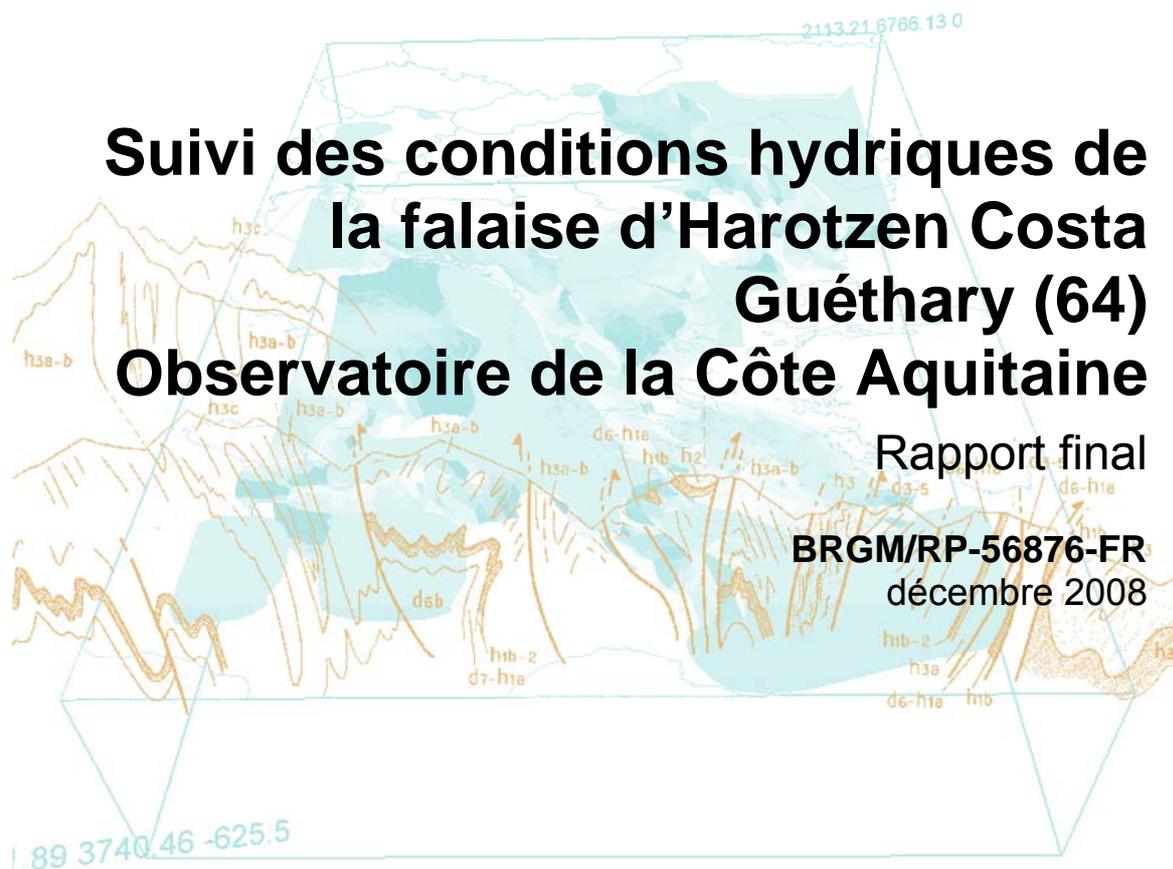


Document public

Suivi des conditions hydriques de la falaise d'Harotzen Costa Guéthary (64) Observatoire de la Côte Aquitaine

Rapport final

BRGM/RP-56876-FR
décembre 2008



Document public

Suivi des conditions hydriques de la falaise d'Harotzen Costa à Guéthary (64) Observatoire de la Côte Aquitaine

Rapport final

BRGM/RP-56876-FR
décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2008 08LITA01

Aubié S., Peter-Borie M.,

en collaboration avec Sirieix C., Naudet V., Corbier P.



Vérificateur :

Original signé par C. Mathon

Date : 03/03/2009

Approbateur :

Original signé par Ph. Dutartre

Date : 05/03/2009

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

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



Mots clés : Aquitaine, Côte Basque, Littoral, Mouvements de terrain, Guéthary, Instrumentation

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

AUBIE S., PETER-BORIE M., en collaboration avec Sirieix C., Naudet V., Corbier P. (2008)
– Suivi des conditions hydriques de la falaise d’Harotzen Costa – Commune de Guéthary (64) –
Rapport BRGM/RP-56876-FR, 43 p, 20 fig.

Synthèse

La présente étude a été réalisée dans le cadre des missions de service public qui ont été confiées au Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM. Elle est cofinancée par l'Europe, l'Etat, la Région Aquitaine, le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques et le BRGM. Ces travaux entrent dans le cadre de la convention de partenariat de l'Observatoire de la Côte Aquitaine s'inscrivant dans le CPER 2007-2013.

Elle fait suite aux études pluri-disciplinaires, réalisées sur le littoral de la Côte Basque, qui ont permis de mettre en évidence la nécessité d'améliorer les connaissances sur les processus d'érosion et notamment sur la dynamique des mouvements de terrain. Dans ce contexte, une thèse a été lancée en janvier 2006 et s'est achevée en décembre 2008 en collaboration avec le laboratoire GHYMAC de l'Université Bordeaux I.

Le présent document est extrait des travaux réalisés au cours de la thèse de Mariane Peter-Borie, soutenue le 19 décembre 2008, intitulée : « Les massifs rocheux crétacés supérieurs du Labourd occidental : processus d'altération et instabilités littorales ».

Sur la commune de Guéthary, le glissement de terrain qui s'est produit en janvier 2004 en bordure aval de la propriété « La Muserie », a été instrumenté –mesures d'humidité et panneau électrique- et fait l'objet d'un suivi depuis la fin de l'année 2005. Le dispositif mis en place permet de suivre les variations de teneur en eau dans le sol ainsi que d'éventuelles décompressions dans les terrains en place, prémonitoires d'une réactivation et/ou d'une évolution régressive du glissement.

Le présent rapport expose les résultats de cette instrumentation et des suivis effectués sur le site de Guéthary et fait suite au rapport BRGM sur la dynamique des mouvements de terrain à l'échelle de sites expérimentaux (rapport BRGM/RP-54815-FR).

L'ensemble des résultats montre que les circulations se produisent dans l'altérite, au sein d'une nappe perchée temporaire, ou dans une nappe captive de l'horizon karstifié, présent sous les altérites. Les mesures piézométriques faites sur le site concordent au cours de la période de suivi, avec les résultats fournis par la sonde Humitub.

Les résultats des données d'humidité mettent en évidence un comportement hydrogéologique du massif d'altérite hétérogène et anisotrope. Ceci est probablement la conséquence directe de la structure hétérogène des altérites qui est à l'origine d'une chenalisation des flux hydriques par les niveaux les plus perméables de l'altérite : bancs de chailles fracturés et niveaux les plus silteux d'échelle centimétrique. L'humidité du massif est, en partie, directement liée aux précipitations à court et moyen terme. L'analyse du système hydrogéologique des altérites par l'Humitub est cependant ici limitée d'une part, par la saturation rapide des électrodes à certaines profondeurs, et, d'autre part, par la durée de la période d'étude qui n'a pas excédé un

cycle hydrologique. Afin de couvrir une période permettant une étude à long terme, le suivi des variations d'humidité à l'aide de l'Humitub va être poursuivi.

Les mesures géophysiques n'ont pas permis d'apprécier des variations hydriques saisonnières au sein des altérites, mais elles confortent l'hypothèse de l'existence d'un aquifère karstique au sein des flyschs sur le site de Guéthary.

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
1.1. CADRE DE L'ETUDE.....	7
1.2. OBJET DE L'ETUDE	7
2. RAPPEL DU CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE	9
3. INSTRUMENTATION DU SITE PILOTE D'HAROTZEN COSTA	11
3.1. ETUDE DES PRECIPITATIONS	12
3.2. DONNEES D'HUMIDITE	14
3.2.1. <i>La sonde Humitub : description et mesures</i>	14
3.2.2. <i>Description qualitative des résultats</i>	16
3.2.3. <i>Analyses corrélatoires</i>	20
3.2.4. <i>Analyses factorielles</i>	27
3.2.5. <i>Conclusion</i>	29
3.3. LE DISPOSITIF DE TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE.....	30
3.3.1. <i>Méthodologie</i>	30
3.3.2. <i>Matériel</i>	30
3.3.3. <i>Dispositifs</i>	31
3.3.4. <i>Paramètres influant la mesure de résistivité apparente</i>	32
3.3.5. <i>Résultats et interprétations</i>	33
3.3.6. <i>Conclusions</i>	36
3.4. SUIVI PIEZOMETRIQUE.....	37
3.4.1. <i>Objectif et implantation</i>	37
3.4.2. <i>Suivi piézométrique</i>	38
3.4.3. <i>Conclusions</i>	39
4. CONCLUSION	41
5. BIBLIOGRAPHIE	43

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du secteur d'étude	9
Illustration 2 : Fylsch à silex de Guéthary surmontés par des altérites	10
Illustration 3 : Représentation conceptuelle du site pilote de Guéthary et de l'instrumentation déployée près du glissement de terrain survenu en janvier 2004	12
Illustration 4 : Relation entre les précipitations décennales enregistrées sur le site pilote de Harotzen Costa (Guéthary) et aux stations météorologiques de Socoa et Biarritz	13

Illustration 5 : Précipitations mensuelles (Station de Socoa) au cours de la période de suivi sur le site de Guéthary et moyenne mensuelle (Station de Socoa, 1921-2008)	14
Illustration 6 : Détail de la sonde Humitub : électrodes et canne ; b : mise en place de la sonde Humitub.....	15
Illustration 7: a. Humidité (Δh) mesurée par les capteurs de l'Humitub aux profondeurs de 1 m, 3 m, 6 m, 7,5 m et 9 m et précipitations d'août 2006 à mars 2008. b. Détail des évènements n°1 à 4. L'échelle d'humidité est en unité arbitraire (u.a.), elle est différente selon la profondeur considérée	17
Illustration 8 : Synthèse des délais entre les précipitations et les variations d'humidité enregistrées par les capteurs de l'Humitub pour les évènements pluvieux n°1, 2, 4 et 5.....	18
Illustration 9 : Autocorrélogramme de l'humidité mesurée aux profondeurs de 1,0 m, 3,0 m, 6,0 m, 7,5 m et 9,0 m (H0 : hypothèse selon laquelle le coefficient d'autocorrélation est nul)	22
Illustration 10 : a. Corrélogramme simple des pluies de la station de Guéthary (septembre 2006-août 2007) ; b. Détail des soixante premières heures	24
Illustration 11 : Corrélogrammes croisés pluies/humidité.....	25
Illustration 12 : Délai entre l'impulsion (les précipitations) et l'augmentation du coefficient de corrélation jusqu'à la valeur modale (pic) et étalement du pic (estimés sur les corrélogrammes croisés)	25
<i>Illustration 13 : Corrélogrammes croisés pluie/humidité post pic (T0 : temps de la valeur modale).....</i>	<i>27</i>
Illustration 14 : Dispositif de tomographie électrique : connexion des électrodes au câble : a. avant protection des connectiques b. protection avec un adhésif thermocollant imperméable	31
Illustration 15 : Dispositifs.....	32
Illustration 16 : a : Section de résistivité électrique acquise en juillet 2007 avec un dispositif dipôle-dipôle ; b : interprétation lithologique proposée.....	34
Illustration 17 : Câble du dispositif de tomographie électrique : détérioration de la zone non protégée.....	35
Illustration 18 : Mesures de polarisation spontanée ; a. dispositif ; b. enregistrements de la polarisation spontanée, (1) : $\Delta V_{12} = V_2 - V_1$; (2) : $\Delta V_{13} = V_3 - V_1$; (3) : $\Delta V_{32} = V_2 - V_3$	36
Illustration 19 : Coupe schématique de la Muserie	37
Illustration 20 : Niveau de l'eau dans le piézomètre de La Muserie et précipitations journalières (données MétéoFrance 2008)	39

1. Introduction

1.1. CADRE DE L'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le cadre des missions de service public qui ont été confiées au Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM. Elle est cofinancée par l'Europe, l'Etat, la Région Aquitaine, le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques et le BRGM. Ces travaux entrent dans le cadre de la convention de partenariat de l'Observatoire de la Côte Aquitaine s'inscrivant dans le CPER 2007-2013.

Elle fait suite aux études pluri-disciplinaires réalisées sur le littoral de la Côte Basque qui ont permis de mettre en évidence la nécessité d'améliorer les connaissances sur ses processus d'érosion et notamment sur la dynamique des mouvements de terrain. Dans ce contexte, une thèse a été lancée en janvier 2006 et s'est achevée en décembre 2008 en collaboration avec le laboratoire GHYMAC de l'Université Bordeaux I.

Le présent document est extrait des travaux réalisés au cours de la thèse de Mariane Peter-Borie, soutenue le 19 décembre 2008, intitulée : « Les massifs rocheux crétacés supérieurs du Labourd occidental : processus d'altération et instabilités littorales ».

1.2. OBJET DE L'ETUDE

Sur la commune de Guéthary, le glissement de terrain qui s'est produit en janvier 2004 en bordure aval de la propriété « La Muserie », a été instrumenté et fait l'objet d'un suivi depuis la fin de l'année 2005 (Aubié S. et al, 2006). Le dispositif mis en place permet de suivre les variations de teneur en eau dans le sol ainsi que d'éventuelles décompressions dans les terrains en place, prémonitoires d'une réactivation et/ou d'une évolution régressive du glissement.

Le présent rapport expose les résultats de cette instrumentation et des suivis effectués sur le site de Guéthary. Il fait suite au rapport BRGM sur la dynamique des mouvements de terrain à l'échelle de sites expérimentaux (rapport BRGM/RP-54815-FR).

2. Rappel du contexte géomorphologique

Le glissement de terrain survenu en janvier 2004 se situe en bordure aval de la propriété « La Muserie », au niveau des falaises d'Harotzen Costa sur la commune de Guéthary dans le département des Pyrénées-Atlantiques (illustration 1).

Dans ce secteur, les falaises orientées Nord Nord-Ouest atteignent 30 m de hauteur avec une pente d'environ 35°.

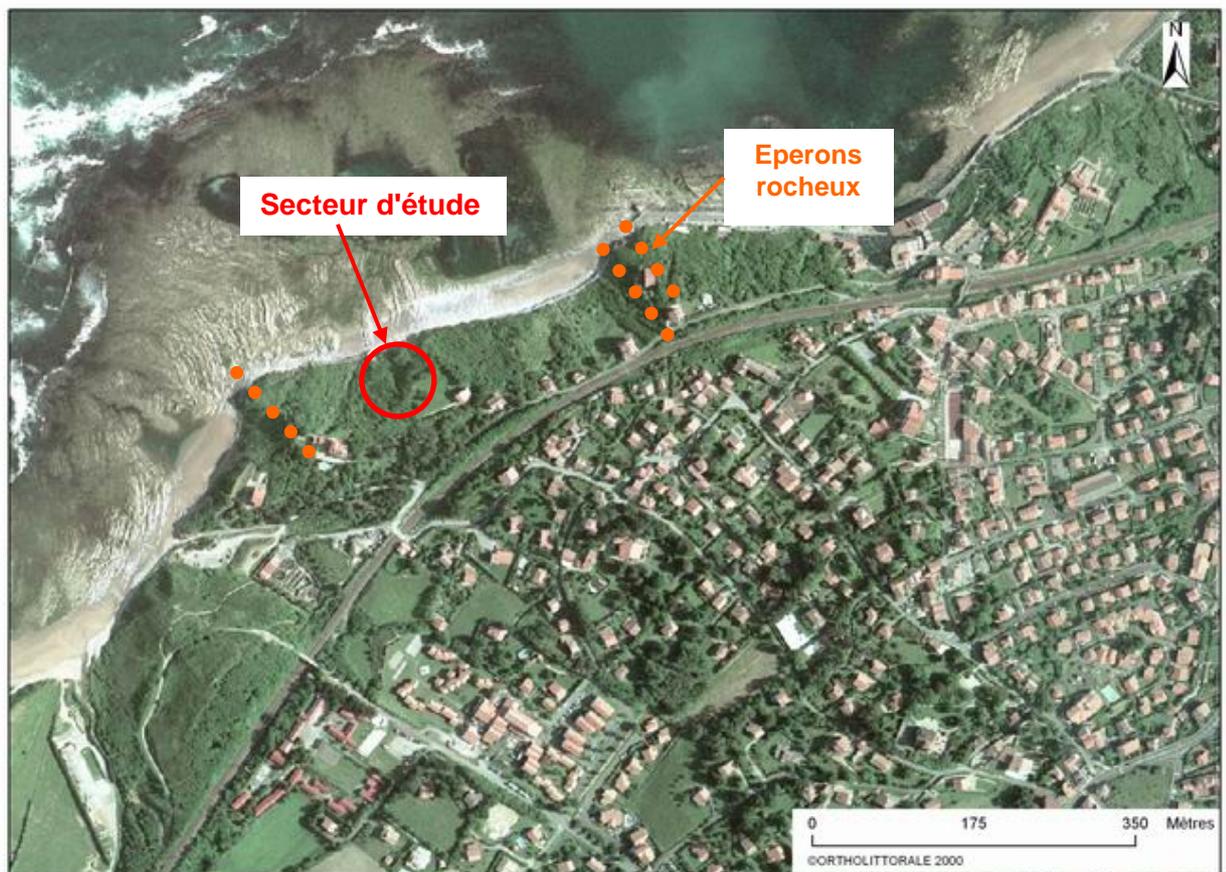


Illustration 1 : Localisation du secteur d'étude

Les formations géologiques rencontrées sur ce secteur correspondent aux flyschs à silex de Guéthary, du Crétacé supérieur. Ils sont composés d'une alternance de couches minces à massives de calcaires à nodules et rubans de silex, et d'inter-bancs marneux. Ils sont observables à l'affleurement en pied de falaise sur la plage d'Harotzen Costa (illustration 2). Ces flyschs, le plus souvent en aval pendage, sont surmontés par des altérites issues de leur propre altération dont l'épaisseur peut atteindre 30 m.

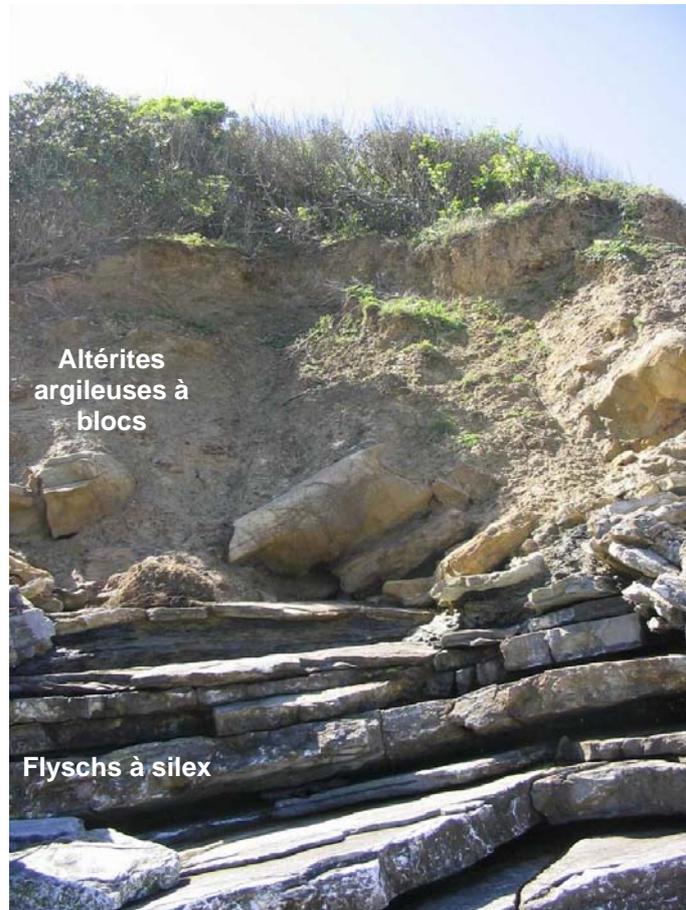


Illustration 2 : Flysch à silex de Guéthary surmontés par des altérites

Morphologiquement, le site présente des éperons (illustration 1) correspondant principalement à des niveaux de flyschs sains affectés par des plissements. Les glissements de terrain se développent de part et d'autre de ces arêtes, sans les affecter.

3. Instrumentation du site pilote d'Harotzen Costa

Localisé sur les reliefs côtiers d'Harotzen Costa de la commune de Guéthary, dans la propriété privée dite « La Muserie », le site pilote présente des conditions géologique, hydrogéologique, géotechnique et morphologique propices aux instabilités comme en témoignent les nombreux mouvements de terrain qui l'ont affecté, dont le dernier en janvier 2004 lors d'un épisode pluvieux intense. Il a été instrumenté dans un objectif de connaissance et de caractérisation des circulations hydrogéologiques au sein des altérites à l'échelle d'un versant (illustration 3).

Le site est instrumenté avec deux types de capteurs sensibles aux variations hydriques :

- d'une part, à l'automne 2006, six capteurs permettant d'évaluer, par des mesures capacitives, les variations d'humidité du matériau sur quelques centimètres autour des paires d'électrodes qui les constituent, ont été disposés, tous les mètres cinquante, le long d'une canne de dix mètres mise en place dans un forage ; l'ensemble constitue une sonde Humitub, ou Humitub (brevet BRGM) ;
- d'autre part, un dispositif de tomographie de résistivité électrique a été implanté à demeure afin d'estimer les variations mensuelles de teneur en eau caractérisées par les variations de résistivité électrique. Ponctuellement, des mesures supplémentaires ont été effectuées : des mesures de polarisation spontanée, une tomographie de résistivité électrique avec un dispositif implanté parallèlement au premier. En outre, afin de faciliter les interprétations, un forage d'exploration a été effectué à proximité du dispositif électrique.

En complément, un piézomètre de 26 m de profondeur a été mis en place en juillet 2006, à la faveur du forage carotté qui a permis de dresser une coupe lithologique précise au droit du site ainsi que la réalisation d'analyses pétrographiques (rapport BRGM/RP-57055-FR). Il constitue l'un des piézomètres d'un réseau dont la mise en place s'est achevée au cours de l'été 2007 avec pour objectif de définir la géométrie et les caractéristiques des aquifères côtiers de la côte basque rocheuse (écoulements souterrains sous forme de nappe). Enfin, la pluviométrie est mesurée à un pas de temps de six heures depuis l'automne 2006, afin *in fine* de corréliser les circulations d'eau aux précipitations.

Un inclinomètre a été mis en place en juillet 2008 pour détecter toute réactivation régressive du glissement et relier son activité aux variations d'humidité dans les altérites (battements du toit de la nappe et variations de la teneur en eau au-dessus (domaine non-saturé)). Les résultats, trop récents (acquis depuis décembre 2008), ne sont pas exploités ici.

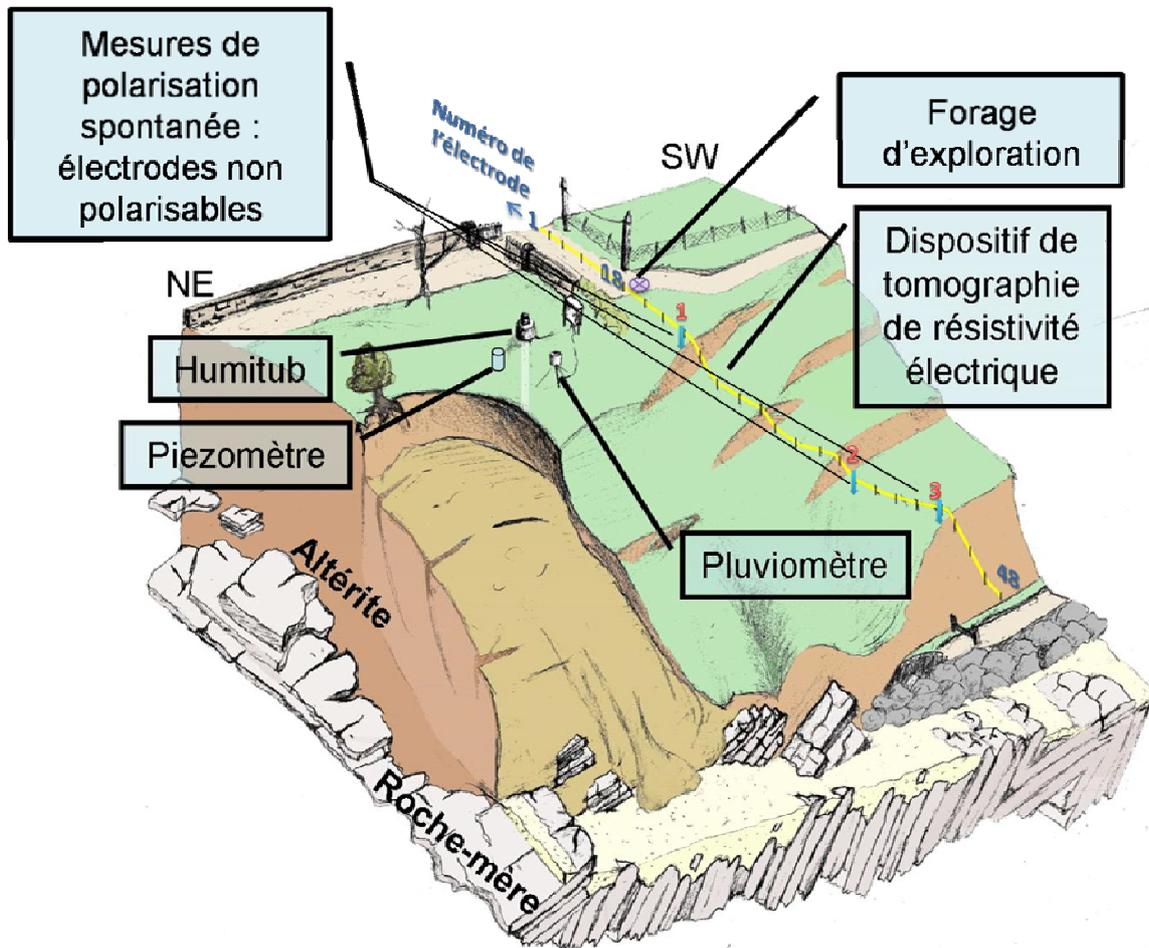


Illustration 3 : Représentation conceptuelle du site pilote de Guéthary et de l'instrumentation – hors inclinomètre- déployée près du glissement de terrain survenu en janvier 2004

3.1. ETUDE DES PRECIPITATIONS

De par les contraintes inhérentes au travail dans une propriété privée et à l'agencement particulier du site, le pluviomètre a été implanté dans un secteur pour partie peuplé par une végétation arbustive (lauriers, figuiers et bambous). Afin d'estimer l'impact de ces arbustes sur les précipitations qu'il enregistre, une étude comparative est proposée avec les données fournies par MétéoFrance (2008) aux stations de Biarritz (code station : 64024001, période couverte : 1956-2008) et de Socoa (code station : 64189001, période couverte : 1921-2008). Les précipitations étant, sur le littoral basque, disparates au cours d'une journée, des cumuls décadaires ont été utilisés ici.

L'illustration 4 présente les relations entre les précipitations décennales à Guéthary (pluviomètre du site pilote) et celles des stations de Socoa et Biarritz, ainsi que celles entre ces deux dernières stations (coefficients de corrélation respectivement égaux à 0,8, 0,8 et 0,9). Alors que le coefficient de régression entre les précipitations décennales de Socoa et de Biarritz est proche de un, celui qui lie les données de Guéthary à celles de ces stations est égal à 0,4 : le volume des précipitations à Guéthary serait ainsi égal à 40 % de celui mesuré à Socoa ou à Biarritz. Il est peu probable que cela représente la réalité des précipitations à Guéthary : il apparaît être la conséquence d'une sous-estimation des précipitations à Guéthary, par rapport à ce qui est enregistré par les stations météorologiques de Socoa et de Biarritz. L'origine de cette sous-estimation est à rapprocher de la présence des arbustes sur l'emplacement du pluviomètre du site pilote.

Dans la suite du chapitre, l'étude des précipitations, lorsqu'elle nécessite une précision journalière, est effectuée à partir des données du pluviomètre de Guéthary ; cependant, il est important de remarquer qu'elles sont alors sous-estimées. Lorsque les analyses requièrent une bonne approche quantitative des précipitations et que le pas de temps est supérieur à la décennie (dix jours), les données de la station de Socoa, la plus proche géographiquement, sont utilisées.

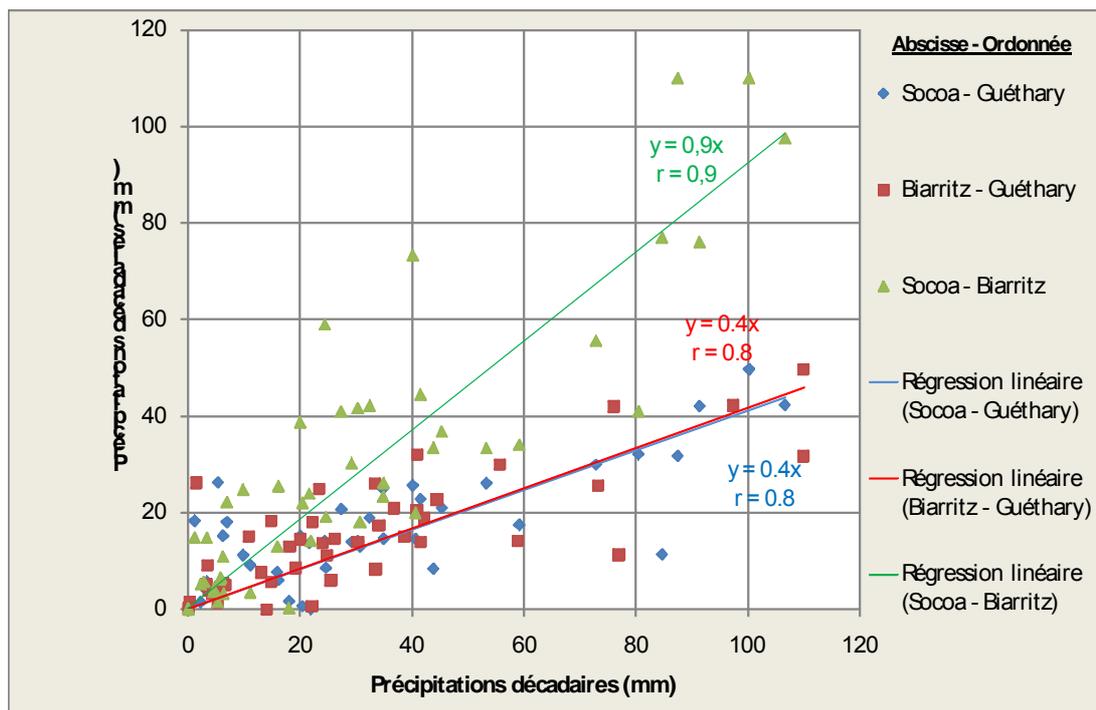


Illustration 4 : Relation entre les précipitations décennales enregistrées sur le site pilote de Harotzen Costa (Guéthary) et aux stations météorologiques de Socoa et Biarritz

La durée totale des enregistrements interprétés et présentés ci-après est de vingt mois, d'août 2006 à mars 2008. Au cours de cette période, les précipitations totales

(mesurées à Socoa) ont été plus faibles que les moyennes calculées de 1921 à 2008 : 1 788 mm d'eau sont tombés à la station météorologique de Socoa, alors que la somme des données mensuelles moyennes au cours de cette période s'élève à 2 563 mm. Les précipitations mensuelles sont inférieures aux moyennes (illustration 5), hormis pour les mois de septembre 2006, de mai et d'août 2007 et de mars 2008. En outre, les mois d'août et octobre 2006, de janvier, septembre, novembre et décembre 2007 et de février 2008 sont particulièrement secs par rapport aux moyennes mensuelles, avec des différences de précipitations supérieures à 75 mm par mois. Ces sept mois cumulent près de 90% du déficit en eau au cours de la période d'étude.

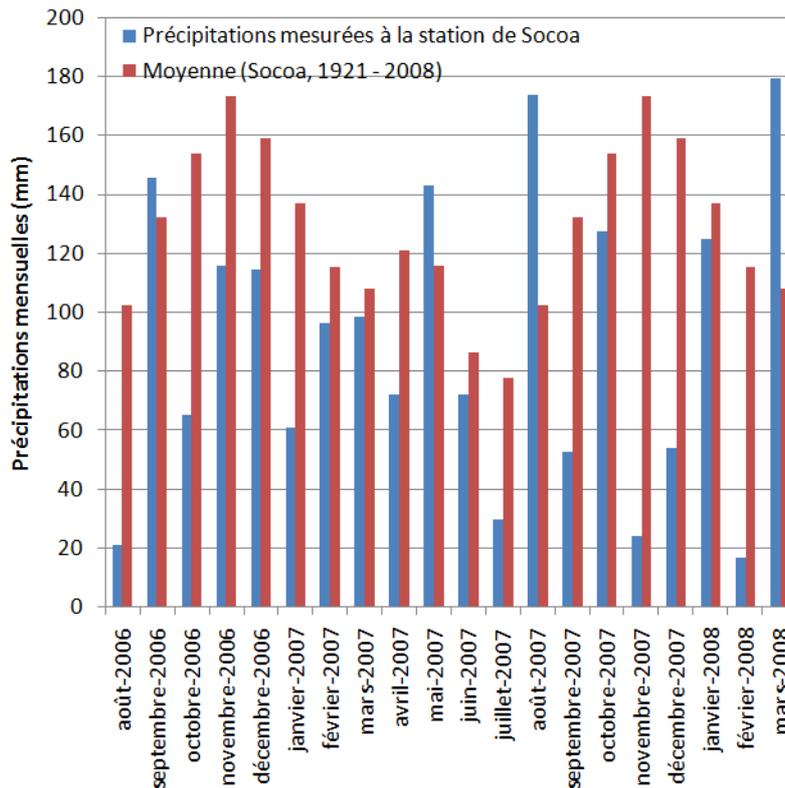


Illustration 5 : Précipitations mensuelles (Station de Socoa) au cours de la période de suivi sur le site de Guéthary et moyenne mensuelle (Station de Socoa, 1921-2008)

3.2. DONNÉES D’HUMIDITE

3.2.1. La sonde Humitub : description et mesures

Une sonde Humitub est constituée d'une succession de capteurs capacitifs disposés le long d'une canne insérée dans un forage. Ces capteurs, composés chacun de deux électrodes annulaires de 40 mm de diamètre espacées de 10 mm (illustration 6a), permettent de mesurer la permittivité de l'encaissant -en l'occurrence l'altérite- laquelle augmente avec sa teneur en eau. Permittivité et capacité électrique sont liées par la relation suivante :

$$C = \frac{\epsilon S}{e}$$

Avec :

C: la capacité du condensateur en Farads (F),

S: la surface des électrodes (en m²),

e: la distance entre les électrodes (en m),

ϵ : la constante du diélectrique (ici l'altérite) :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r,$$

ϵ_0 est la permittivité du vide ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m),

ϵ_r est la permittivité relative du diélectrique par rapport au vide.

Une sonde de température est systématiquement associée aux électrodes, la capacité étant fonction de ce paramètre.



Illustration 6 : a : Détail de la sonde Humitub : électrodes et canne ; b : mise en place de la sonde Humitub

La sonde Humitub implantée sur le site pilote de Harotzen Costa à Guéthary est constituée de six capteurs, disposés aux profondeurs 1,0 m, 3,0 m, 4,5 m, 6,0 m, 7,5 m et 9,0 m. Ils sont reliés à une centrale de mesures dont l'intervalle d'acquisition est de six heures depuis janvier 2006. En raison d'un dysfonctionnement du matériel d'enregistrement au cours des premiers mois, les chroniques sont étudiées seulement à partir d'août 2006.

La canne –de 40 mm de diamètre- a été insérée dans un forage de diamètre légèrement supérieur -50 mm- de manière à permettre sa mise en place sans points durs mais également une cicatrisation rapide (Illustration 6b). Cependant, malgré les précautions prises à la mise en place de l'instrument, le contact terrain-électrodes fait défaut à la profondeur de 4,5 m : il en résulte des mesures extrêmement variables et

incohérentes à ce niveau. C'est pourquoi, seuls cinq des six jeux de données sont analysés dans les paragraphes suivants.

L'étalonnage de chaque capteur nécessite la détermination de paramètres hydriques du matériau localisé au droit des électrodes (essais d'humidification et de dessiccation ; Vincent et al., 2006). L'extrême hétérogénéité lithologique de l'altérite, centimétrique à millimétrique, en elle-même et également parce qu'elle est à l'origine de difficultés dans le carottage qui se sont traduites par un taux de récupération inférieur à 60%, n'a pas permis l'étalonnage des capteurs de la sonde Humitub. De ce fait, les mesures sont qualitatives et l'unité des courbes d'humidité présentées ci-dessous est arbitraire (notée u.a.), fluctuant entre un minima qui correspond à celui enregistré au cours de la période d'étude, et un maxima qui correspond à la saturation des électrodes. La nature des niveaux d'altérite faisant office de diélectrique étant différente selon la paire d'électrodes considérée, une même variation en u.a. enregistrée à deux profondeurs différentes ne correspond pas forcément à des variations de teneur en eau identiques.

Nous proposons, dans les paragraphes suivants, une étude dans un premier temps qualitative des données issues de l'Humitub, à partir de l'analyse détaillée de la réponse du terrain aux épisodes pluvieux majeurs mesurés au cours de la période d'étude. Les observations sont par la suite généralisées grâce à des analyses corrélatoires. Enfin, l'analyse en composantes principales permet d'étudier les variations d'humidité en fonction de la profondeur du capteur et de la période de l'année.

3.2.2. Description qualitative des résultats

Les variations d'humidité enregistrées par les capteurs de la sonde Humitub, au cours d'une période d'un an et demi, sont l'objet de l'illustration 7. Les précipitations sont celles mesurées par le pluviomètre installé sur le site pilote (« pluviomètre de Guéthary ») et sont complétées par les données journalières de la station météorologique de Saint-Jean-de-Luz (Station de Socoa, MétéoFrance, 2008) pour pallier les interruptions d'enregistrement (notamment en août 2007) et obtenir une estimation de la quantité réelle d'eau tombée.

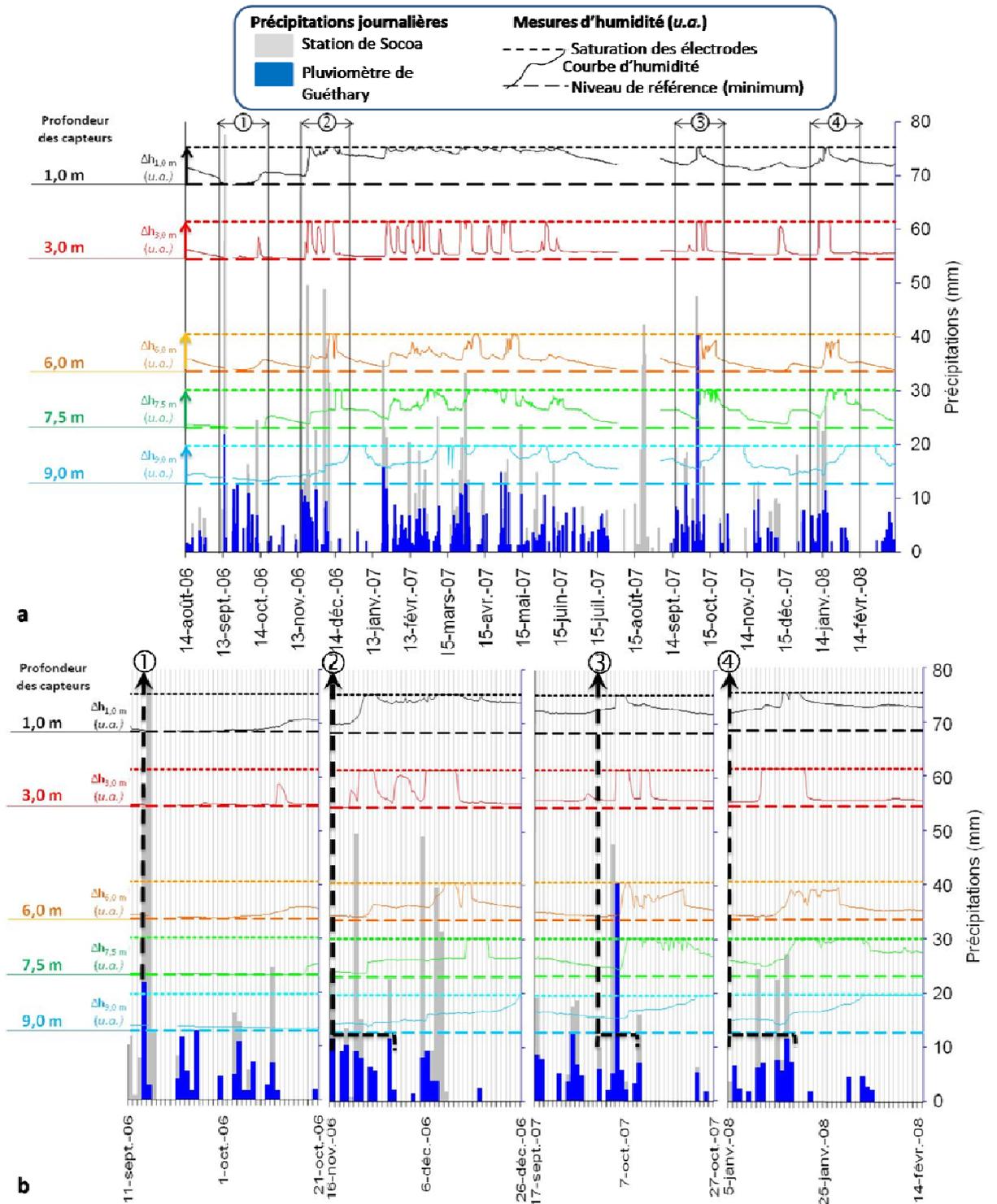


Illustration 7: a. Humidité (Δh) mesurée par les capteurs de l'Humitub aux profondeurs de 1 m, 3 m, 6 m, 7,5 m et 9 m et précipitations d'août 2006 à mars 2008. b. Détail des événements n°1 à 4. L'échelle d'humidité est en unité arbitraire (u.a.), elle est différente selon la profondeur considérée

Dans ce paragraphe, nous ne décrivons pas l'ensemble des courbes. En effet, les épisodes pluvieux, quasi continus entre janvier et juin 2007 (Illustration 7a), génèrent des réponses complexes du massif d'altérite, fortement conditionnées par leur intensité et par les évènements précédents. Ils ne sont pas détaillés ici, mais leur analyse est effectuée à l'aide d'outils statistiques dans le paragraphe suivant. Nous focalisons les études de ce paragraphe sur quatre évènements pluvieux notables (numérotés de 1 à 4, illustration 7b) qui font suite à de relatives accalmies.

L'évènement n°1 est un épisode pluvieux intense (22 mm mesurés par le pluviomètre de Guéthary et 77 mm à la station de Socoa). Il survient au cours de la première quinzaine du mois de septembre 2006, mois marqué par des précipitations abondantes, et à la suite d'un mois d'août sec (21 mm d'eau, alors que la moyenne mensuelle depuis 1921 est de 103 mm ; MétéoFrance, 2008, Illustration 7a et 5). Lors de ce premier évènement pluvieux, l'humidité mesurée par l'ensemble des capteurs est très faible, égale au niveau de référence défini comme le niveau le plus bas au cours de la période étudiée (Illustration 7b①). La réponse des capteurs diffère ensuite selon leur profondeur (Illustration 7 et 8) :

- à 1,0 et 6,0 m, l'humidité augmente une vingtaine de jours après le début de l'épisode pluvieux. Après une augmentation lente d'une durée de 10 jours, un pic est atteint 30 jours après le début de l'épisode pluvieux ;
- à 3,0 m et 7,5 m, l'humidité augmente brutalement respectivement 28 et 34 jours après le début des précipitations, et atteint un pic le même jour ;
- à 9,0 m de profondeur, l'humidité augmente près de 40 jours après le début de l'évènement pluvieux. Ensuite, alors que l'humidité décroît rapidement à la profondeur de 3,0 m, et plus lentement aux profondeurs de 1,0, 6,0 et 7,5 m, elle continue d'augmenter à la profondeur de 9,0 m.

Profondeur	Evènement n°1		Evènement n°2		Evènement n°3		Evènement n°4	
	Temps de réponse	Rémanence						
1,0 m	20 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois
3,0 m	28 jours	3 jours	<8 jours	5 jours	<8 jours	5 jours	<8 jours	5 jours
6,0 m	20 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois
7,5 m	34 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois	<8 jours	>1 mois
9,0 m	40 jours	>1 mois	1,5 mois ?	>1 mois	1 mois	>1 mois	1 mois	>1 mois

Illustration 8 : Synthèse des délais entre les précipitations et les variations d'humidité enregistrées par les capteurs de l'Humitub pour les évènements pluvieux n°1, 2, 4 et 5

Les évènements n°2 et 3 (Illustration 7a) surviennent respectivement en novembre 2006 et octobre 2007, après une accalmie au cours du mois précédent (déficit en eau de 89 mm en octobre 2006 et de 80 mm en septembre 2007 ; MétéoFrance, 2008 ; Illustration 5). L'évènement n°2 (Illustration 7b②) est un épisode pluvieux peu intense (10 mm/jour) mais qui se maintient pendant plus d'une semaine alors que l'évènement n°3 (Illustration 7b③) est, au contraire, un évènement intense (40 mm en un jour) au centre de précipitations plus faibles, mais continues au cours d'une semaine. La réponse du massif d'altérite est cependant de même nature, et diffère, là encore, en fonction de la profondeur des capteurs :

- avant l'évènement pluvieux, l'humidité mesurée aux profondeurs de 1,0, 3,0, 6,0 et 7,5 m est quasiment revenue à l'état de référence (Illustration 7b② et ③). Le temps de réponse du massif rocheux entre 1,0 et 7,5 m est plus rapide que lors de l'évènement précédent, et nécessite moins de huit jours après le début des pluies. Après ce temps de latence, l'humidité augmente rapidement, en moins d'une journée, à 3,0 m et 7,5 m, alors que trois jours sont nécessaires à 1,0 m et 6,0 m ;
- à 9,0 m de profondeur, seuls de petits décrochements dans la courbe d'humidité semblent résulter, à cours terme, des précipitations. La saturation des électrodes n'est atteinte qu'environ un mois après le début des précipitations dans le cas de l'évènement n°3, et après plus de 1,5 mois, dans le cas de l'évènement n°2, alors que d'autres épisodes pluvieux se sont produits entre temps.

L'évènement n°4 correspond à un épisode pluvieux peu intense mais continu au cours d'une période supérieure à dix jours, au cours de l'hiver 2008 (Illustration 7b④). Le mois précédent, décembre 2007, un déficit en eau de 105 mm par rapport à la moyenne mensuelle depuis 1921 est enregistré (MétéoFrance, 2008). Là encore, la réponse du terrain au droit des capteurs situés entre 1,0 et 7,5 m diffère de celle enregistrée à 9,0 m :

- alors qu'une augmentation d'humidité est observée à 3,0 m de profondeur cinq jours après le début des précipitations (12 mm cumulés), le temps de réponse au droit des autres capteurs est plus long, et survient après un cumul de 50 mm d'eau (Illustration 8). A la suite de cet évènement, l'absence de précipitations importantes au début de l'année 2008 est associée à une décroissance de l'humidité au droit des capteurs situés entre 1,0 et 7,5 m ;
- l'humidité mesurée par le capteur à 9,0 m de profondeur diminue, dans un premier temps, pendant les précipitations. Les électrodes sont saturées seulement près d'un mois après le début des précipitations, et le restent durant tout le mois de février 2008.

La description détaillée de ces quatre évènements pluvieux et des réponses en terme d'humidité démontrent l'existence de circulations d'eau au sein de l'altérite du Flysch à silex de Guéthary, malgré sa nature et ses caractéristiques géotechniques (rapport

BRGM/RP-57055-FR) qui la rapprochent des matériaux fins et donc, a priori, peu perméables.

En outre, le comportement hydrogéologique du massif d'altérite est hétérogène :

- le temps de transit de l'eau de pluie et la rémanence de l'humidité dans l'altérite se sont révélés variables avec la profondeur du capteur. Dans le détail, on observe un comportement du système hydrogéologique enregistré à 9,0 m différent de ceux observés plus superficiellement. Alors que de 1,0 à 7,5 m l'humidité semble liée aux précipitations à court terme, voire à très court terme à la profondeur de 3,0 m, à 9,0 m la relation est à moyen terme. Par ailleurs, une chenalisation complexe des circulations d'eau entre 1,0 et 7,5 m est observée : le délai de réponse aux précipitations n'est pas croissant avec la profondeur ; un transit uniquement vertical de l'eau de pluie est donc à exclure. Cette disparité des comportements observés est probablement la conséquence directe de la structure hétérogène des altérites qui engendre une chenalisation des flux hydriques par les niveaux les plus perméables de l'altérite : bancs de chailles fracturés et niveaux les plus silteux d'épaisseur centimétrique. Ces fluctuations dans les temps de latence entre précipitations et augmentation d'humidité ainsi que dans les durées de rémanence sont ainsi interprétées comme les conséquences des variations de la perméabilité du matériau, non seulement au droit du capteur, mais aussi le long du chemin pris par l'eau pour transiter jusqu'au capteur ;
- à une même profondeur, le temps de réponse varie en fonction de l'état initial du sol : lorsque le sol est relativement sec (exemple de l'évènement n°1), le temps de réponse est lent. Les phénomènes de succion entre grains au sein d'un matériau non saturé peuvent expliquer ce comportement ; en effet, les contraintes engendrées par la succion referment les pores et diminuent, de ce fait, la perméabilité du matériau.

A la suite de ces premières constatations, réalisées au cours d'une période relativement courte (un an et demi) et sèche, les travaux pour la compréhension de l'impact des circulations d'eau dans les massifs instables sont poursuivis et complétés par la pose d'un inclinomètre à proximité de la sonde Humitub (l'installation de l'inclinomètre : juillet 2008). L'objectif de la poursuite des suivis est double : d'une part, analyser les circulations au cours de périodes plus humides que celle étudiée et sur un terme plus long, et, d'autre part, le couplage des données d'humidité avec les mouvements de terrain enregistrés par l'inclinomètre permettra de corrélérer, ou non, ces deux phénomènes.

3.2.3. Analyses corrélatoires

A l'instar de ce qui est habituellement réalisé pour un système précipitations-débits, les analyses corrélatoires sont ici appliquées à l'étude des séries chronologiques de pluie et d'humidité. Ce type d'étude permet en effet de rechercher une corrélation soit d'un phénomène avec lui-même (autocorrélation), et ainsi de mettre en évidence une cyclicité et d'estimer l'inertie du système, soit entre deux phénomènes distincts

(corrélation croisée). Dans ce dernier cas, lorsque la fonction d'entrée (ici les précipitations) est un phénomène aléatoire, c'est-à-dire, qui présente une autocorrélation nulle, la forme du corrélogramme croisé est le résultat du comportement du système aquifère étudié : elle est uniquement fonction de la capacité du système à transmettre l'information donnée par le phénomène à son entrée, les précipitations.

Dans ce paragraphe, nous proposons l'analyse des données d'humidité à partir du calcul, en premier lieu, de l'autocorrélogramme. Ensuite, le calcul du corrélogramme croisé de la pluie et de l'humidité est effectué. Pour cela, l'autocorrélogramme des précipitations est calculé, afin de vérifier le caractère aléatoire de ce phénomène. Les données de précipitations utilisées pour les calculs sont celles enregistrées par le pluviomètre du site pilote. En effet, en zone littorale, les précipitations sont potentiellement localisées, et, à l'échelle de quelques heures et même de la journée, les précipitations enregistrées sur le site d'étude ne peuvent être remplacées par celles mesurées à plusieurs kilomètres, aux stations météorologiques de MétéoFrance de Biarritz et de Socoa.

Les calculs de corrélogrammes ont été réalisés avec le logiciel Tempo v3.3. (© BRGM), à partir des données obtenues au cours d'une période de près d'un an (314,25 j, soit 7542 h, de septembre 2006 à août 2007). La série de mesure étant initialement discrétisée avec un pas de 6 h, celui-ci est conservé comme pas d'échantillonnage. De ce fait, le nombre d'observation de la série temporelle est donc :

$$n = \frac{\text{durée étudiée}}{\text{pas d'échantillonnage}} = \frac{7542}{6} = 1257$$

Le choix de la période d'étude a été dicté, d'une part par la quantité de données continues disponibles (interruption des mesures à deux reprises sur l'ensemble de la chronique de l'Humitub : du 15 au 21 septembre 2006, puis du 1er août au 6 septembre 2007, suite à des avaries techniques), d'autre part par la durée des cycles hydrogéologiques : en moyenne ces derniers sont voisins de un an (Mangin, 1984). Cependant, cette période de mesure est bien sûr insuffisante pour évaluer le comportement pluriannuel du système, lequel peut présenter des cyclicités à cette échelle de temps. Pour l'analyse à long terme, la longueur minimale des chroniques doit être, selon Mangin (1984), de dix ans. L'étude réalisée ici l'est à court et moyen terme, et devra donc être complétée par un bilan sur une période plus longue.

Autocorrélogramme de l'humidité

L'autocorrélogramme de l'humidité est présenté sur l'illustration 9. L'altérite présente une forte inertie aux variations d'humidité à 1,0 m, 7,5 m et 9,0 m de profondeur (supérieure au mois), moindre à 6 m de profondeur (environ deux semaines) et très peu importante à 3,0 m (inférieure à quatre jours). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les temps de rémanence de l'humidité déterminés par l'étude descriptive du paragraphe précédent, excepté à 6,0 m de profondeur où une persistance supérieure au mois avait été observée. A cette profondeur, les électrodes ne sont que rarement saturées (la saturation n'a été atteinte que trois fois au cours de la période

d'étude pour une durée totale n'excédant pas une semaine ; Illustration 7), la surimposition d'évènements pluvieux se traduit donc fréquemment par une nouvelle augmentation de l'humidité, contrairement à ce qu'il se passe :

- à 3,0 m, profondeur pour laquelle la saturation est quasiment atteinte dès les premières précipitations : la courbe d'humidité ne peut plus évoluer à la suite d'un nouvel évènement. La décroissance de la courbe d'humidité est également très rapide et survient fréquemment avant l'arrivée d'un nouvel épisode pluvieux,
- à 1,0 m, 7,5 m et 9,0 m, profondeurs pour lesquelles les électrodes restent saturées pendant des périodes prolongées (supérieures au mois),
- à 6,0 m, la rémanence de l'augmentation d'humidité est supérieure au mois, mais l'arrivée de nouvelles pluies engendre une variation de l'humidité, et se traduit, sur l'autocorrélogramme, par une diminution de la corrélation, les valeurs étant différentes. On observe là la différence entre ce qui a été appelé la rémanence, qui renseigne sur la durée pendant laquelle l'évènement pluvieux influe sur l'humidité dans le sol, et l'inertie du système, qui est la mesure du temps pendant lequel l'humidité reste constante. Lorsque les électrodes sont saturées, ces deux durées sont confondues. La saturation des électrodes aux profondeurs de 1,0 m, 6,0 m, 7,5 m et 9,0 m masque l'évolution de la courbe d'humidité au-delà du maximum dont elle est à l'origine, et, de ce fait, une partie de l'information. C'est une limite importante à l'analyse proposée ici.

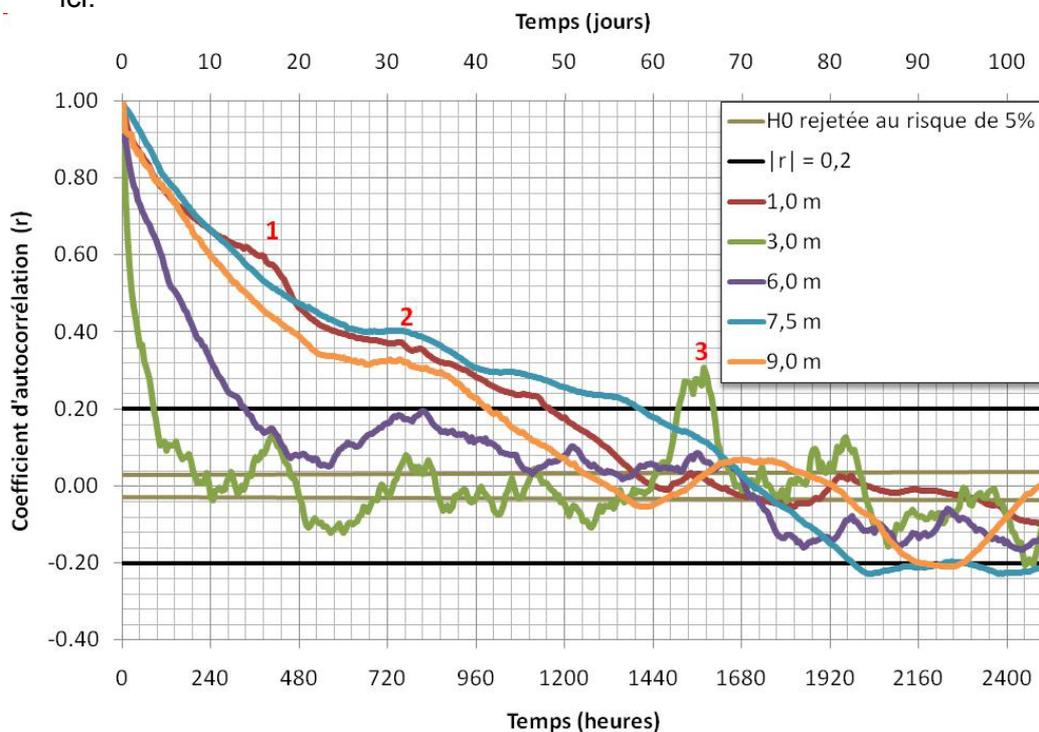


Illustration 9 : Autocorrélogramme de l'humidité mesurée aux profondeurs de 1,0 m, 3,0 m, 6,0 m, 7,5 m et 9,0 m (H0 : hypothèse selon laquelle le coefficient d'autocorrélation est nul)

Les courbes de décroissance des corrélogrammes, bien que globalement différentes, présentent, dans le détail, quelques analogies (Illustration 9) :

- une première variation (notée 1 sur l'illustration 9) apparaît après un délai d'environ 15 j, aux profondeurs de 1,0 et 3,0 m. Elle se traduit alors, à ces profondeurs, respectivement par un ralentissement de la décroissance et par un pic ;
- une variation commune à tous les capteurs apparaît après une trentaine de jours (2 sur l'illustration 9). La valeur du corrélogramme augmente alors de nouveau à 3,0 m, 6,0 m et 9,0 m, un palier apparaît à 7,5 m et la pente de décroissance diminue à 1 m ;
- enfin, à 1,0 m et à 3,0 m de profondeur, le coefficient de corrélation augmente après un délai de 65 j dans le premier cas, jusqu'à la valeur seuil définie dans l'introduction de ce paragraphe, et jusqu'à la valeur de 0,3 dans le second cas ;
- au-delà de ce délai, des corrélations négatives apparaissent à toutes les profondeurs.

Ces variations témoignent de l'existence de cycles d'humidité dans l'altérite. Certaines sont communes à toutes les profondeurs et d'autres aux seules profondeurs de 1,0 m et 3,0 m. Bien que le comportement des systèmes hydrogéologiques au droit de chacun des capteurs semble très variable, des processus cycliques, se produisant sur plusieurs mètres d'épaisseur voir à l'échelle du massif, se surimposent aux hétérogénéités locales.

Précipitations/humidité

Les précipitations (autocorrélogramme)

L'autocorrélogramme des précipitations mesurées par le pluviomètre est présenté sur l'illustration 10. Le coefficient d'autocorrélation prend une valeur proche de 0,2 dès la sixième heure et est inférieur à la valeur seuil après 18 heures (Illustration 11b). On peut donc considérer que la pluie a un caractère quasi aléatoire au cours de la période étudiée. Ainsi, la forme des corrélogrammes croisés précipitations/humidité est uniquement le résultat du comportement du système aquifère étudié.

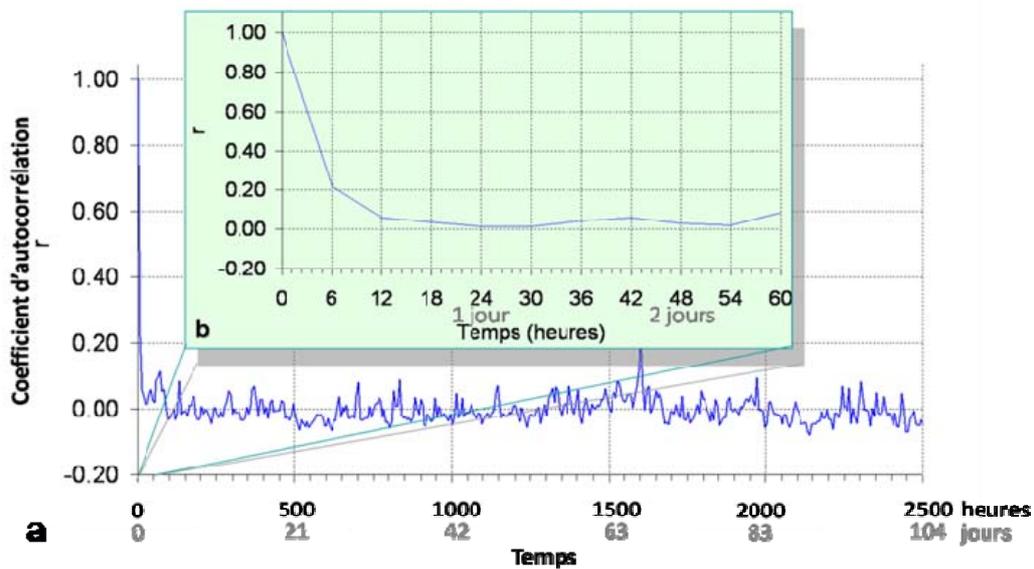


Illustration 10 : a. Corrélogramme simple des pluies de la station de Guéthary (septembre 2006-août 2007) ; b. Détail des soixante premières heures

Les corrélogrammes croisés précipitations/humidité

La recherche d'une corrélation entre deux phénomènes distincts se fait au moyen du calcul du corrélogramme croisé, ici, de la pluie et de l'humidité. La réponse à l'impulsion créée à l'entrée du système par les précipitations est, du fait du caractère aléatoire des précipitations, uniquement le résultat du comportement du système aquifère étudié.

Les corrélogrammes croisés des couples précipitations/humidité sont présentés sur l'illustration 11. L'illustration 12 est la synthèse du délai et de l'étendue de chaque pic. Ces derniers varient de façon importante avec la profondeur.

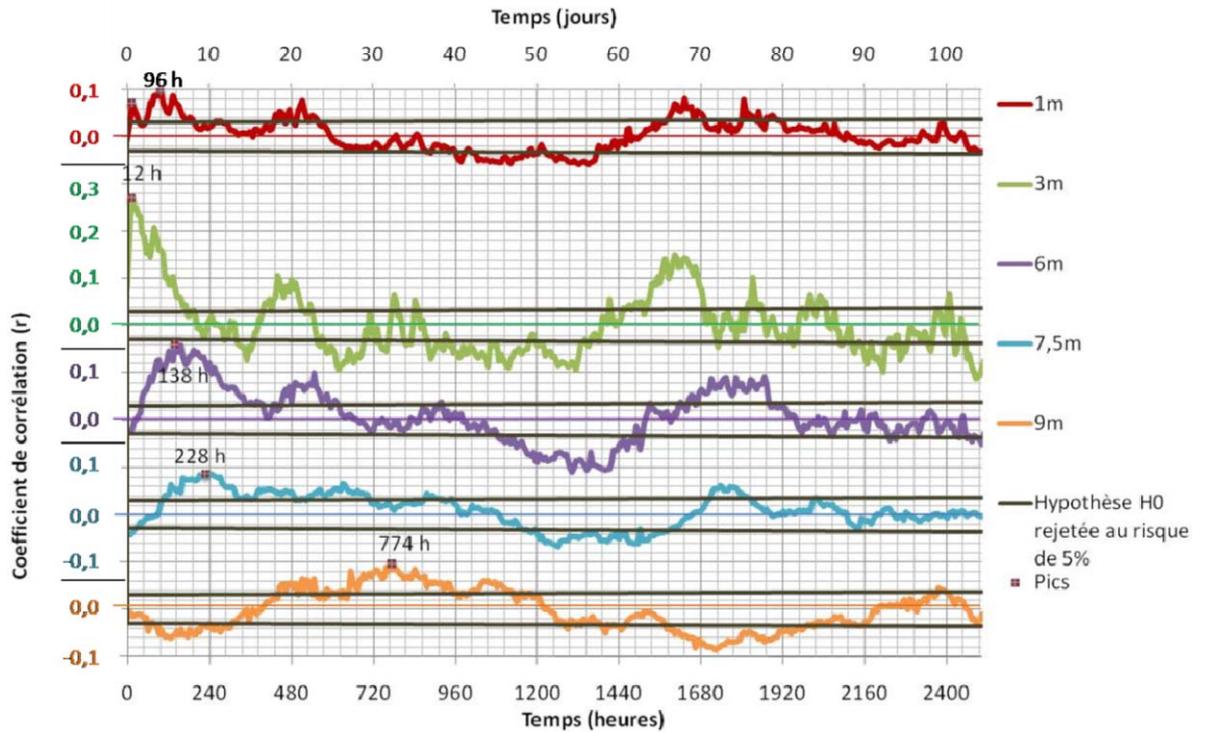


Illustration 11 : Corrélogrammes croisés pluies/humidité

Profondeur du capteur d'humidité (m)	Délai pour atteindre le pic		Vitesse minimale du transit		Étalement du pic	
	Heure (h)	Jour (j)	mètres par jour (m/j)		Heure (h)	Jour (j)
1,0	(12) 96	(0,50) 4,00	(2,00) 0,24		138	5,75
3,0	12	0,50	6,00		6	0,25
6,0	138	5,75	1,04		186	7,75
7,5	228	9,50	0,79		204	8,5
9,0	774	32,25	0,28		798	33,25

Illustration 12 : Délai entre l'impulsion (les précipitations) et l'augmentation du coefficient de corrélation jusqu'à la valeur modale (pic) et étalement du pic (estimés sur les corrélogrammes croisés)

Le tableau ci-dessus (illustration 12) montre :

- à 1,0 m de profondeur, un premier pic apparaît après un délai de 12 h, cependant le mode est obtenu après 96 h (4 j). Avant d'amorcer sa décroissance, le coefficient de corrélation reste relativement élevé pendant près de 6 j (de la douzième à la cent-cinquantième heure). L'apport en eau suite aux précipitations est relativement lent comparativement à ce qui est enregistré par

les autres capteurs (vitesse minimale : 0,24 m/j), et la vitesse de drainage est moyenne ;

- à 3,0 m de profondeur, le corrélogramme présente un pic « pointu » atteint en 12 h. La vitesse de transit de l'eau jusqu'à 3,0 m est, au minimum, de 6,00 m/j ; le drainage est également très rapide. L'humidité à 3,0 m de profondeur est la mieux corrélée aux précipitations ;
- à 6,0 m et 7,5 m de profondeur, le coefficient de corrélation augmente relativement lentement pour atteindre un pic respectivement vers le sixième et le neuvième jour. La forme des pics est étalée, les valeurs des coefficients de corrélation restent élevées pendant une durée proche de 8 j. La vitesse de transit de l'eau jusqu'à ces capteurs est relativement rapide (1,04 m/j et 0,79 m/j) ; le système est cependant moins bien drainé qu'aux profondeurs précédentes ;
- à 9,0 m de profondeur, suite aux précipitations, le coefficient de corrélation décroît pendant les dix premiers jours. Il augmente ensuite lentement pour atteindre une valeur de corrélation maximale ($r = 0,096$) plus d'un mois après les précipitations. La vitesse minimale de transit est faible, de 0,28 m/j, proche de celle enregistrée à 1,0 m. L'étalement du pic est supérieur au mois.

L'étude du délai avant les pics et l'étalement de ceux-ci révèle une hétérogénéité du comportement de l'altérite aux différentes profondeurs concernées. D'une part, la vitesse de transit de l'eau de pluie entre le sol et chaque capteur n'est pas identique : elle est très rapide entre la surface et 3,0 m, l'est six fois moins à 6,0 m et à 7,5 m et est plus de vingt fois inférieure à 1,0 m et 9,0 m. Ces observations excluent un transit purement vertical ainsi que des cheminements de l'eau identiques : en effet, l'eau arrivant, par exemple, à 3,0 m plus vite qu'elle n'arrive à 1,0 m, elle n'a pas transité par le même itinéraire. D'autre part, l'étendue des pics, reliée au drainage du système hydrogéologique, est également variable : le drainage est rapide à 3,0 m, nécessite environ une semaine à 1,0 m, 6,0 m et 7,5 m et plus d'un mois à 9,0 m. Ces résultats sont à mettre en relation avec les observations effectuées sur les autocorrélogrammes. En effet, à partir de ces derniers, on a pu mettre en évidence des variations d'inertie et donc de capacité de l'altérite à stocker puis à restituer l'eau.

Afin d'analyser le comportement de la courbe post-pic, les corrélogrammes croisés sont tracés à partir de leur temps T_0 respectif, qui correspond au temps de la valeur modale, sur l'illustration 13. Il apparaît que l'évolution des courbes post-pics est identique d'une profondeur à l'autre. Ces variations simultanées et communes à toutes les profondeurs des valeurs des coefficients de corrélations post-pics montrent, là encore, que bien que le comportement des systèmes hydrogéologiques au droit de chacun des capteurs semble très variable, des processus se produisant à l'échelle du massif se surimposent aux hétérogénéités locales : on observe, grâce au corrélogrammes croisés, des augmentations de l'humidité, suivant des cycles fonction de la première arrivée d'eau au droit de chaque capteur.

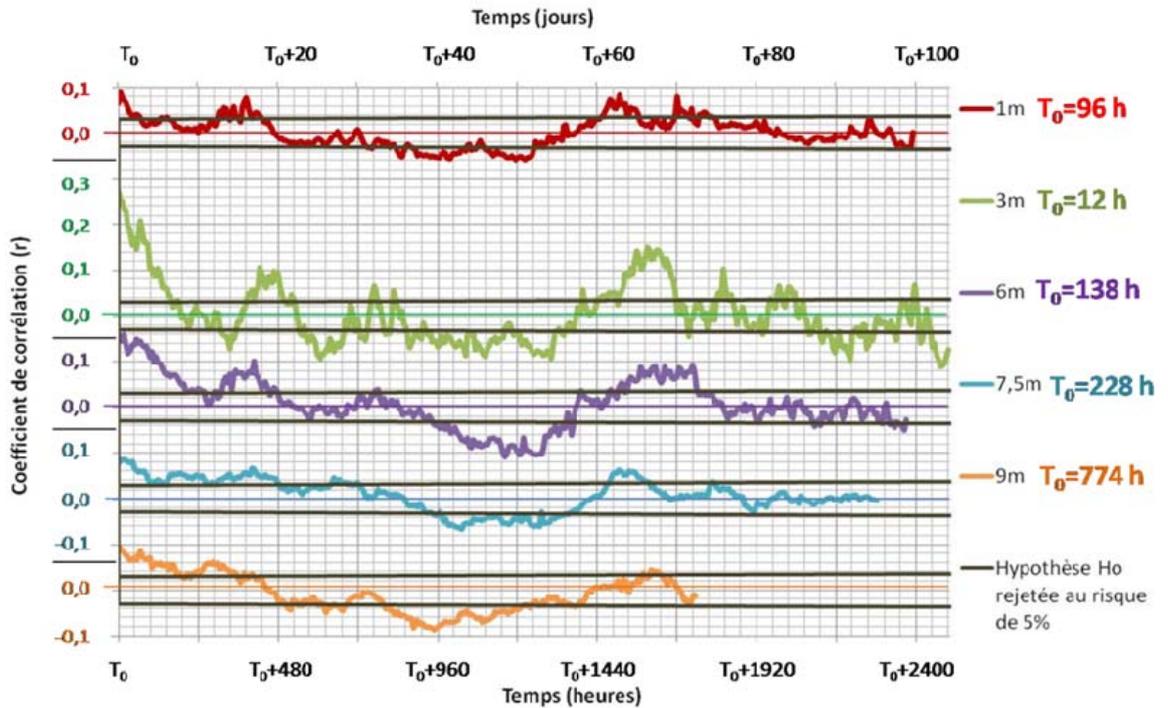


Illustration 13 : Corrélogrammes croisés pluie/humidité post pic (T_0 : temps de la valeur modale)

Confirmant les remarques effectuées lors des descriptions qualitatives des données, les autocorrélogrammes et les corrélogrammes croisés démontrent des hétérogénéités dans le comportement hydrogéologique des altérites le long d'une même verticale aux droits des différents capteurs de l'Humitub. Elles sont interprétées comme des variations des vitesses de transit, des stocks disponibles et restitués, et de la perméabilité du matériau d'une profondeur à l'autre. Cependant, des phénomènes se produisant à moyen terme (un à deux mois) après les précipitations affectent l'ensemble du massif.

Ces circulations d'eau dans un matériau qui permet à la fois des transits rapides et le stockage apparaissent particulièrement néfastes à la stabilité du massif. En effet, l'ensemble des actions déstabilisantes de l'eau souterraine est réunie : surcharge liée au poids de l'eau, diminution de la résistance du matériau, les transits rapides pouvant générer des forces liées au gradient hydraulique (forces d'écoulements).

3.2.4. Analyses factorielles

Afin d'estimer la ou les périodes de l'année qui sont caractérisées par des conditions hydrogéologiques défavorables, une étude en composantes principales de l'humidité a été réalisée.

Les analyses factorielles permettent d'étudier les relations entre les valeurs d'humidité mesurées aux différentes profondeurs ainsi que leur évolution temporelle. Les calculs

sont effectués avec les données obtenues entre le 7 août 2006 et le 22 avril 2008. Deux-mille-trois-cent-soixante-six individus, ayant chacun une composante sur les cinq variables que constitue l'humidité à 1,0 m, 3,0 m, 6,0 m, 7,5 m et 9 m constituent la base.

Cette analyse montre que :

- l'humidité importante enregistrée à 9,0 m, alors qu'elle est faible aux autres profondeurs, est interprétée comme la conséquence des flux hydriques lents qui font transiter l'eau vers le capteur le plus profond, alors que l'absence de nouvelles précipitations permet de conserver un taux d'humidité faible par ailleurs. Cette situation est apparue en particulier en octobre et novembre 2007. En outre, on observe que les valeurs du mois de novembre sont toutes caractérisées par une faible humidité dans l'ensemble du massif. Or, ce mois est en moyenne le plus pluvieux de l'année ; cependant, au cours de la période étudiée, il a été caractérisé par d'importants déficits en eau : la répartition des axes, des individus et des modalités est le résultat des conditions climatiques et hydrogéologiques particulières au cours de la période d'étude, et n'est pas forcément transposable à ce qui se passe en moyenne depuis plusieurs années ;
- le printemps, et dans une moindre mesure l'hiver, sont caractérisés par une humidité importante de l'altérite au droit de chaque capteur, en outre, aucune tendance n'apparaît entre ces deux saisons et les fortes valeurs d'humidité à 3,0 m et 9,0 m ;
- l'augmentation globale de l'humidité au cours du mois d'avril s'est accompagnée par une humidité remarquable à 9,0 m et une faible humidité à 3,0 m. Ce phénomène peut être interprété comme le résultat d'un transit de l'eau de pluie et de la restitution de l'eau des stocks lents prédominant sur les transits rapides au cours de ce mois d'avril ;
- en moyenne sur le mois et sur la saison, aucune tendance n'apparaît en faveur de fortes valeurs d'humidité prédominants à 3,0 m et 9,0 m de profondeur associées à de faibles valeurs à 7,5 m et 6,0 m, ou inversement. A l'échelle mensuelle, au cours de la période étudiée, lorsqu'on observe une augmentation de l'humidité, elle est générale à toutes les profondeurs, excepté au mois d'avril, au cours duquel un déficit relatif d'humidité apparaît à 3,0 m.

Une telle période d'étude, relativement courte, inférieure à deux ans, ne permet ni d'étudier les variations d'humidité à long terme, ni d'estimer le comportement moyen du massif en fonction des saisons. Elle est, en effet, caractérisée par un important déficit en eau de pluie ; l'apport en eau par les précipitations dans le massif d'altérite n'est pas représentatif de ce qui est observé en moyenne (exemple ci-dessus du mois de novembre). Une étude à long terme est nécessaire à l'estimation des périodes favorables, en moyenne, à l'augmentation de l'humidité dans le terrain. Néanmoins, cette étude montre que, suite à des conditions climatiques exceptionnelles, la réponse en ce qui concerne l'humidité peut être

différente de ce que l'on peut attendre « en moyenne », ce qui peut avoir des conséquences sur les processus de rupture et donc d'instabilités.

3.2.5. Conclusion

Les descriptions qualitatives étayées par les analyses statistiques des données d'humidité permettent tout d'abord de mettre en évidence un comportement hydrogéologique du massif d'altérite hétérogène et anisotrope. Ces hétérogénéités sont interprétées comme les conséquences de différences :

- des potentiels inertiels des réserves (différences dans la quantité et la restitution des stocks disponibles) ;
- des temps de transit entre le sol et les capteurs, déduites des variations des temps de latence entre les précipitations et le pic d'humidité en fonction de la profondeur ;
- de perméabilité de l'altérite au droit des capteurs, révélées par l'étalement des pics des corrélogrammes croisés.

Cette disparité des comportements observés est probablement la conséquence directe de la structure hétérogène des altérites qui est à l'origine d'une chenalisation des flux hydriques par les niveaux les plus perméables de l'altérite : bancs de chailles fracturés et niveaux les plus silteux d'épaisseur centimétrique. Ces niveaux sont de plus affectés par les plis et déformations pyrénéens, hérités de la roche-mère. A cela, peut s'ajouter localement d'autres hétérogénéités telles que la présence d'un bloc de marno-calcaire rémanent dans l'altérite ou encore des variations dans le tassement du matériau à la suite des processus d'altération, dont on sait qu'une partie est sous-consolidée (rapport BRGM/RP-57055-FR). En outre, à une même profondeur, le temps de réponse varie en fonction de l'état initial du sol : lorsque le sol est relativement sec (exemple de l'évènement n°1), le temps de réponse est lent. Ce phénomène peut être expliqué par la succion entre grains ; en effet, au sein d'un matériau non saturé, les forces de succion referment les pores et diminuent ainsi sa perméabilité. Néanmoins, à l'échelle du massif d'altérite, au cours de la période d'étude, on observe :

- une période caractérisée par une faible humidité du massif d'altérite : l'été et l'automne, avec, en particulier à l'automne, des possibilités d'augmentation locale et rapide de l'humidité ;
- une période caractérisée par une humidité du massif élevée : le printemps. A cette saison, certains niveaux de l'altérite peuvent présenter une humidité élevée permanente, comme le montre les enregistrements obtenus à 1,0 m et 9,0 m de profondeur. Au cours de telles périodes, des variations locales d'humidité peuvent être observées, comme notamment le déficit à 3,0 m de profondeur au mois d'avril. Dans ce cas, les transits lents ont permis de conserver une forte valeur de l'humidité par ailleurs, mais ceux-ci étant rapides à 3,0 m, l'humidité a décré et n'a pas été réalimentée par de nouvelles précipitations.

Comme l'analyse des corrélogrammes croisés a permis de le montrer, l'humidité du massif est, en partie, directement liée aux précipitations à court et moyen terme. L'analyse du système hydrogéologique des altérites par l'Humitub est cependant ici limitée d'une part, par la saturation rapide des capteurs à certaines profondeurs, et, d'autre part, par la durée de la période d'étude égale à un cycle hydrologique. Afin de couvrir une période permettant une étude à long terme (environ dix ans, d'après Mangin, 1984), le suivi des variations d'humidité à l'aide de l'Humitub est poursuivi.

3.3. LE DISPOSITIF DE TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE

3.3.1. Méthodologie

Les propriétés électriques d'un matériau dépendent de sa saturation en eau, la tomographie de résistivité électrique est, de ce fait, couramment utilisée dans le cadre du suivi des variations de teneur en eau saisonnières dans la zone non saturée (e.g. : Daily *et al.*, 1992, Bobachev *et al.*, 2005) ou encore, de suivi d'infiltration (Barker and Moore, 1998, Michot *et al.*, 2003, Cassiani *et al.*, 2006). Cette technique de tomographie de résistivité électrique est appliquée sur le site de Harotzen Costa à Guéthary avec, pour objectif, le suivi des variations hydriques au sein des altérites à l'échelle temporelle mensuelle à saisonnière et à l'échelle spatiale de la falaise.

Les expérimentations menées par Michot *et al.* (2003) sur des formations argileuses (horizon d'altération d'un calcisol) ont montré une évolution moyenne de la résistivité de $1,7 \Omega.m$ pour une variation de l'humidité volumique de 1%. Cependant, avant d'interpréter toute variation de résistivité comme des variations de teneur en eau, notamment lorsque les variations sont faibles, la détermination du seuil de variation significatif est nécessaire. Il s'agit de faire la part de ce qui, dans la variation, est dû aux bruits de mesure et urbain et ce qui est dû aux variations des conditions *in situ* pour différents dispositifs. Pour cela, des tests de répétabilité ont été effectués.

3.3.2. Matériel

Le dispositif de tomographie électrique utilisé sur le site d'harotzen Costa est composé de quarante-huit électrodes et de trois câbles (une rallonge et deux câbles destinés à la connexion des électrodes) enterrés dans une tranchée, ce qui a permis de le laisser à demeure jusqu'à juin 2008. Les électrodes sont espacées de 2,5 m et protégées et isolées par un adhésif thermocollant. Le dispositif total est long de 117,5 m, pour un dénivelé total de 28 m (illustrations 3 et 14).



Illustration 14 : Dispositif de tomographie électrique : connexion des électrodes au câble : a. avant protection des connectiques b. protection avec un adhésif thermocollant imperméable

Les acquisitions électriques sont réalisées avec un Syscal Pro (Iris Instrument®). Ce résistivimètre possède dix canaux de réception qui permet la mesure simultanée de la différence de potentiel de dix dipôles adjacents. C'est cette procédure qui réduit significativement le temps de mesure comparativement à un résistivimètre classique. De plus, la configuration du Syscal Pro permet de diminuer l'influence, sur la mesure, de la polarisation des électrodes grâce à deux caractéristiques d'injection. D'une part, le courant est injecté en créniaux alternativement positif et négatif. D'autre part, les électrodes sont utilisées selon un ordre tel qu'une électrode ayant été utilisée pour injecter le courant ne soit pas immédiatement commuée en électrode de réception selon les recommandations de Dahlin (2000).

3.3.3. Dispositifs

La structure du massif étudié et les contraintes techniques ont orienté le choix des dispositifs de mesures électriques. Le dispositif doit en effet avoir les caractéristiques suivantes :

- détection de l'interface de la roche-mère et de l'altérite qui est susceptible de présenter de forts dénivelés,
- bon rapport signal/bruit de façon à détecter les variations de résistivités significatives les plus faibles possibles,
- compromis satisfaisant entre précision et profondeur d'investigation.

Quatre dispositifs ont ainsi été testés : les dispositifs dipôle-dipôle, pôle-pôle, pôle-dipôle et gradient (illustration 15).

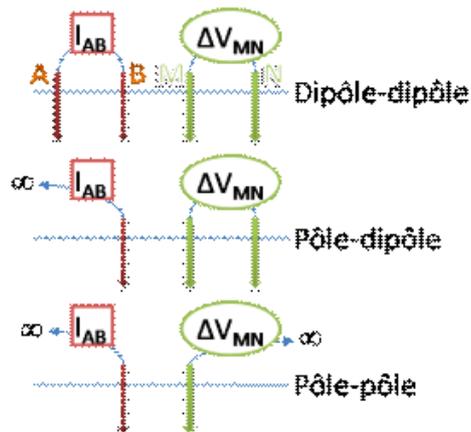


Illustration 15 : Dispositifs

La majorité des tests de répétitivité a été effectuée à partir du dispositif dipôle-dipôle, qui est le plus rapide à mettre en place (pas d'électrodes à l'infini) et à effectuer les mesures (environ quinze minutes). La rapidité de mise en œuvre de ce dispositif a permis d'effectuer jusqu'à onze acquisitions en une journée.

3.3.4. Paramètres influant la mesure de résistivité apparente

La résistivité électrique dépend, en plus de la teneur en eau du matériau, de la lithologie et de la température du massif. Afin de ne considérer que les variations de résistivité liées aux variations hydriques, il est nécessaire de contrôler ou de corriger les variations induites par ces autres paramètres :

- les valeurs de résistivité apparente sont majoritairement conditionnées par les propriétés pétrographiques, structurales et texturales de la formation. L'ensemble de ces propriétés constituant ce qu'on appellera ici la lithologie ne varie pas à court terme. Cependant, la zone étudiée est potentiellement instable, et des mouvements de terrain lents (fluage, ouverture de discontinuités en profondeur) ne peuvent être exclus. Lors des calculs, nous ferons donc l'hypothèse d'une constance de la structure et de la texture du massif rocheux au cours de la période couverte par la campagne de mesure,

- le site est localisé sur un relief côtier ; l'électrode située à la cote altimétrique la plus faible est à moins de 10 m des plus hauts niveaux marins. Le marnage, qui est de 3,7 m en période normale (Idier et Pedreros, 2005), engendre des mouvements de la masse d'eau de mer à proximité du dispositif. Ces variations du niveau marin peuvent influencer sur nos expérimentations. Par ailleurs, l'étal ne durant qu'une heure, il est difficile d'effectuer toutes les mesures dans des conditions de marée totalement identiques. Cependant, à défaut d'être en mesure de s'affranchir de ce phénomène, l'heure de chaque acquisition est relevée de façon à connaître, à tout moment, la hauteur d'eau,

- de nombreuses études ont montré l'influence de la température sur la résistivité électrique (e.g. : Sen and Goode, 1992 ; Sheets and Hendrickx, 1995 ; Perrier *et al.*,

2004). La température du sol est mesurée toutes les six heures par les capteurs de l'Humitub. Les variations de températures diurnes sur le site expérimental ne sont pas significatives (inférieure à 0,1°C en 24 heures) : elles n'auront donc aucune influence sur les tests de répétitivité qui sont réalisés pendant quelques heures consécutives. Cependant, les variations mensuelles peuvent atteindre 9°C à 1 m de profondeur, 4°C à 3 m et 2°C à 4,5 m de profondeur ; dans le cadre de comparaisons saisonnières, les valeurs de résistivité à proximité de la surface devront donc être corrigées.

3.3.5. Résultats et interprétations

Section de résistivité et interprétation géologique

L'étude géologique des processus d'altération et des morphologies associées a permis une bonne connaissance de la morphologie des massifs rocheux composés par le complexe marno-calcaire à faciès flysch et altérite associée (rapport BRGM/RP-57055-FR). Ainsi et avec l'aide du log lithologique relevé le long d'un forage à la tarière réalisé à proximité de la dix-huitième électrode une interprétation lithologique de la section de résistivité est proposée (illustration 16).

Trois domaines géologiques sont distingués :

- l'altérite formée par les argiles silteuses caractérisées par une gamme de résistivité électrique de 20 à 150 Ω .m.,
- les marno-calcaires à faciès flysch de l'horizon karstifié, avec des résistivités électriques supérieures à 90 Ω .m.,
- l'eau qui circule probablement dans les conduits karstiques (initialement formés par les processus d'altération et aujourd'hui vidés de l'altérite résiduelle), caractérisée par des valeurs de résistivité électrique inférieures à 20 Ω .m.

La zone située entre le front d'altération (toit de la roche-mère) et le front de saprolitisation (base de l'altérite argilo-silteuse du Flysch à silex de Guéthary), dénommée horizon karstifié, est caractérisée par la présence d'argiles-silteuses dans des conduits formés dans les marno-calcaires. De par la structure de l'horizon karstifié, la transition entre les argiles-silteuses de l'altérite et les marno-calcaires est une surface complexe, non plane à grande comme à petite échelle. La limite entre marno-calcaires et argiles-silteuses ne peut ainsi être tracée précisément.

Par ailleurs, à ce jour, aucun exutoire karstique n'a été observé en pied de falaise ou sur l'estran. Cependant cet aquifère a été nettement identifié par ailleurs et le forage réalisé en juillet 2008 pour la mise en place de l'inclinomètre, à quelques mètres du dispositif de tomographie, a permis de mettre en évidence la présence de vides dans les marno-calcaires.

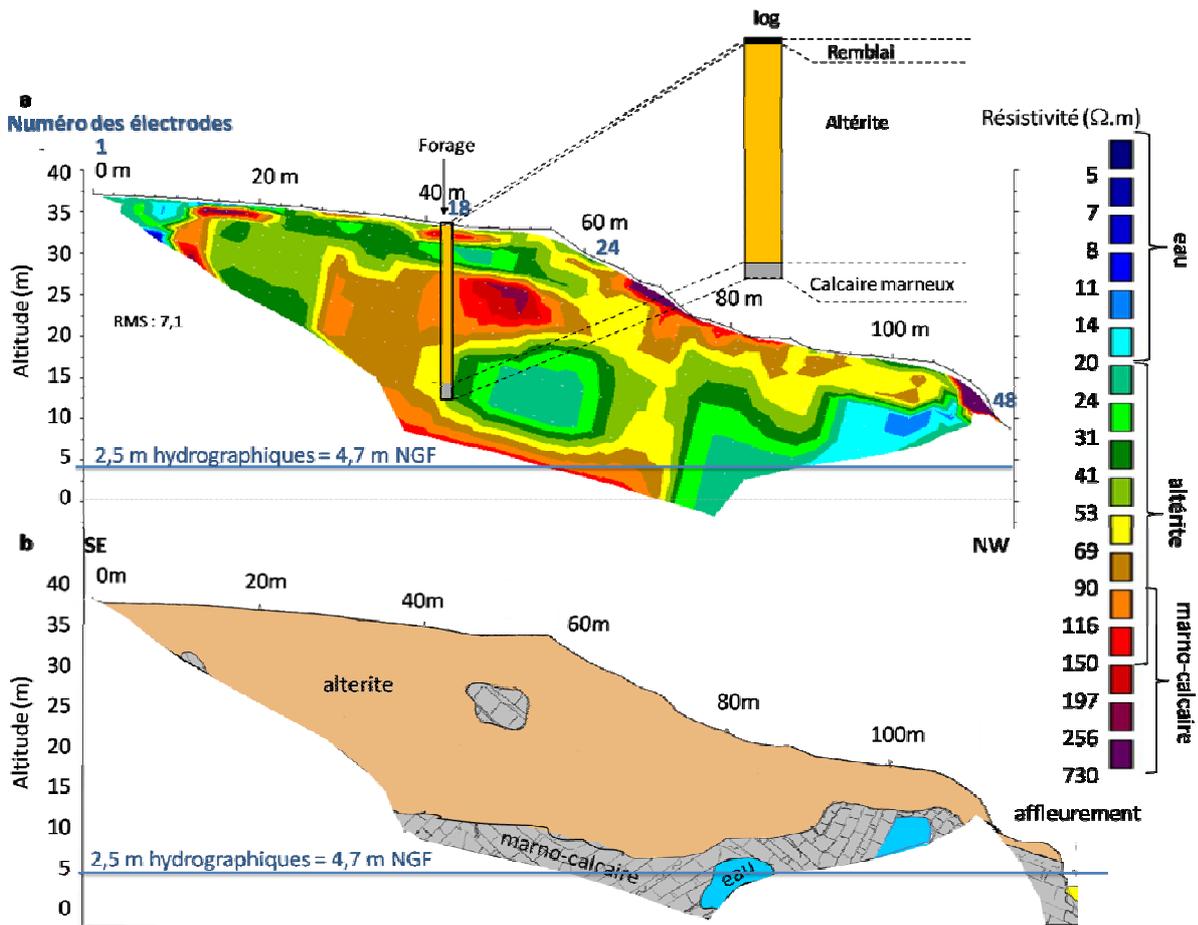


Illustration 16 : a : Section de résistivité électrique acquise en juillet 2007 avec un dispositif dipôle-dipôle ; b : interprétation lithologique proposée

Résultats des tests de répétitivité et discussion

Les résultats des tests de répétabilité montrent que :

- les valeurs de résistivité apparente mesurées par la première acquisition de la journée effectuée avec le dispositif implanté à demeure sont significativement différentes des acquisitions suivantes ou des acquisitions réalisées avec un dispositif mis en place parallèlement. Le matériel peut être mis en cause. Il est probable qu'un phénomène de polarisation du système matériel-terrain se mette en place lors de la première sollicitation électrique de la journée. Une oxydation, même partielle, du matériel peut créer une barrière électrique lors de la première injection, barrière qui est rapidement détruite lors des acquisitions suivantes. En outre, lors du démontage du matériel en juin 2008, nous avons pu observer des suintements d'eau à la faveur de crevasses sur les câbles à proximité des zones d'attache des électrodes (illustration 17) ;

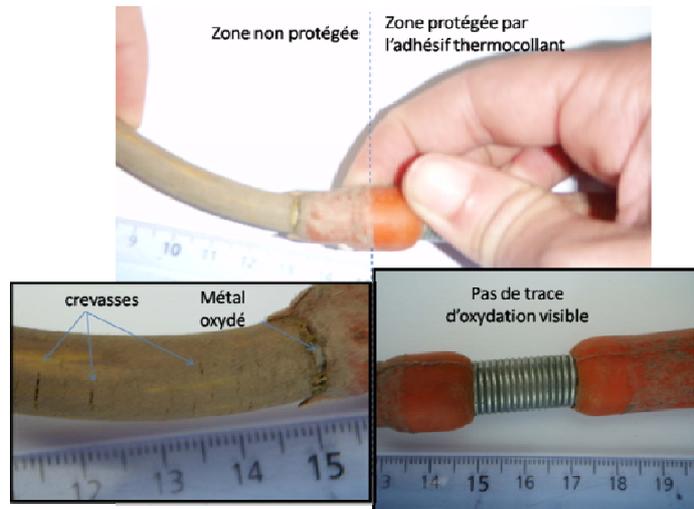


Illustration 17 : Câble du dispositif de tomographie électrique : détérioration de la zone non protégée

▪ la zone bruitée subsiste malgré la suppression de la première mesure de la journée. Les courants enregistrés à la base nord-ouest du profil semblent être provoqués, en raison de leur localisation, par des circulations d'eau dans les conduits karstiques. Ces circulations, si elles existent, sont probablement complexes du fait de la proximité de l'océan. Afin de comprendre les phénomènes qui engendrent ce bruit dans les mesures, des tests complémentaires ont été effectués : des mesures de polarisation spontanée vraies (par opposition aux valeurs de « polarisation spontanée » enregistrées par le SyscalPro) ont été réalisées avec des électrodes non polarisables (illustration 18). Des courants de 200 mV ont été enregistrés en bas de falaise, alors qu'aucun courant n'a été injecté. En sommet de falaise, zone périurbaine, aucun courant important n'a été mesuré : il est donc peu probable que les courants enregistrés soient d'origine anthropique. Ils n'apparaissent, par ailleurs, que lorsque le niveau de l'eau de mer est supérieur à 2,5 m hydrographique, soit 4,7 m NGF.

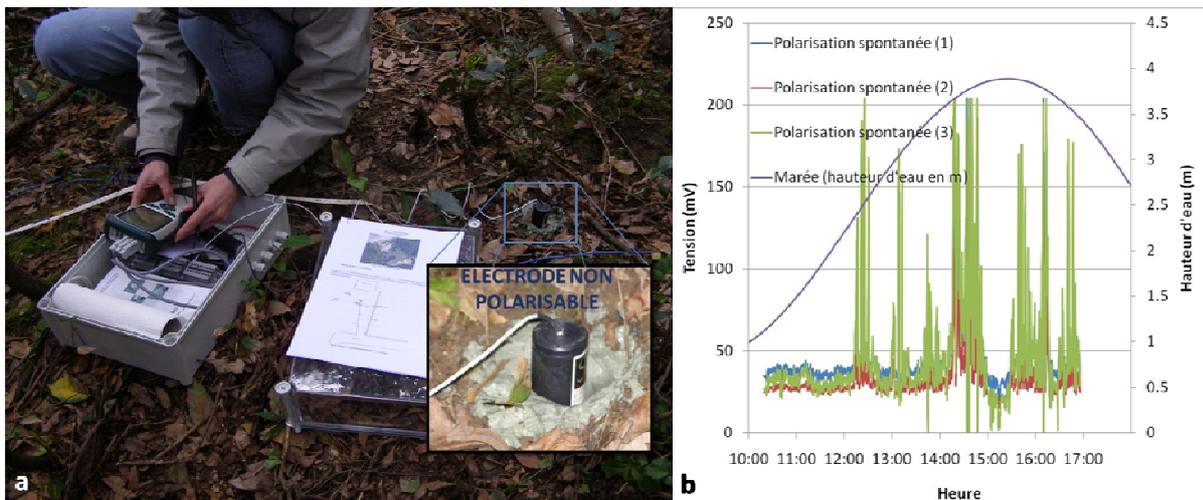


Illustration 18 : Mesures de polarisation spontanée ; a. dispositif ; b. enregistrements de la polarisation spontanée, (1) : $\Delta V_{12} = V_2 - V_1$; (2) : $\Delta V_{13} = V_3 - V_1$; (3) : $\Delta V_{32} = V_2 - V_3$

3.3.6. Conclusions

Dans ce terrain complexe, le suivi des variations hydriques par des mesures de résistivité électrique a été confronté à des difficultés inhérentes au matériau étudié et à l'implantation du matériel. En effet, d'une part une dispersion importante des valeurs de résistivité électrique est enregistrée au cours de la première mesure de la journée. Elle est interprétée comme étant la conséquence de la dégradation du matériel, malgré les précautions prises pour le protéger. D'autre part, des courants spontanés bruyent le signal en pied de falaise. Ils sont interprétés comme étant créés par des circulations hydrogéologiques dans l'horizon karstifié. Le bruit total qui résulte de ces phénomènes ne permet pas l'étude des variations de résistivité liées aux variations hydriques. En outre, le dispositif de tomographie électrique a subi de graves avaries en mai 2008 ; il a du être démantelé fin juin 2008 et ne sera pas remplacé.

Cependant, bien que ces phénomènes aient empêché les suivis saisonniers des variations hydriques, ils ont permis d'émettre l'hypothèse de l'existence d'un aquifère karstique sur le site de Guéthary. Par ailleurs, ces difficultés doivent être prises en compte lors de toutes mesures de résistivité électrique du sol, notamment dans le cadre de suivis temporels.

3.4. SUIVI PIEZOMETRIQUE

3.4.1. Objectif et implantation

Les suivis réalisés sur le site pilote de Guéthary à partir de la sonde humitub, ont mis en évidence une chenalisation des circulations hydrogéologiques d'une part, dans l'altérite et, d'autre part, probablement aussi au sein de l'horizon karstifié. L'accès direct à de tels aquifères est difficile : le positionnement de piézomètres y est hasardeux.

Sur ce site, le forage carotté effectué entièrement dans l'altérite du Flysch à silex de Guéthary - il n'a pas atteint la roche-mère – a été transformé en piézomètre le 5 juillet 2006. Le niveau piézométrique y est suivi depuis cette date, bien qu'il soit rarement suffisamment élevé pour intercepter la base crépinée du piézomètre.

Deux forages ont été réalisés ultérieurement à proximité (forage d'exploration à la tarière en octobre 2007 et forage destructif pour l'implantation de l'inclinomètre en juillet 2008 ; illustration 3). Une coupe schématique dessinée à partir de ces forages est présentée sur l'illustration 19. Bien que le piézomètre n'ait pas atteint l'horizon karstifié, les forages proches l'ont atteint à des cotes altimétriques moindres. Notamment, le forage de reconnaissance effectué à moins de 5 m de distance a permis de localiser les marno-calcaires à une cote altimétrique de 16 m NGF, soit plus de 9 m au-dessus du niveau de base du piézomètre. La base de ce dernier est donc probablement relativement proche de cet horizon.

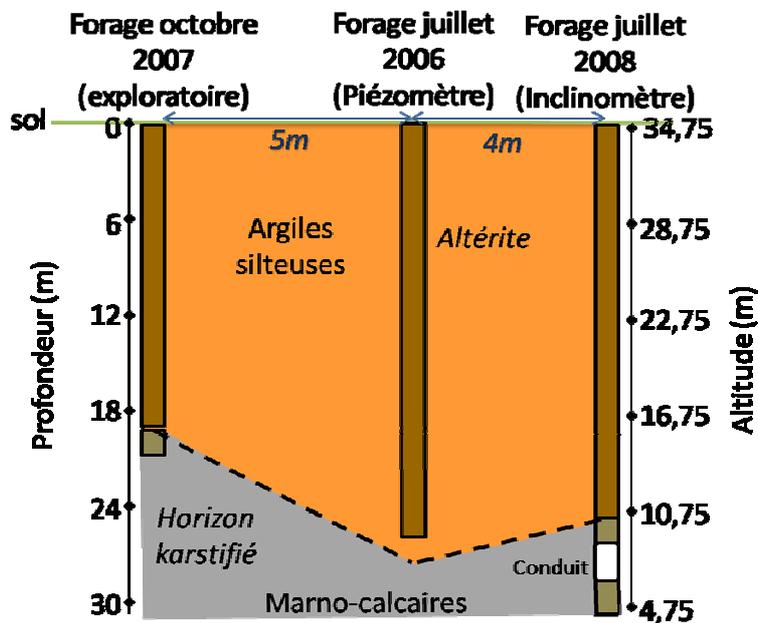


Illustration 19 : Coupe schématique de la Muserie

3.4.2. Suivi piézométrique

A la fin de la foration, le niveau non stabilisé de l'eau dans le forage est à une profondeur de 12 m pour une profondeur totale de 26 m par rapport au sol. Un mois plus tard, cette eau – au moins pour partie de l'eau de foration - est presque totalement évacuée : son niveau d'eau est mesuré à 25 m de profondeur. A la base du piézomètre, sous la crépine, un tube plein de 1 m de long (de 25 m à 26 m) et obturé en pied a été mis en place pour éviter les arrivées de boue de pied de forage. Ce tronçon de tube est toujours en eau.

La cote 9,75 m NGF, correspondant à la profondeur de 25 m, est ainsi considérée comme le niveau de référence : seules les fluctuations du niveau d'eau au-dessus de cette altitude sont interprétées comme équivalent à des variations de l'altitude de la surface piézométrique d'une nappe. Au cours de la période d'étude, la cote de la surface de l'eau a dépassée à deux reprises le niveau de référence (illustration 20) :

- en mai 2007, une augmentation du niveau d'eau de 10 cm est mesurée ; peu significative, cette augmentation n'est, cependant, dans un premier temps, pas interprétée comme une variation d'une hypothétique surface piézométrique,

- en juin 2008, une augmentation du niveau d'eau de 76 cm est mesurée. Cette seconde élévation du niveau d'eau dans le piézomètre coïncide avec un printemps 2008 particulièrement humide (AUTANT, 2008a, b, c et d) :

- le mois de mars est très pluvieux (173 mm contre 108 mm en moyenne à la station de Socoa),
- les mois d'avril, mai et juin sont marqués par des événements climatiques importants (orages avec fortes pluies),
- les précipitations abondantes du mois de juin ont provoqué une montée rapide des eaux sur le département des Pyrénées Atlantiques et de nombreuses inondations.

Dès lors, il apparait probable que cette forte augmentation du niveau d'eau dans le piézomètre soit la conséquence de l'élévation du niveau d'une nappe. Comme cela a été remarqué lors de l'étude des précipitations au cours de la période de suivi des instruments du site pilote de Guéthary, le mois de mai 2007 est également caractérisé par de fortes précipitations, supérieures à la moyenne.

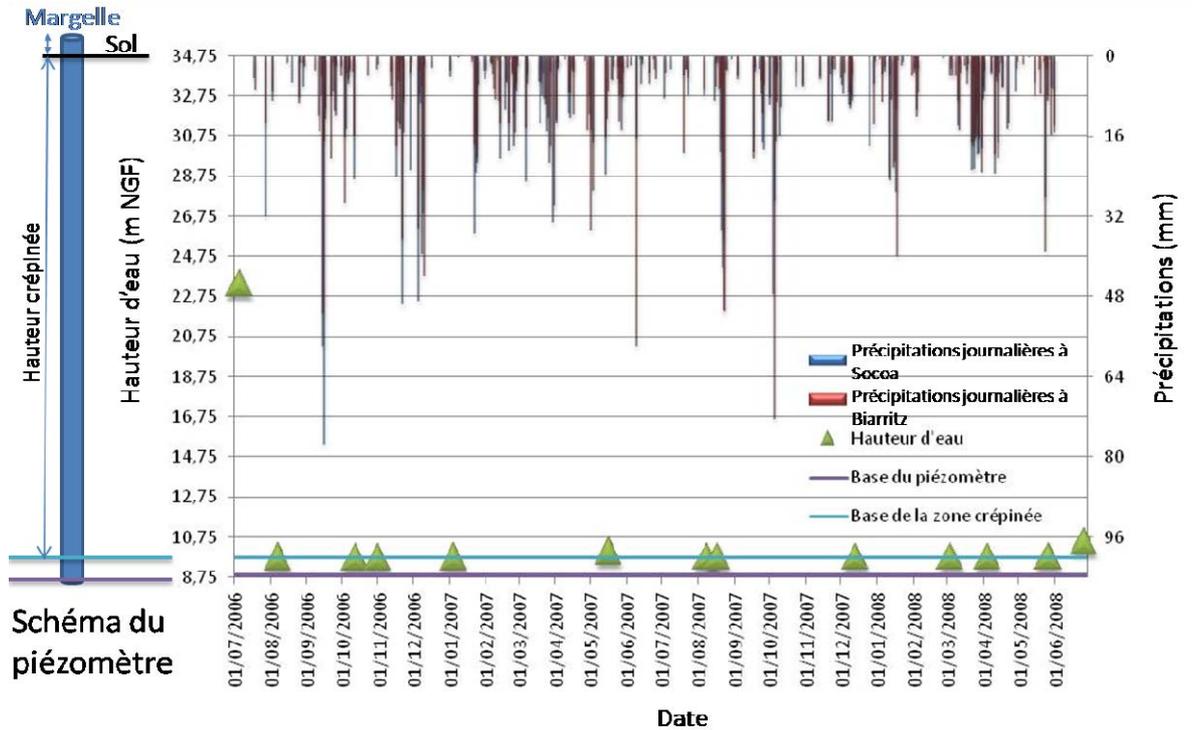


Illustration 20 : Niveau de l'eau dans le piézomètre de La Muserie et précipitations journalières (données MétéoFrance 2008)

Par ailleurs, deux hypothèses sont avancées quant à l'origine de l'eau ; elle peut provenir :

- d'une nappe perchée dans l'altérite (qui peut alors disparaître en période sèche),
- d'une nappe présente dans l'horizon karstifié, captive sous les altérites ; la zone saturée augmente alors sous les effets de l'élévation de la surface piézométrique statique.

3.4.3. Conclusions

Le piézomètre implanté sur le site pilote de Guéthary a permis de détecter une nappe dont le niveau semble atteindre son maximum au printemps. Cependant, une question demeure : quel est l'aquifère qui contient cette nappe ? En effet, la base de l'ouvrage, localisé à 8,75 m NGF est probablement, au vu des logs des forages localisés à proximité, très proche de l'horizon karstifié. Deux hypothèses sont donc avancées quant à l'origine de l'eau : elle proviendrait soit d'une nappe temporaire perchée dans l'altérite, soit d'une nappe captive dans l'horizon karstifié sous les altérites, le toit de la zone saturée s'élevant sous les effets des sous-pressions hydrostatiques.

En outre, les augmentations d'humidité enregistrées par la sonde Humitub, qui, par ailleurs, n'atteint que 9,00 m de profondeur, sont particulièrement importantes au printemps ; elles concernent alors toutes les profondeurs auxquelles sont placés les capteurs. Les mesures piézométriques concordent donc, au cours de la période de suivi des instruments, avec les résultats fournis par la sonde Humitub.

Du fait que ce piézomètre n'est pas ancré dans l'horizon karstifié, on n'a pas directement accès à un possible aquifère situé dans cette zone. C'est pourquoi, dans la mesure du possible, l'ensemble des piézomètres implantés pour le réseau piézométrique l'ont été jusqu'à la base de l'altérite, qui correspond au toit de l'horizon karstifié.

4. Conclusion

Les phénomènes d'érosion des falaises du littoral basque sont principalement d'origine continentale. Les circulations hydriques jouent un rôle déterminant dans le déclenchement des instabilités. C'est pour connaître et caractériser les circulations hydrogéologiques au sein des altérites que le glissement de terrain d'Harotzen Costa sur la commune de Guéthary fait l'objet d'un suivi instrumental depuis novembre 2005.

L'ensemble des résultats montre que les circulations d'eau proviennent soit d'une nappe temporaire perchée dans l'altérite, soit d'une nappe captive dans l'horizon karstifié sous les altérites. Les mesures piézométriques faites sur le site concordent au cours de la période de suivi, avec les résultats fournis par la sonde Humitub.

Les résultats des données d'humidité permettent de mettre en évidence un comportement hydrogéologique du massif d'altérite hétérogène et anisotrope. Ceci est probablement la conséquence directe de la structure hétérogène des altérites qui est à l'origine d'une chenalisation des flux hydriques par les niveaux les plus perméables de l'altérite : bancs de chailles fracturés et niveaux les plus silteux d'échelle centimétrique. L'humidité du massif est, en partie, directement liée aux précipitations à court et moyen terme. L'analyse du système hydrogéologique des altérites par l'Humitub est cependant ici limitée d'une part, par la saturation rapide des capteurs à certaines profondeurs, et, d'autre part, par la durée de la période d'étude égale à un cycle hydrologique. Afin de couvrir une période permettant une étude à long terme, le suivi des variations d'humidité à l'aide de l'Humitub va être poursuivi.

Les mesures géophysiques n'ont pas permis d'apprécier des variations hydriques saisonnières au sein des altérites, mais elles confortent l'hypothèse de l'existence d'un aquifère karstique au sein des flyschs sur le site de Guéthary.

5. Bibliographie

AUTANT, 2008a, Bulletin climatique mensuel Sud-Ouest, MétéoFrance, n°174, mars 2008, 12 p.

AUTANT, 2008b, Bulletin climatique mensuel Sud-Ouest, MétéoFrance, n°175, avril 2008, 12 p.

AUTANT, 2008c, Bulletin climatique mensuel Sud-Ouest, MétéoFrance, n°176, mai 2008, 12 p.

AUTANT, 2008d, Bulletin climatique mensuel Sud-Ouest, MétéoFrance, n°177, juin 2008, 12 p.

Aubié S., Peter-Borie M. (2006) : Etude de la dynamique des mouvements de terrain à l'échelle de sites expérimentaux sur le littoral de la Côte Basque. Rapport final, BRGM/RP-54815-FR, 31 illus., 1 ann., 41 p.

Barker R. and Moore J., 1998, The application of time-lapse electrical tomography in groundwater studies, *The Leading Edge* 17 (1998), p. 1454–1458.

Bobachev A., Cousin I., Nicoullaud B., Courtemanche P., Robain H., 2005, Suivi des transferts préférentiels dans un sol lors d'un épisode d'infiltration. Essais de faisabilité avec un résistivimètre rapide, 5ème Colloque Geofcan, 20 et 21 Septembre 2005, Orléans, 4p.

Cassiani G., Bruno V., Villa A., Fusi N. et Binley A.M., 2006, A saline trace test monitored via time-lapse surface electrical resistivity tomography, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 59, n°3, July 2006, p. 244-259.

Daily W.D., Ramirez A.L., LaBrecque D.J. et Nitao J., 1992, Electrical resistivity tomography of vadose water movement. *Water Resour. Res.* 28, p. 1429–1442.

Idier D. et Pedreros R., 2005, Modélisation hydrodynamique de la Côte Basque. Partie I : marées, courants de marée et surcotes. BRGM/RP-53705-FR, 75 p.

Mangin A., 1984, Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, Vol.67, p.25-43.

Michot D., Benderitter Y., Dorigny A., Nicoullaud B., King D. et Tabbagh A., 2003, Spatial and temporal monitoring of soil water content with an irrigated corn crop cover using surface electrical resistivity tomography. *Water Resources Research*, Vol. 39, n°5, p. 1138.

Peter-Borie M., Aubié. S. (2008) : Caractérisation du complexe Marno-calcaire du Crétacé Supérieur et altérites associées sur la Côte Basque. Rapport final, BRGM/RP-57055-FR, 30 illus., 2 ann, 57 p.

Peter-Borie M., Lucassou F., Aubié. S. (2008) : Contexte hydrogéologique et hydraulique du littoral basque français et son arrière-pays. Rapport final, BRGM/RP-57054-FR, 19 illus., 12 ann., 59 p.

Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.M., Marouri F., Oppenheim E., Heck J.V., Ruaux N., Le Roy S., Dubus I., Surdyk N., 2006, Etude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti, BRGM/RP-54862-FR, 378 p.



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

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