s'est formée la croûte de battance. L'eau ruisselle alors que le sol n'est pas saturé en eau en profondeur.



Illustration 42 - Panache turbide observé depuis le haut de la Corniche à Urrugne (septembre 2003).

3.6.7.3 Impact des sources

Les sources traduisent en surface la présence d'une nappe plus ou moins profonde. Elles apparaissent à la surface lorsqu'il y a recoupement de la surface piézométrique de l'aquifère par la topographie. L'observation des sources est donc utile pour l'étude hydrogéologique.

Ces sources traduisent des zones d'écoulements souterrains qui peuvent localement provoquer des phénomènes de renards dans les formations meubles. Elles sont alors susceptibles d'accentuer localement le recul de la falaise. A Pierrebaita (Bidart), une source débouchant en bas de falaise semble être une des causes de recul de la falaise à cet endroit (illustration 43).



Illustration 43 - Source en bas de falaise à Pierrebaita à Bidart (avril 2004).

Les sources participent donc également à l'érosion en engendrant ou en amplifiant le ruissellement naturel. Leur impact en surface est donc généralement similaire à celui du ruissellement. Elles accentuent ponctuellement le creusement des ravines.

3.6.8. Données physico-chimiques

Quelques données de conductivité et de température ont été acquises sur les eaux des venues d'eau observées sur le linéaire de la côte basque lors de la mission d'avril 2004 (cf. 3.5.5). Des données de température sont disponibles sur 46 points et celles de conductivité sur 40 points (annexe 5).

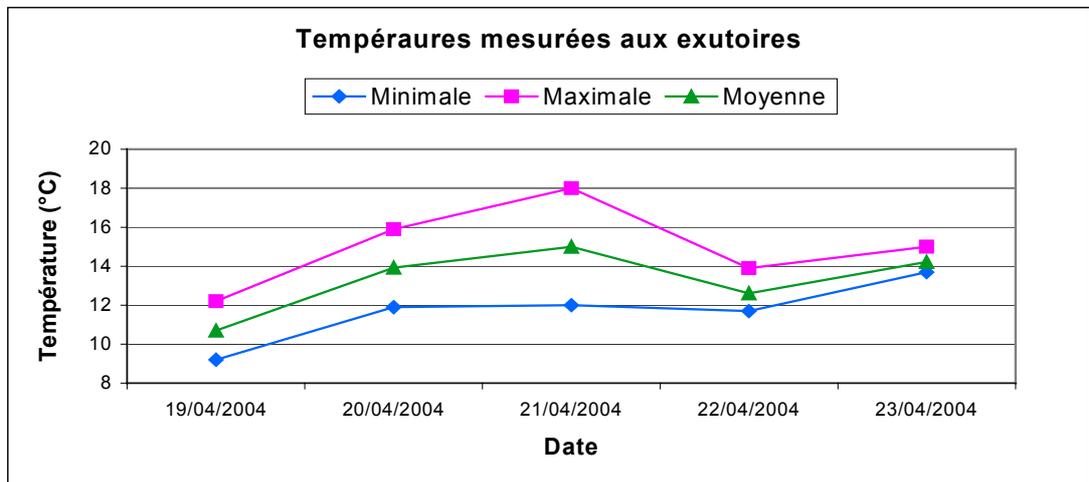


Illustration 44 - Variations journalières des températures mesurées sur les eaux des exutoires lors de la campagne de mesure d'avril 2004.

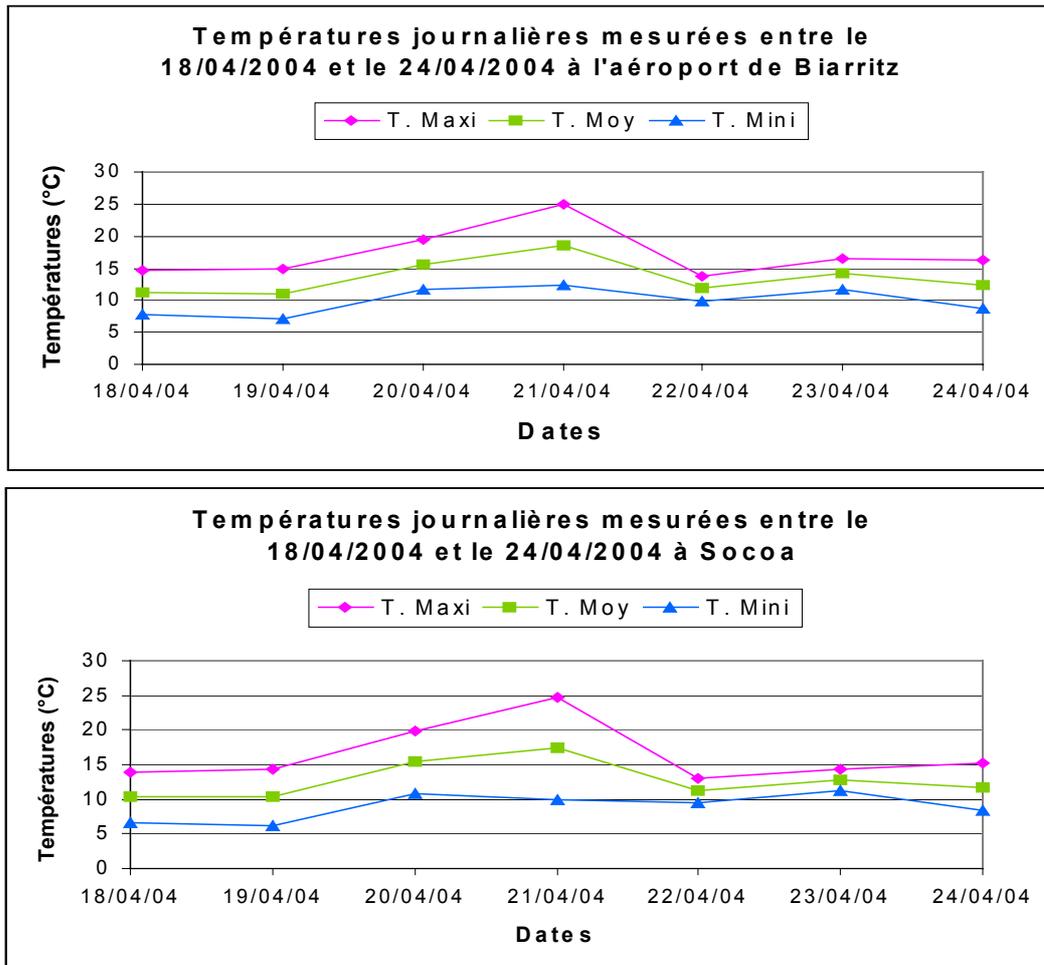


Illustration 45 - Variations journalières de la température de l'air du 18 au 24 avril 2004 à Biarritz et à la pointe de Socoa à Ciboure (données Météo France, 2004).

Les températures mesurées varient fortement d'un type d'exutoire à l'autre (annexe 5). La température moyenne quel que soit le type de résurgence est de 13,6°C et le minimum mesuré est de 9,2°C (illustration 44). Les variations moyennes de températures des exutoires semblent suivre les variations moyennes de températures de l'air à Biarritz et à Ciboure (pointe de Socoa) sur la semaine de terrain (illustration 45).

Cette relation entre température des eaux et température de l'air met en évidence l'influence de l'atmosphère sur la température des eaux. Pour les eaux de ruissellement ceci est logique puisqu'elles restent en surface et s'écoulent rapidement. Leur température est donc proche de celle des eaux atmosphériques et de la température extérieure.

En revanche, pour les eaux qui s'infiltrent et circulent dans le sol et le sous-sol (exemple : eaux de sources), la température de l'eau peut être très différente de celle de l'air. Cette différence n'est pas visible sur les sources de la côte basque étudiées. En effet, la température des eaux de sources mesurée est proche de celle de l'air. Ceci

pourrait traduire la faible quantité d'eau dans l'aquifère et sa capacité de réponse rapide aux intempéries. Néanmoins, cette relation peut également résulter d'une circulation des eaux à très faible profondeur dans l'aquifère : la température des eaux est alors fortement dépendante de la température extérieure. Enfin, il faut être prudent sur les résultats car la distance entre le point de mesure et le point d'émergence est parfois importante. Plus cette distance est grande et plus l'eau de la résurgence a eu le temps de se rééquilibrer avec l'atmosphère et donc de se réchauffer ou de se refroidir au contact de l'air suivant les conditions climatiques extérieures et celles qui prévalent au sein de l'aquifère. Il est à noter que lors de la campagne de terrain, une attention particulière a été portée aux conditions de mesure des paramètres physico-chimiques. Juste après l'échantillonnage, les paramètres physico-chimiques des eaux ont été mesurés sans délai afin d'éviter tout risque de modifications.

La conductivité a été mesurée sur 40 points d'eau dont 29 étaient des venues d'eau naturelles (suintements, sources, rivières et talwegs ; annexe 5). Or, seules les conductivités des eaux naturelles peuvent apporter des informations sur les eaux des aquifères. Les trois valeurs de conductivité mesurées sur les émissaires ne donnent aucune information sur les eaux naturelles puisqu'il s'agit d'eaux usées ayant subi un traitement. La conductivité des eaux issues de canalisations varie entre 322 et 1393 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats ne pourront être exploités qu'après avoir déterminé, en rapport avec les mairies, quel type d'eau est évacué par ces canalisations (eaux usées et/ou eaux pluviales).

La conductivité des eaux des 29 venues d'eaux naturelles varie entre 451 et 2 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, à l'exception de trois points qui présentent des valeurs plus fortes entre 3 850 et 52 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (annexe 5). Ces trois eaux montrant une conductivité élevée sont respectivement issues d'une rivière, d'un talweg et d'un suintement. De plus, une mesure de la conductivité des eaux de pluie a été réalisée à Urrugne le 22 avril 2004. Elle est de l'ordre de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cf. 3.5.8).

Sur ces 29 points, 14 montrent des conductivités inférieures à 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caractéristiques d'eaux pas ou peu influencées par de l'eau de mer et/ou les embruns. Au delà de 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il est probable que l'influence marine soit de plus en plus forte avec une part de mélange d'eau de mer de plus en plus grande par rapport aux eaux douces. Le terme ultime coïncide avec le suintement observé à Lafitenia à Saint-Jean-de-Luz dont la conductivité est supérieure à 50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondant environ à 35 g/l de sel (annexe 5). Il s'agit d'une eau de mer pure et il est donc probable que le suintement considéré corresponde au relargage à marée basse de l'eau de mer piégée dans la roche à marée haute. Cette influence croissante est confirmée par la localisation des points de résurgence, principalement en zone supratidale pour les conductivités les plus faibles et en zone intertidale pour les plus élevées. Néanmoins, d'autres facteurs qu'un mélange avec de l'eau de mer actuelle peut générer des conductivités élevées :

- lessivage de formations évaporitiques,
- pollutions anthropiques,
- mélange avec une eau de mer fossile contenue dans les terrains anciens,

Certains de ces facteurs doivent être envisagés car quelques points, localisés en haut de falaise, présentent des conductivités élevées (jusqu'à 2 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

En conclusion, de nombreuses incertitudes persistent et les résultats doivent être considérés avec prudence. Une meilleure connaissance des aquifères serait nécessaire pour interpréter précisément ces variations de température et de conductivité. Pour cela, les mesures doivent être généralisées à toutes les venues d'eau observées et ce au plus près des exutoires naturels et sans délai après la collecte des eaux. De plus, une seconde campagne de mesures devra être réalisée en période d'étiage afin de compléter celle réalisée en avril 2004 (période de hautes eaux). La comparaison des résultats de ces deux campagnes, couplée à une étude chimique plus fine (paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, mineurs et traces) devraient permettre d'avoir une meilleure compréhension des résultats obtenus et donc des phénomènes relatifs à l'acquisition de la minéralisation des eaux au sein de l'aquifère.

3.6.9. Conclusions et perspectives partielles

Les mesures et observations de terrains ont été entrées dans une base de données à thématique hydrologie-hydrogéologie afin de faciliter la gestion de l'information (cf. 3.6). Cette base de données est intégrée au SIG de l'Observatoire de la Côte Aquitaine.

Afin de compléter cette campagne, réalisée en période de hautes eaux (avril), il serait intéressant d'effectuer le même travail à l'automne, en période de basses eaux. Les données de ces deux campagnes devraient permettre de discriminer les venues d'eau saisonnières des venues d'eau pérennes et d'identifier les variations ou la constance des débits de ces dernières. Une étude chimique fine pourra compléter les observations.

3.7 CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES

Une base de données a été constituée suite à la campagne de terrain réalisée en avril 2004. Cette base comporte de nombreux champs, à savoir :

- nom GPS et nom de terrain du point,
- coordonnées X et Y (m) en Lambert III et II étendu,
- altitude Z estimée,
- repères par rapport à la marée (supratidal, infratidal ou intertidal) et géographique (haut de plage, sommet de falaise, mer, ...),
- nom de la commune et du lieu-dit,

- typologie de la résurgence (cf. 3.5.4),
- débits mesuré, estimé et corrigé (m^3/h ; cf. 3.5.6),
- conductivité ($\mu S/cm$) et température ($^{\circ}C$; cf. 3.5.8),
- état de la marée (haute, basse, flot ou jusant),
- conditions climatiques (cf. 3.5.2),
- dates d'observation et de mise à jour des données,
- source des données (terrain, cartes, orthophotos, ...),
- méthode de détermination du point (GPS, digitalisation, ...),
- échelle (pour les cartes et orthophotos),
- notes contenant des commentaires éventuels,
- auteur(s) et organisme(s).

Pour chaque point d'eau observé, en plus des informations notées (cf. ci-dessus), une photographie a été réalisée. Une des tables de la base présente un champ contenant le chemin d'accès au répertoire contenant les photographies des points d'eau.

Cette base de données permet d'archiver les informations acquises lors de cette mission et de réaliser aisément des cartes dans un SIG. Elle pourra être complétée par les informations qui seront acquises lors d'autres campagnes de terrain à venir, d'enquêtes ou encore d'études comme celle en cours par l'IFREMER (cf. 3.1.1).

4. Conclusions et perspectives

Cette étude a permis de faire la synthèse des données hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques disponibles à ce jour sur la côte basque.

Une bonne connaissance de ces paramètres est nécessaire car la présence d'eau au sein de la roche joue un rôle important dans l'apparition ou la réactivation de mouvements de terrain (action physique, chimique et mécanique).

Les venues d'eau naturelles et anthropiques ont été localisées sur le linéaire de la côte basque par diverses études (terrain, bibliographie, enquête, revue de presse). Le travail engagé par l'IFREMER, ainsi qu'une seconde campagne de terrain en basses eaux devraient compléter ces données et permettre d'avoir une bonne image des zones de venues d'eau.

Des études locales issues de la bibliographie ont montré que le découpage actuel des systèmes aquifères du secteur est imprécis et que des études doivent être réalisées afin de préciser cette connaissance.

Les phénomènes hydrologiques et hydrogéologiques sont connus dans quelques secteurs uniquement. Les données de niveau d'eau au moment de la foration issues de la BSS-BDES n'ont pas permis de dresser une ébauche de carte piézométrique comme cela était espéré. Il est donc nécessaire d'engager des actions pour mieux appréhender ces phénomènes qui ont une forte influence sur les instabilités de falaises.

L'impact des écoulements d'eau sur les falaises et la plage a pu être mis en évidence lors de la campagne de terrain d'avril 2004. Localement, des travaux ont été entrepris afin de limiter l'action érosive de l'eau (travaux de drainage, installation d'enrochements, de dissipateurs d'énergie, de digues, ...).

La recherche bibliographique et les données issues de la BSS-BDES concernant le chimisme ont montré que les eaux ont des faciès chimiques variables dans le temps et dans l'espace. Les eaux des différents aquifères, souvent peu profonds et mal protégés, sont vulnérables vis à vis des pollutions d'origine anthropiques. Néanmoins, les rares informations existantes ne permettent pas de contraindre les différents processus qui se produisent au sein de l'aquifère. Les données regroupées ici constituent une première approche qu'il sera nécessaire de conforter à l'avenir.

L'acquisition de données complémentaires semble primordiale et doit conduire à une bonne connaissance du fonctionnement global du système. Néanmoins, cette connaissance du fonctionnement hydraulique de ces zones ne pourra en aucun cas servir d'outil de prévision à long terme. Ceci est en partie dû au caractère imprévisible des changements pouvant survenir tels que l'extension ou la restriction de la zone

instable et la modification de l'hydraulique souterraine suite à un mouvement par exemple.

En revanche, cette connaissance devrait permettre, entre autre, de limiter les actions de l'eau continentale en contrôlant les apports (superficiels, profonds et accidentels) et en diminuant la quantité d'eau présente dans le sol par drainage ou par l'utilisation d'autres méthodes.

Cette étude hydrologique et hydrogéologique est complémentaire des autres études réalisées ou en cours sur le littoral basque (études géologique, géotechnique, climatologique, géophysique).

5. Propositions d'actions

Afin de pouvoir contraindre l'influence des circulations d'eaux souterraines sur la stabilité des falaises, une meilleure connaissance du fonctionnement hydrogéologique des aquifères littoraux reste à acquérir. Cette acquisition va nécessiter la mise en place d'une vaste campagne de mesures de terrain. Au préalable, il sera nécessaire de définir et de caractériser les différents aquifères présents sur la zone d'étude et qui sont le siège de circulations d'eau.

D'après les données de la BSS-BDES, peu de points (forages, puits ou sondages) sont accessibles au niveau de la côte basque. Avant toute campagne de mesure piézométrique, il sera donc nécessaire de s'assurer de l'accessibilité de ces ouvrages, dont certains ont probablement été rebouchés. En l'absence de points d'eau existants suffisants, il conviendra de forer un nombre important de piézomètres, principalement dans les zones lacunaires, afin d'obtenir un réseau spécifique, à thématique littorale le long de la côte.

Afin d'appréhender au mieux le comportement de l'aquifère, un minimum de deux campagnes piézométriques par an (une campagne en hautes eaux et une en basses eaux) sera nécessaire. Ces deux mesures devraient permettre de mettre en évidence les fluctuations annuelles de la nappe.

Les sources pourront également constituer une alternative et/ou un complément au suivi piézométrique car les débits à l'exutoire sont globalement proportionnels à la hauteur de saturation de l'aquifère. Le cas des écarts entre piézométrie et débit des sources, s'il en existe, pourra être étudié. Contrairement aux expérimentations menées en Normandie (projet ROCC, Caudron *et al.*, 2001), celles de la côte basque devraient être plus aisées. En effet, d'après la nature et la localisation de ou des aquifère(s) en haut de falaise, le niveau statique ne subira probablement pas de fluctuation liée aux marées. La mise en place d'un suivi en continu les premiers temps, ainsi que l'élaboration d'un modèle de traitement du signal seront donc inutiles.

En complément de la piézométrie, le chimisme pourra être étudié, préférentiellement sur les sources, car les fluctuations devraient permettre de préciser éventuellement le fonctionnement des écoulements phréatiques et marins à proximité des fronts de falaise. Les paramètres à suivre seront principalement la conductivité et le pH ainsi que les ions majeurs et en particulier les teneurs en Na et Cl, les teneurs en nitrates et en micropolluants (marqueurs anthropiques) complétés par quelques mesures bactériologiques.

Afin de mesurer l'impact des écoulements souterrains sur les instabilités de falaises, des études plus exhaustives du fonctionnement hydrogéologique à plus petite échelle pourront être entreprises. Le travail pourra se faire sur des petits bassins versants côtiers tests, afin de préciser au mieux le contexte hydrogéologique et de mettre en évidence d'éventuels comportements spécifiques à la frange littorale. Au cours de l'été

2004, une reconnaissance géologique avec des méthodes électriques (rapport en cours) a été réalisée sur trois sites :

- les Viviers basques à Urrugne,
- la plage d'Harotzen Cotza à Guéthary,
- la zone s'étendant entre Pierrebaita et Bidart centre à Bidart.

Les résultats de cette étude pourraient permettre de définir un « site pilote » qui sera instrumenté et fera l'objet de mesures régulières. Il serait donc intéressant de réaliser une étude hydrologique et hydrogéologique sur ce site test. Il serait également intéressant de prendre des zones tests avec des contextes géologiques différents (avec et sans couverture d'altérites).

Les analyses à effectuer sur ces zones tests devront être aussi complètes que possible et comprendront : l'analyse des précipitations, le suivi des ruissellements, les fluctuations piézométriques, les débits des sources du secteur s'il en existe, l'établissement du bilan hydrologique, des modélisations des écoulements si possible, un suivi du chimisme des eaux (qui pourra se faire à différentes échelles), voire l'utilisation d'outils géochimiques (datation, traçages).

Parallèlement, les éléments acquis sur ces zones tests dans les autres disciplines (géologie et géophysique) devraient permettre de faciliter la définition du contexte hydrogéologique en arrière-paroi de falaise.

6. Bibliographie

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

Bichot F., Leroi E. (1996) - Inventaire départemental des phénomènes naturels majeurs et des principaux enjeux. Département des Pyrénées Atlantiques. Cartographie de l'aléa pour le bassin de risques : la vallée d'Ossau – BRGM R 39064.

Bichot F. (2001) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 5 –Système d'informations pour la gestion des eaux souterraines. *Atlas hydrogéologique*. Annexe au rapport BRGM/R-51175-FR.

Borie M. (2004) - Analyse des glissements rocheux des Viviers-Basques (64, Urrugne) – Mémoire de DEA, Ecole Centrale de Paris, 45 p.

Capdeville J.P., Combe M., Dubreuilh J., Teissier J.L. (1982) - Géologie et hydrogéologie de la falaise de la côte des basques et de son arrière-pays. Schéma de principe pour le drainage – 82 SGN 562 AQL, 36 p.

Caudron M., Equilbey, Mortimore R.N. (2001) - Projet ROCC : Hydrogéologie. Etat critique des connaissances et impact de l'eau sur la stabilité des falaises – BRGM/RP-51436-FR, 50 p., 6 fig., 8 tabl., 2 photos, 1 ann.

Chigot D., Mondeilh C. (1987) - Etude sur la protection des captages et de nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 1^{ère} phase : inventaire des captages et diagnostic de qualité. Fascicules I et II – 87 SGN 284 AQL.

Derruau M. (2002) - Les formes du relief terrestre : notions de géomorphologie – 8^{ème} édition, édition Armand Colin, 120 p.

Durand N., Mallet C. (2004) - Analyse du régime météorologique de la Côte Basque – BRGM/RP-52955-FR, 60 p., 31 fig., 8 tab.

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.

Goïty P. (1986) - Les eaux minérales et thermales en Soule, en Basse-Navare et au Labourd – Thèse Université Bordeaux II, 354 p.

Langmuir D. (1997) - Aqueous environmental geochemistry, Ed. Mc Connin, 600 p.

Largillier J.F. (2002) - Ville de Bidart – Corniche de la falaise – Etude de stabilité. Rapport ANTEA n° A28432/A.

Leroi E., Monge O., Chassagneux D., Van Asch T., Bogaard T., Nieuwenhuis J., Van Esch J., Teunissen H., Flohr M., Teixier B., Asté J.P., Badgi N. (1997) - HYCOSI – Impact of hydrometeorologic changes on slope stability. Rapport de synthèse – BRGM R39794.

Nédellec J.L., Zornette N., Mathon C. avec la collaboration Aubié S. (2004) - Observatoire de la Côte Aquitaine - Evaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la Côte Basque. BRGM/RP-52783-FR rapport provisoire, 9 illustrations, 2 ann., 35 p.

Prick A. (1999) - Etude de la cryoclastie et de l'haloclastie par méthode dilatométrique, Altera Diffusion.

Rapport BRGM R 35 442 AQI 4S 92 (1992) – Confortement de la Côte des Basques – Zone C – Partie Sud – Traitement provisoire de la rue des falaises, Ville de Biarritz, 5 pièces.

Winckel A., Mazurier C., Genna A., Dubreuilh J. avec la collaboration de Dufour P., Barennes E. (2003) - Ressources en eau thermale et minérale du département des Pyrénées-Atlantiques. Recensement, identification et caractérisation des sources thermales ou minérales anciennes, abandonnées ou mal connues - BRGM/RP-52737-FR.

Annexe 1
Questionnaire envoyé aux communes de la côte
basque



<u>Date</u> : 2 mars 2004
<u>Contact organisme</u> :
Nom : Organisme :
<u>Contact BRGM</u> :
Nom : Service : Tél :

OBSERVATOIRE DE LA COTE AQUITAINE
VOLET COTE BASQUE
N° DE PROJET 9300019512

QUESTIONNAIRE

➤ **Station d'épuration** :

- La commune possède t'elle une ou plusieurs stations d'épuration ? oui non

Si oui combien ?

- Où est-elle (sont-elles) située(s) ? _____

- Quel type de traitement est utilisé ? _____

- Où se situe(nt) la (les) zone(s) de rejet ? _____

- Quels sont les volumes rejetés ? _____

- Quelle est la capacité de traitement ? _____ m³/h ou _____ éq/hab

➤ **Eaux pluviales :**

- Existe-t'il un réseau séparé pour les eaux pluviales ? oui non

Ce réseau est séparé : totalement partiellement

◆ **Si le réseau «eaux pluviales» est partiellement séparé du réseau «eaux usées» :**

- Quelles sont les zones avec un réseau unitaire et celles avec deux réseaux distincts ?

◆ **Si le réseau «eaux pluviales» est totalement séparé du réseau «eaux usées» :**

- Les eaux pluviales vont-elles à la station d'épuration? oui non

Si non où vont-elles ? _____

- Subissent-elles un traitement avant d'être rejetées ? oui non

si oui, lequel ? _____

- Où les eaux pluviales sont-elles rejetées au final ? _____

- Existe t'il des buses de déversement permettant d'évacuer le trop plein lors d'orages violents par exemple le long du réseau de collecte des eaux pluviales ?

oui non

si oui, où se situent ces buses ? _____

- Quels sont les volumes rejetés ? _____

➤ **Schéma directeur d'assainissement :**

- La commune a t'elle un schéma directeur d'assainissement ? oui non

Si oui quelles sont les zones présentant un assainissement autonome et celles raccordées au réseau collectif ? _____

- Dans les zones raccordées au réseau collectif, certaines maisons ont elles été identifiées comme n'étant pas raccordées au réseau ?

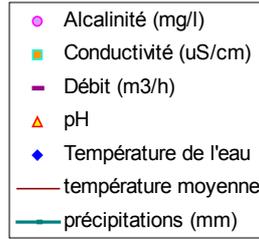
oui non

Si oui quels sont les secteurs (voir les maisons) concernés ? _____

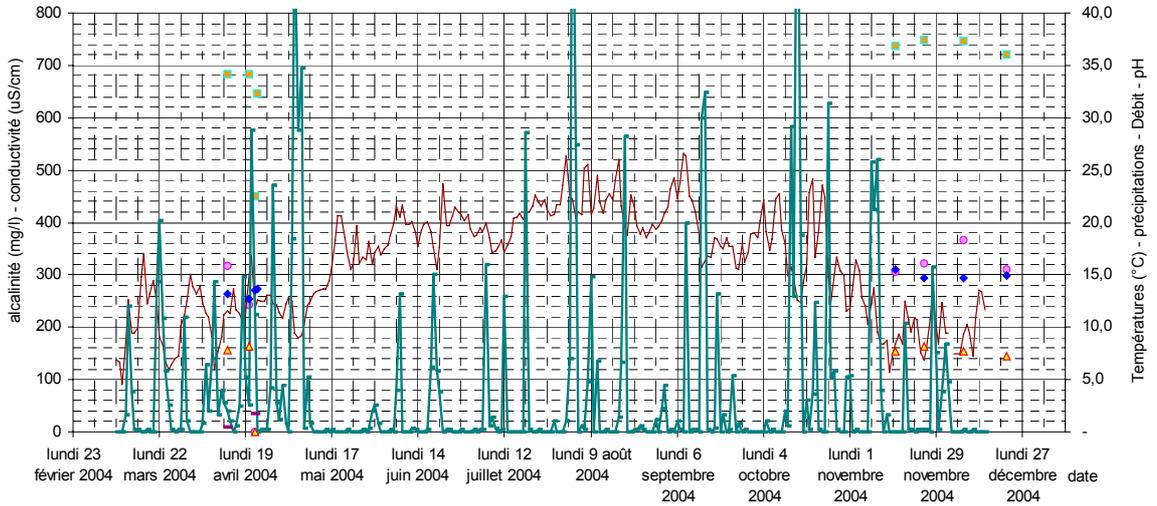
Annexe 2
Evolution des paramètres physico-chimiques des
venues d'eau de la Corniche à Urrugne du 13
avril 2004 au 22 décembre 2004

Id. source	Date	Température (°C) de l'eau	Température minimale – moyenne – maximale de l'air	Conductivité (µS/cm)	pH	Alcalinité (mg de HCO ₃ ⁻)
EM1	13/04/2004 matin	13,2	10,1 - 11,6 - 14,0	683	7,8	317
	20/04/2004 matin	12,7	11,6 - 15,0 - 19,5	684	8,2	243
	22/04/2004 matin	13,5	9,9 - 11,8 - 13,8	451		
	23/04/2004	13,6	11,7 - 12,6 - 16,4	645		
	16/11/2004 matin	15,5	6,5 – 8,4 – 10,3	736	7,8	306
	25/11/04 après-midi	14,7	2,1 – 6,9 – 13,9	748	8,1	323
	08/12/04 après-midi	14,7	7,2 – 9,3 – 11,1	747	7,7	366
	22/12/04 après-midi	14,9		720	7,2	311
EM2	13/04/2004 matin	12,4	10,1 - 11,6 - 14,0	787	8,3	260
	20/04/2004 matin	12,7	11,6 - 15,0 - 19,5	811	8,2	289
	22/04/2004 matin	12,2	9,9 - 11,8 - 13,8	500		
	23/04/2004	12,5	11,7 - 12,6 - 16,4	785		
	16/11/2004 matin	15,5	6,5 – 8,4 – 10,3	793	8,3	221
EM2 ^{bis}	25/11/04 après-midi	13,8	2,1 – 6,9 – 13,9	782	8,6	215
EM2 ^{ter}	25/11/04 après-midi	14,3	2,1 – 6,9 – 13,9	781	8,3	220
EM2	08/12/04 après-midi	14,8	7,2 – 9,3 – 11,1	799	8,1	298
	22/12/04 après-midi	14,3		816	8,1	295
SW	13/04/2004 après-midi	13,5	10,1 - 11,6 - 14,0	463	6,9	249
	16/11/2004 matin	16,0	6,5 – 8,4 – 10,3	441	6,7	184
	25/11/04 après-midi	15,8	2,1 – 6,9 – 13,9	480	7,1	210
	08/12/04 après-midi	15,6	7,2 – 9,3 – 11,1	397	7,0	234
	22/12/04 après-midi	15,4		463	6,8	199
SW-triton	13/04/2004 après-midi	13,5	10,1 - 11,6 - 14,0	571	7,1	282
	16/11/2004 matin	13,5	6,5 – 8,4 – 10,3	748	6,9	345
	25/11/04 après-midi	12,3	2,1 – 6,9 – 13,9	717	7,3	346
	08/12/04 après-midi	12,4	7,2 – 9,3 – 11,1	558	7,0	364
	22/12/04 après-midi	11,5		756	7,0	349

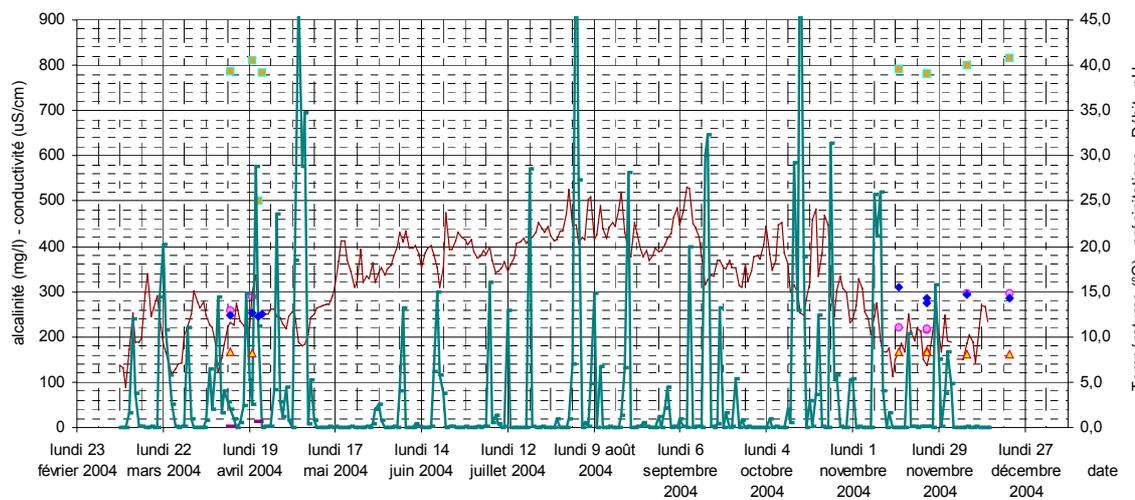
SW2	13/04/2004 après-midi	11,7	10,1 - 11,6 - 14,0	671	7,0	331
	16/11/2004 matin	15,8	6,5 – 8,4 – 10,3	572	7,0	255
	25/11/04 après-midi	15,5	2,1 – 6,9 – 13,9	599	7,4	272
	08/12/04 après-midi	15,4	7,2 – 9,3 – 11,1	479	7,3	279
	22/12/04 après-midi	15,2		556	7,0	246
SE	13/04/2004 après-midi	14,0	10,1 - 11,6 - 14,0	667	7,0	282
	16/11/2004 matin	15,6	6,5 – 8,4 – 10,3	723	7,0	322
	25/11/04 après-midi	15,4	2,1 – 6,9 – 13,9	742	7,0	325
	08/12/04 après-midi	15,2	7,2 – 9,3 – 11,1	559	7,0	317
	22/12/04 après-midi	15,1		673	6,9	306
SE1	13/04/2004 après-midi	13,4	10,1 - 11,6 - 14,0	632	7,0	275
SE2	13/04/2004 après-midi	13,7	10,1 - 11,6 - 14,0	745	7,1	361
	16/11/2004 matin	15,5	6,5 – 8,4 – 10,3	660	6,9	309
	25/11/04 après-midi	15,4	2,1 – 6,9 – 13,9	672	7,0	327
	08/12/04 après-midi	15,1	7,2 – 9,3 – 11,1	528	7,0	312
	22/12/04 après-midi	14,7		630	6,8	272
Ruisseau	13/04/2004 matin	12,1	10,1 - 11,6 - 14,0	665	8,1	298
	22/04/2004 matin	13,1	9,9 - 11,8 - 13,8	485		
	16/11/2004 matin	13,0	6,5 – 8,4 – 10,3	680	8,2	309
	08/12/04 après-midi	12,4	7,2 – 9,3 – 11,1	696	8,2	334
	22/12/04 après-midi	12,7		693	7,7	317
Pluie	22/04/2004 matin	10,0	9,9 - 11,8 - 13,8	29	8,2	



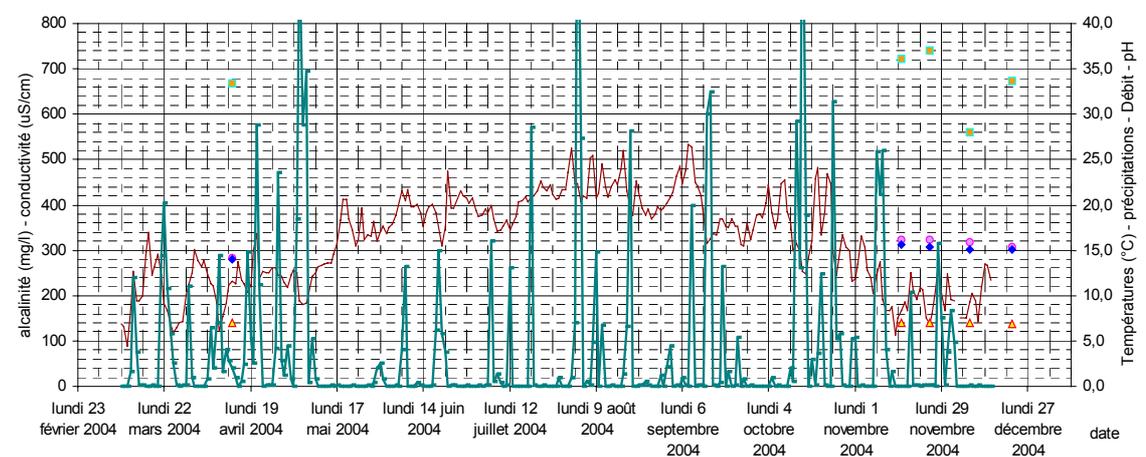
Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_EM1



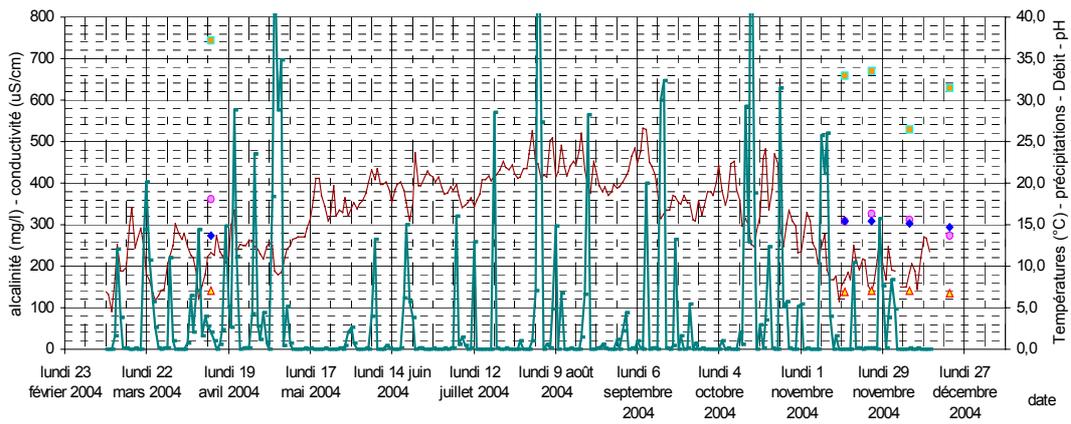
Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_EM2



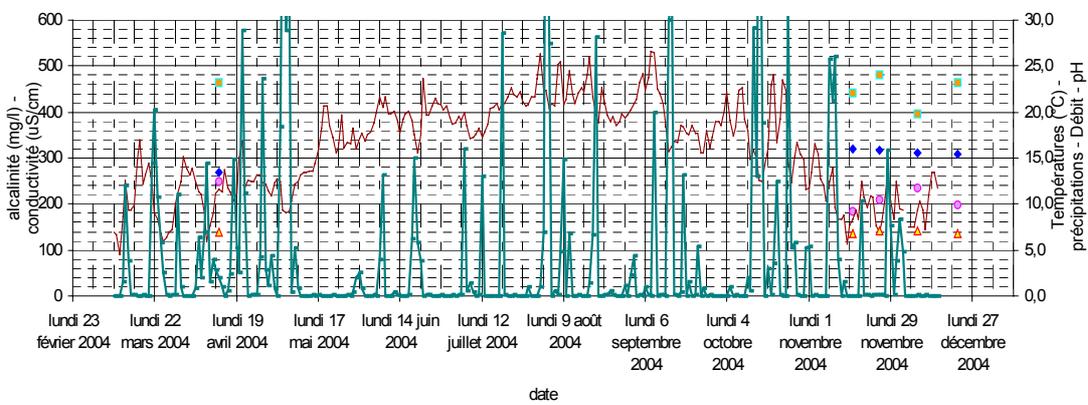
Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_SE



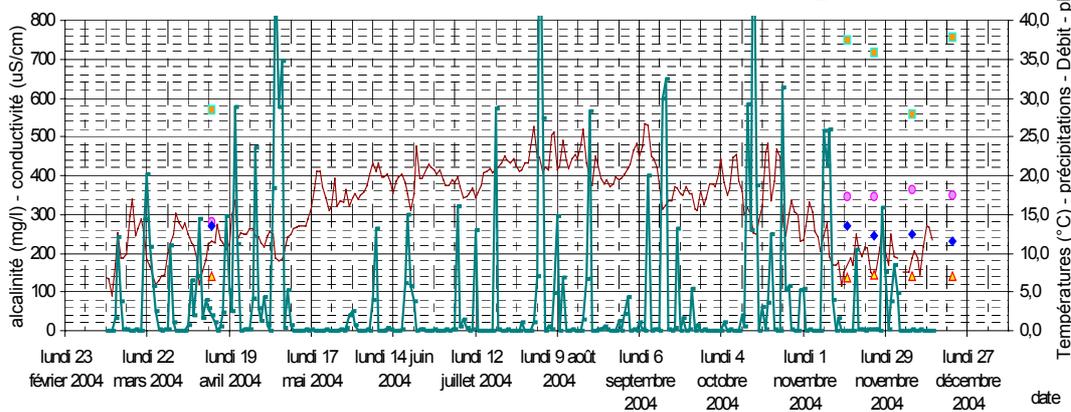
Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_SE2



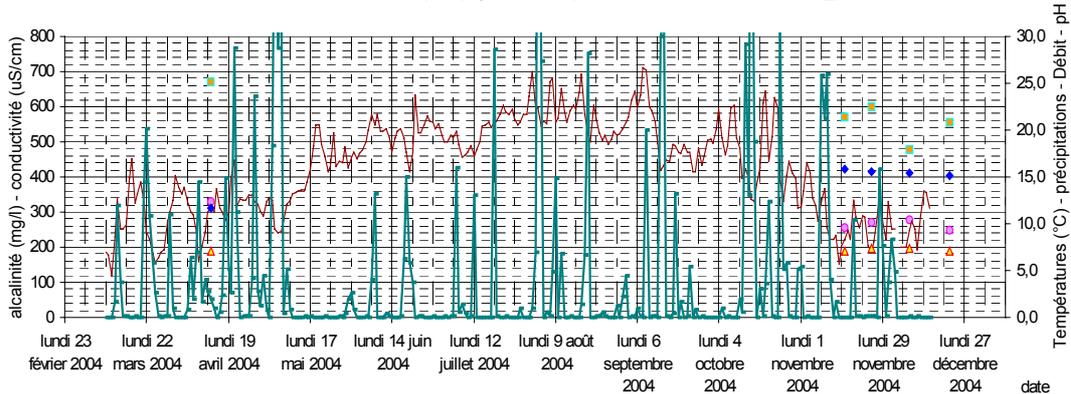
Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_SW



Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_SW-triton



Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la venue d'eau V_SW2



Annexe 3
Paramètres physico-chimiques et composition
chimique des venues d'eau de la Corniche à
Urrugne le 13 avril 2004

Identification de l'échantillon		EM1	EM2	SW	SW_triton	SW2	SE	SE2
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		684	811	463	571	671	667	745
Température ($^{\circ}\text{C}$)		12,7	12,7	13,5	13,5	11,6	13,95	13,7
pH		8,2	8,2	6,9	7,1	7,0	7,0	7,1
Concentration en ions (mg/l)	Na^{2+}	42,0	65,8	17,0	28,1	19,3	23,8	22,7
	K^{+}	1,7	2,4	1,4	1,5	1,3	2,3	4,5
	Mg^{2+}	6,0	8,5	4,2	4,7	4,4	5,9	5,0
	Ca^{2+}	111,5	100,2	88,5	114,9	107,7	136,7	120,0
	F^{-}	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cl^{-}	68,9	115,3	22,4	39,2	28,9	37,5	33,8
	NO_3^{-}	1,6	1,2	9,3	0,7	15,3	7,6	11,9
	SO_4^{2-}	15,9	23,7	9,3	14,0	10,9	18,1	12,9
	HCO_3^{-}	317,2	259,9	248,9	281,8	331,2	281,8	361,1
$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$		5,3%	8,5%	4,7%	4,1%	4,1%	4,3%	4,1%

Annexe 4
Débits mesurés, estimés et corrigés sur les
venues d'eau de la côte basque observées lors
de la campagne de terrain d'avril 2004

Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la côte basque

Nom GPS du point	X Lambert II étendu (m)	Y Lambert II étendu (m)	Commune	Lieu dit	Typologie	Débit mesuré (m ³ /h) ¹	Débit estimé (m ³ /h) ²	Débit corrigé (m ³ /h) ³
WPT256	285546,16	1840148,59	Anglet	Pointe Saint Martin	Canalisation		1,0	0,5
WPT255	285546,16	1840148,59	Anglet	Pointe Saint Martin	Canalisation		1,0	0,5
WPT282	282509,53	1836102,42	Bidart	Ilbarritz	Canalisation	0,72	3,0	
WPT300	282087,14	1835399,12	Bidart	Plateau Bellevue	Canalisation		3,0	1,5
WPT305	281355,29	1834248,83	Bidart	Plage du centre	Canalisation	0,95	3,0	
WPT342	280308,93	1833098,35	Bidart	Parlementia	Canalisation		5,0	2,5
WPT294	281804,98	1835041,81	Bidart	Pierrebaita	Canalisation		10,0	5,0
WPT335	279120,40	1832422,79	Saint-Jean-de-Luz	Senix	Canalisation		1,0	0,5
WPT324	278829,69	1832120,63	Saint-Jean-de-Luz	Maiarko	Canalisation		2,0	1,0
WPT308	276041,50	1830597,31	Saint-Jean-de-Luz	Parcours sportif	Canalisation		3,0	1,5
WPT405	269840,86	1828326,32	Hendaye	Haizabia	Emissaire		5,0	2,5
WPT370	267946,68	1828389,39	Hendaye	Plage d'Hendaye	Emissaire		8,0	4,0
	268267,41	1828876,21	Hendaye	Pointe Sainte Anne	Emissaire		15,0	7,5
WPT312	276574,33	1830796,75	Saint-Jean-de-Luz	Croix d'Arxiloa	Emissaire		15,0	7,5
WPT368	267701,31	1828072,26	Hendaye	Plage d'Hendaye	Rivière		15,0	7,5
WPT406	269783,06	1828347,10	Hendaye	Haizabia	Rivière		20,0	10,0
WPT319	279196,05	1832443,68	Saint-Jean-de-Luz	Senix	Rivière		10,0	5,0
WPT388	271561,75	1829004,62	Urrugne	Viviers Basques	Rivière		15,0	7,5
WPT285	282406,08	1835906,84	Bidart	Pavillon royal	Source		1,0	0,5
WPT284	282440,02	1835952,50	Bidart	Pavillon royal	Source	0,36	1,0	
WPT298	282115,97	1834807,70	Bidart	Pierrebaita	Source		5,0	2,5
WPT295	281751,45	1834998,99	Bidart	Pierrebaita	Source		5,0	2,5
WPT283	282441,83	1835961,45	Bidart	Pavillon royal	Source		5,0	2,5
WPT397	268108,68	1828610,02	Hendaye	Plateau d'Abadia	Source		1,0	0,5
WPT369	267988,38	1828378,73	Hendaye	Plage d'Hendaye	Source	0,90	3,0	
WPT364	268489,78	1828715,36	Hendaye	Baie de Loïa	Source		3,0	1,5
WPT366	268465,58	1828811,35	Hendaye	Pointe Sainte Anne	Source		4,0	2,0
WPT361	268470,98	1828545,23	Hendaye	Baie de Loïa	Source		5,0	2,5
WPT371	267973,76	1828399,34	Hendaye	Plage d'Hendaye	Source		5,0	2,5
WPT378	268158,96	1828506,77	Hendaye	Plateau d'Abadia	Source		12,0	6,0
WPT357	271530,24	1829042,50	Urrugne	Viviers Basques	Source		5,0	2,5
WPT358	271587,40	1829035,17	Urrugne	Viviers Basques	Source karstique		0,2	0,1
WPT356	271585,65	1829027,91	Urrugne	Viviers Basques	Source karstique		0,4	0,2
WPT258	285479,96	1840161,11	Anglet	Pointe Saint Martin	Suintement		3,0	1,5
WPT396	268135,33	1828575,58	Hendaye	Plateau d'Abadia	Suintement		2,0	1,0
WPT327	278503,74	1831989,45	Saint-Jean-de-Luz	Lafitenia	Suintement		0,5	0,3
WPT254	285598,49	1840164,80	Anglet	Pointe Saint Martin	Talweg		1,0	0,5
WPT257	285502,96	1840149,28	Anglet	Pointe Saint Martin	Talweg		5,0	2,5
WPT264	283522,15	1837784,20	Biarriz	Marbella	Talweg		1,0	0,5
WPT261	285393,03	1840117,40	Biarriz	Pointe Saint Martin	Talweg		3,0	1,5
WPT263	285246,00	1840110,86	Biarriz	Pointe Saint Martin	Talweg		5,0	2,5
WPT288	282203,54	1835591,91	Bidart	Pavillon royal	Talweg		0,6	0,3
WPT278	282596,43	1836305,89	Bidart	Ilbarritz	Talweg		1,0	0,5
WPT286	282258,97	1835684,19	Bidart	Pavillon royal	Talweg	0,60	1,0	
WPT293	281941,89	1835256,79	Bidart	Plateau Bellevue	Talweg		1,0	0,5
WPT276	282684,03	1836432,74	Bidart	Ilbarritz	Talweg		3,0	1,5
WPT301	282125,78	1835484,67	Bidart	Plateau Bellevue	Talweg		3,0	1,5
WPT297	281599,62	1834810,55	Bidart	Bidart	Talweg		3,0	1,5
WPT290_1	282184,27	1835558,99	Bidart	Pavillon royal	Talweg		5,0	2,5
WPT290_2	282175,18	1835536,54	Bidart	Pavillon royal	Talweg		5,0	2,5
WPT289	282203,54	1835591,91	Bidart	Pavillon royal	Talweg	0,60	5,0	
WPT291	282141,81	1835511,72	Bidart	Pavillon royal	Talweg		10,0	5,0
WPT379	268140,37	1828491,43	Hendaye	Plateau d'Abadia	Talweg		3,0	1,5
WPT381	268304,67	1828822,61	Hendaye	Pointe Sainte Anne	Talweg		4,0	2,0
WPT360	268499,92	1828531,13	Hendaye	Baie de Loïa	Talweg		5,0	2,5
WPT359	268541,81	1828498,75	Hendaye	Baie de Loïa	Talweg		5,0	2,5
WPT362	268467,49	1828608,11	Hendaye	Baie de Loïa	Talweg		8,0	4,0

¹ : débit mesuré à partir du temps de remplissage de récipients gradués

² : débit estimé visuellement

³ : débit corrigé correspondant à la moitié du débit estimé

Annexe 5
Paramètres physico-chimiques (température et
conductivité) mesurés sur les venues d'eau de la
côte basque observées lors de la campagne de
terrain d'avril 2004

Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la côte basque

Nom GPS du point	X Lambert II étendu (m)	Y Lambert II étendu (m)	Commune	Lieu dit	Typologie	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)
WPT300	282087,14	1835399,12	Bidart	Plateau Bellevue	Canalisation	703	12,1
WPT282	282509,53	1836102,42	Bidart	Ilbarritz	Canalisation	322	12,3
WPT294	281804,98	1835041,81	Bidart	Pierrebaita	Canalisation	669	12,9
WPT342	280308,93	1833098,35	Bidart	Parlementia	Canalisation	849	14,5
WPT305	281355,29	1834248,83	Bidart	Plage du centre	Canalisation	1393	15,9
WPT308	276041,50	1830597,31	Saint-Jean-de-Luz	Parcours sportif	Canalisation	694	12,0
WPT324	278829,69	1832120,63	Saint-Jean-de-Luz	Maiarko	Canalisation	1069	16,5
WPT335	279120,40	1832422,79	Saint-Jean-de-Luz	Senix	Canalisation	868	18,0
WPT370	267946,68	1828389,39	Hendaye	Plage d'Hendaye	Emissaire		12,6
WPT405	269840,86	1828326,32	Hendaye	Haizabia	Emissaire	941	13,7
	268267,41	1828876,21	Hendaye	Pointe Sainte Anne	Emissaire	1320	14,0
WPT312	276574,33	1830796,75	Saint-Jean-de-Luz	Croix d'Arxiloa	Emissaire	1533	16,2
WPT368	267701,31	1828072,26	Hendaye	Plage d'Hendaye	Rivière	565	13,6
WPT406	269783,06	1828347,10	Hendaye	Haizabia	Rivière	7150	15,0
WPT319	279196,05	1832443,68	Saint-Jean-de-Luz	Senix	Rivière	1212	15,1
WPT295	281751,45	1834998,99	Bidart	Pierrebaita	Source	1152	13,8
WPT284	282440,02	1835952,50	Bidart	Pavillon royal	Source	751	14,4
WPT298	282115,97	1834807,70	Bidart	Pierrebaita	Source	760	14,4
WPT283	282441,83	1835961,45	Bidart	Pavillon royal	Source	715	14,8
WPT361	268470,98	1828545,23	Hendaye	Baie de Loïa	Source		11,9
WPT369	267988,38	1828378,73	Hendaye	Plage d'Hendaye	Source		12,1
WPT371	267973,76	1828399,34	Hendaye	Plage d'Hendaye	Source		12,3
WPT378	268158,96	1828506,77	Hendaye	Plateau d'Abadia	Source	733	12,4
WPT397	268108,68	1828610,02	Hendaye	Plateau d'Abadia	Source	1345	14,6
WPT357	271530,24	1829042,50	Urrugne	Viviers Basques	Source	494	11,7
WPT358	271587,40	1829035,17	Urrugne	Viviers Basques	Source karstique	500	12,2
WPT356	271585,65	1829027,91	Urrugne	Viviers Basques	Source karstique	451	13,5
WPT258	285479,96	1840161,11	Anglet	Pointe Saint Martin	Suintement	1064	9,2
WPT396	268135,33	1828575,58	Hendaye	Plateau d'Abadia	Suintement	838	13,8
WPT327	278503,74	1831989,45	Saint-Jean-de-Luz	Lafitenia	Suintement	52900	13,1
WPT313	276504,99	1830791,03	Saint-Jean-de-Luz	Parcours sportif	Suintement	1325	14,6
WPT257	285502,96	1840149,28	Anglet	Pointe Saint Martin	Talweg	703	12,2
WPT263	285246,00	1840110,86	Biarritz	Pointe Saint Martin	Talweg	3850	
WPT276	282684,03	1836432,74	Bidart	Ilbarritz	Talweg	1444	11,9
WPT286	282258,97	1835684,19	Bidart	Pavillon royal	Talweg	650	13,6
WPT290_2	282175,18	1835536,54	Bidart	Pavillon royal	Talweg	1480	13,9
WPT301	282125,78	1835484,67	Bidart	Plateau Bellevue	Talweg	792	14,0
WPT289	282203,54	1835591,91	Bidart	Pavillon royal	Talweg	2250	14,0
WPT288	282203,54	1835591,91	Bidart	Pavillon royal	Talweg	2250	14,0
WPT291	282141,81	1835511,72	Bidart	Pavillon royal	Talweg	786	14,1
WPT290_1	282184,27	1835558,99	Bidart	Pavillon royal	Talweg	1800	14,2
WPT293	281941,89	1835256,79	Bidart	Plateau Bellevue	Talweg	1312	14,5
WPT297	281599,62	1834810,55	Bidart	Bidart	Talweg	1025	15,8
WPT359	268541,81	1828498,75	Hendaye	Baie de Loïa	Talweg	608	11,7
WPT360	268499,92	1828531,13	Hendaye	Baie de Loïa	Talweg		12,3
WPT379	268140,37	1828491,43	Hendaye	Plateau d'Abadia	Talweg		13,8
WPT381	268304,67	1828822,61	Hendaye	Pointe Sainte Anne	Talweg		13,9



Sciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

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