Mise en place d'un réseau de suivi des intrusions salines dans les aquifères côtiers de La Réunion

Rapport final

Anli Bourhane, Marc Dumont et Julien Bonnier

Juin 2016

Office de l'eau Réunion - 49 rue Mazagran - 97400 Saint-Denis – Ile de la Réunion
Téléphone : +262 (0)262.30.84.84 - Fax : +262 (0)262.30.84.85 – office@eaureunion.fr – www.eaureunion.fr

Sommaire

1 Introduction 11

1.1 Contexte de l'étude 11

1.2 Objectifs 12

2 Etat des connaissances sur les intrusions salines 14

2.1 Terminologie associée à l'étude des eaux salines 14

2.2 Etude des intrusions salines à La Réunion 16

2.3 Impact du contexte climatique et hydrogéologique 17

3 Présentation du réseau d'observation 20

3.1 Localisation des ouvrages instrumentés 20

3.2 Localisation des stations météorologiques 21

3.3 Organisation de l'acquisition des données 22

4 Analyse et interprétation des données 23

4.1 Secteur du Port 23

4.1.1 Piézomètre 12056 P3-A du Lotissement Cotur 24

4.1.2 Piézomètre 12056 P3-B du Lotissement Cotur 26

4.1.3 Piézomètre 12056 P3-C du Lotissement Cotur 28

4.1.4 Piézomètre 12064 FT5-A Port Nord 30

4.1.5 Piézomètre 12157 F3 Port Nord 32

4.1.6 Piézomètre 12174 P3 Sacré Cœur 34

4.1.7 Synthèse des résultats dans le secteur du Port 35

4.2 Secteur de Saint-Paul 36

4.2.1 Piézomètre 12162 S3 Oméga 37

4.2.2 Piézomètre 12170 P13 Cambaie 39

4.2.3 Piézomètre 12186 P18 Oméga N°2 41

4.2.4 Piézomètre 12188 P21-B 43

4.2.5 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Paul 44

4.3 Secteur de Saint-Gilles 45

4.3.1 Piézomètre 15027 P6 Ermitage 46
4.3.2 Piézomètre 15022 ZBS5 Lotissement Dayot 48
4.3.3 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Gilles 49
4.4 Secteur de Saint-Leu 50
4.4.1 Piézomètre 16080 P5 Grande Ravine 50
4.4.2 Piézomètre 16041 Petite Ravine Amont 54
4.4.3 Piézomètre 32045 F8 Stella Le Portail 56
4.4.4 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Leu 58
4.5 Secteur de l'Etang Salé 59
4.5.1 Piézomètre 33066 P3 Pont Neuf 60
4.5.2 Piézomètre 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol 62
4.5.3 Piézomètre 37056 PIB4-C Plaine du Gol 65
4.5.4 Synthèse des résultats dans le secteur de l'Etang Salé 66
4.6 Secteur de Saint-Pierre 67
4.6.1 Piézomètre 38063 PIB7 Pierrefonds Village 68
4.6.2 Piézomètre 38067 F12 Aérodrome 70
4.6.3 Piézomètre 38065 F15 La Vallée 72
4.6.4 Piézomètre 38070 F10 Ravine des Cabris 73
4.6.5 Piézomètre 38071 F7 Pierrefonds 75
4.6.6 Piézomètre 38072 F9 Pierrefonds 77
4.6.7 Piézomètre 38077 P12 Aérogare 78
4.6.8 Piézomètre 38078 P11 Syndicat 80
4.6.9 Piézomètre 38087 Dupuis 3 82
4.6.10 Piézomètre 38089 Ravine Blanche 84
4.6.11 Piézomètre 38216 Chemin Salette 85
4.6.12 Piézomètre 38217 S2 Caserne Pierrefonds 86
4.6.13 Piézomètre 45040 P1 La Cafrine 88
4.6.14 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Pierre 89
4.7 Secteur du Piton de La Fournaise 90

4.7.1 Piézomètre 46066 F1 Manapany-Les-Bains 91
4.7.2 Piézomètre 46135 Forage Kerveguen 93
4.7.3 Piézomètre 44030 Piton Sainte-Rose 94
4.7.4 Synthèse des résultats dans le secteur du Piton de La Fournaise 95
4.8 Secteur de l'Est 96
4.8.1 Piézomètre 27072 P26 Le Bourbier 97
4.8.2 Piézomètre 28058 F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts 98
4.8.3 Piézomètre 23009 P14 Champ Borne 99
4.8.4 Synthèse des résultats obtenus dans le secteur Est 100
4.9 Secteur Nord 101
4.9.1 Piézomètre 22137 Chemin Grimm 102
4.9.2 Piézomètre 22095 P27 Belle Eau 103
4.9.3 Piézomètre 21066 P22 Les Cocos 104
4.9.4 Piézomètre 21034 S7 La Convenance 105
4.9.5 Piézomètre 21059 F3 Duparc 106
4.9.6 Piézomètre 21057 F5 Saint-Denis Est 107
4.9.7 Piézomètre 14018 Puits Tomi 109
4.9.8 Piézomètre 13089 La Grande Chaloupe 110
4.9.9 Synthèse des résultats obtenus dans le secteur Nord 111
4.10 Synthèse générale sur le suivi en continu de la salinité 112
4.10.1 Impact de la recharge 112
4.10.2 Impact des fluctuations océaniques 113
4.10.3 Impact des activités anthropiques 113
5 Apport des données géophysiques à l'optimisation du réseau RIS 114
5.1 Eléments de contexte 114
5.2 Contribution de l'imagerie géophysique à l'étude des intrusions salines 115
5.3 Représentativité spatiale des points suivis 118
5.4 Proposition d'un réseau de suivi pérenne 120
6 Conclusions et perspectives 122

6.1 Synthèse générale 122
6.2 Perspectives d'amélioration du réseau 123
6.3 Perspectives d'amélioration de l'analyse 124
7 Références bibliographiques 126
8 Annexes 129

Liste des figures

Figure 2.1 : Influence d'un pompage sur l'interface saline (d'après Frissant et al. 2005) 14
Figure 2.2 : Gammes de salinité et types d'eau associés. 15
Figure 2.3: Synthèse des données relatives aux intrusions salines (Frissant et al. 2005) 16
Figure 2.4 : Carte pluviométrique de La Réunion en 2015 [Météo France] 17
Figure 2.5 : Logs de conductivité réalisés sur le piézomètre P9 Fond Jardin 19
Figure 2.6 : Logs de conductivité réalisés sur le piézomètre de Manapany 19
Figure 3.1 : Réseau de suivi de l'intrusion saline sur l'île de La Réunion 20
Figure 3.2 : Pluviomètres sélectionnés, hydrographie et géomorphologie côtière 21
Figure 4.1 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur du Port 23
Figure 4.2 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-A Lotissement Cotur 24
Figure 4.3 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-A Lotissement Cotur 25
Figure 4.4 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-B Lotissement Cotur 26
Figure 4.5 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-B Lotissement Cotur 27
Figure 4.6 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-C Lotissement Cotur 28
Figure 4.7 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-C Lotissement Cotur 29
Figure 4.8 : Suivi en continu au piézomètre 12064 FT5-A Port Nord 30
Figure 4.9 : Logs de conductivité électrique sur 12064 FT5-A Port Nord 31
Figure 4.10 : Suivi en continu au piézomètre 12157 F3 Port Nord 32
Figure 4.11 : Logs de conductivité électrique sur 12157 F3 Port Nord 33
Figure 4.12 : Suivi en continu au piézomètre 12174 P3 Sacré Cœur 34
Figure 4.13 : Logs de conductivité électrique sur 12174 P3 Sacré Cœur 35
Figure 4.14 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à l'étang Saint-Paul 36
Figure 4.15 : Suivi en continu au piézomètre 12162 S3 Oméga 37
Figure 4.16 : Logs de conductivité électrique sur 12162 S3 Oméga 38
Figure 4.17 : Suivi en continu au piézomètre 12170 P13 Cambaie 39
Figure 4.18 : Logs de conductivité électrique sur 12170 P13 Cambaie 40
Figure 4.19 : Suivi en continu au piézomètre 12186 - P18 Oméga N°2 41
Figure 4.20 : Logs de conductivité électrique sur 12186 - P18 Oméga N°2 42
Figure 4.21 : Suivi en continu au piézomètre 12188 P21-B 43
Figure 4.22 : Logs de conductivité électrique sur 12188 P21-B 44
Figure 4.23 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Gilles /Ermitage 45
Figure 4.24 : Suivi en continu au piézomètre 15027 P6 Ermitage 46
Figure 4.25 : Logs de conductivité électrique sur 15027 P6 Ermitage 47
Figure 4.26 : Suivi en continu au piézomètre 15022 ZBS5 Lotissement Dayot 48
Figure 4.27 : Logs de conductivité électrique sur 15022 ZBS5 Lotissement Dayot 49

Figure 4.28 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Leu 50
Figure 4.29 : Suivi en continu au piézomètre 16080 P5 Grande Ravine 51
Figure 4.30 : Variation à haute fréquence des signaux piézométriques et de la conductivité électrique sur P5 Grande Ravine 52
Figure 4.31 : Evolution des précipitations et des niveaux de salinité dans cinq forages de la côte ouest 52
Figure 4.32 : Logs de conductivité électrique sur 16080 P5 Grande Ravine 53
Figure 4.33 : Suivi en continu au piézomètre 16041 Petite Ravine Amont 54
Figure 4.34 : Logs de conductivité électrique sur 16041 Petite Ravine Amont 55
Figure 4.35 : Suivi en continu au piézomètre 32045 F8 Stella Le Portail 56
Figure 4.36 : Logs de conductivité électrique sur 32045 F8 Stella Le Portail 57
Figure 4.37 : Impact de la recharge sur l'évolution de la salinité à P5 58
Figure 4.38 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à l'Etang Salé et au Gol 59
Figure 4.39 : Suivi en continu au piézomètre 33066 P3 Pont Neuf 60
Figure 4.40 : Logs de conductivité électrique sur 33066 P3 Pont Neuf 61
Figure 4.41 : Suivi en continu au piézomètre 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol 62
Figure 4.42 : Logs de conductivité électrique sur 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol 64
Figure 4.43 : Suivi en continu au piézomètre 37056 PIB4-C Plaine du Gol 65
Figure 4.44 : Logs de conductivité électrique sur 37056 PIB4-C Plaine du Gol 66
Figure 4.45 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Pierre.....67
Figure 4.46 : Suivi en continu au piézomètre 38063 PIB7 Pierrefonds Village 68
Figure 4.47 : Logs de conductivité électrique sur 38063 PIB7 Pierrefonds Village 69
Figure 4.48 : Suivi en continu au piézomètre 38067 F12 Aérodrome 70
Figure 4.49 : Logs de conductivité électrique sur 38067 F12 Aérodrome 71
Figure 4.50 : Suivi en continu au piézomètre 38065 F15 La Vallée 72
Figure 4.51 : Suivi en continu au piézomètre 38070 F10 Ravine des Cabris 73
Figure 4.52 : Logs de conductivité électrique sur 38070 F10 Ravine des Cabris 74
Figure 4.53 : Suivi en continu au piézomètre 38071 F7 Pierrefonds 75
Figure 4.54 : Logs de conductivité électrique sur 38071 F7 Pierrefonds 76
Figure 4.55 : Suivi en continu au piézomètre 38072 F9 Pierrefonds 77
Figure 4.56 : Suivi en continu au piézomètre 38077 P12 Aérogare.....78
Figure 4.57 : Logs de conductivité électrique sur 38077 P12 Aérogare 79
Figure 4.58 : Suivi en continu au piézomètre 38078 P11 Syndicat 80
Figure 4.59 : Logs de conductivité électrique sur 38078 P11 Syndicat 81
Figure 4.60 : Suivi en continu au piézomètre 38087 Dupuis 3 82
Figure 4.61 : Logs de conductivité électrique sur 38087 Dupuis 3 83
Figure 4.62 : Suivi en continu au piézomètre 38089 Ravine Blanche 84

Figure 4.63 : Suivi en continu au piézomètre 38216 Chemin Salette 85
Figure 4.64 : Suivi en continu au piézomètre 38217 S2 Caserne Pierrefonds 86
Figure 4.65 : Logs de conductivité électrique sur 38217 S2 Caserne Pierrefonds 87
Figure 4.66 : Suivi en continu au piézomètre 45040 P1 La Cafrine 88
Figure 4.67 : Logs de conductivité électrique sur 45040 P1 La Cafrine 89
Figure 4.68 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur du Piton de La Fournaise 90
Figure 4.69 : Suivi en continu au piézomètre 46066 F1 Manapany-Les-Bains 91
Figure 4.70 : Logs de conductivité électrique sur 46066 F1 Manapany-Les-Bains 92
Figure 4.71 : Suivi en continu au piézomètre 46135 Forage Kerveguen 93
Figure 4.72 : Suivi en continu au piézomètre 44030 Piton Sainte-Rose 94
Figure 4.73 : Logs de conductivité électrique sur 44030 Piton Sainte-Rose 95
Figure 4.74 : Localisation des piézomètres du réseau RIS du secteur Est 96
Figure 4.75 : Suivi en continu au piézomètre 27072 P26 Le Bourbier 97
Figure 4.76 : Suivi en continu au piézomètre 28058 F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts 98
Figure 4.77 : Suivi en continu au piézomètre 23009 P14 Champ Borne 99
Figure 4.78 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur Nord 101
Figure 4.79 : Suivi en continu au piézomètre 22137 Chemin Grimm 102
Figure 4.80 : Suivi en continu au piézomètre 22095 P27 Belle Eau 103
Figure 4.81 : Suivi en continu au piézomètre 21066 P22 Les Cocos 104
Figure 4.82 : Suivi en continu au piézomètre 21034 S7 La Convenance 105
Figure 4.83 : Suivi en continu au piézomètre 21059 F3 Duparc 106
Figure 4.84 : Suivi en continu au piézomètre 21057 F5 Saint-Denis Est 107
Figure 4.85 : Suivi en continu au piézomètre 14018 Puits Tomi 109
Figure 4.86 : Suivi en continu au piézomètre 13089 La Grande Chaloupe 110
Figure 4.87 : Logs de conductivité électrique sur 13089 La Grande Chaloupe 111
Figure 5.1 : Carte des intrusions salines imagées par la géophysique héliportée [AEM] 117
Figure 5.2 : Synoptique de l'analyse de représentativité des points du réseau RIS vis-à-vis des données AEM 118

Liste des tableaux

Tableau 1 : Descriptions des différentes intrusions salines imagées par géophysique électromagnétique héliportée à La Réunion 116
Tableau 2 : Tableau de synthèse de l'analyse de représentativité du réseau RIS. 119
Tableau 3 : Tableau de synthèse des caractéristiques générales des ouvrages suivis ...120

1 Introduction

1.1 Contexte de l'étude

La Réunion connaît au cours des dernières décennies un développement démographique accéléré. Depuis 2007, la population réunionnaise augmente de 1% par an [INSEE 2015][1]. Cette démographie croissante s'accompagne d'une hausse de l'exploitation des ressources en eau à la fois pour l'alimentation en eau potable [AEP] et pour l'irrigation agricole. Sur la commune de Saint-Pierre par exemple, les volumes totaux prélevés en eau souterraine et eau de surface pour l'AEP ont augmenté de 46% entre 1993 et 2004. Face à cette augmentation des prélèvements, les nappes littorales exploitées à La Réunion restent fortement vulnérables vis-à-vis des intrusions marines.
Dans ce contexte, la mise en place d'une politique de gestion des ressources en eaux suivant les différents besoins s'avère indispensable. Elle doit pouvoir s'appuyer sur les éléments d'aide à la décision les plus fins possibles.

Afin de répondre à ces enjeux, le SDAGE[2] 2010-2015 sert de document de référence. Ce document intègre le contexte règlementaire sur l'eau au niveau européen et national. Il décline la gestion de l'eau au niveau du bassin Réunion selon sept orientations fondamentales [OF].

La caractérisation des intrusions salines dans les aquifères côtiers de La Réunion est un projet transversal qui s'inscrit principalement dans la première orientation fondamentale qui consiste à « gérer durablement la ressource en eau dans le respect des milieux aquatiques et des usages ». Cette orientation fondamentale se décline en plusieurs orientations spécifiques, précisée par des dispositions opérationnelles :

Orientation 1.5 : Améliorer les connaissances relatives aux ressources disponibles

> Disposition 1.5.1 : Les acteurs publics s'investissent particulièrement dans l'analyse des capacités de renouvellement des nappes : actualisation et amélioration des modèles existants.

Orientation 1.6 : Améliorer le suivi des ressources disponibles, exploitées ou non

> Disposition 1.6.1 : Les acteurs de l'eau veillent à développer et à améliorer le réseau de mesures en continu sur des points d'observation piézométrique des aquifères et d'observation limnométrique des cours d'eau.

Orientation 1.7 : Utiliser les outils de suivi pour une gestion dynamique de la ressource

> Disposition 1.7.1 : Les collectivités se dotent des outils matériels et informatiques nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion dynamique de la ressource.

[1] http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=24&ref_id=22011
[2] Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

La révision du SDAGE 2010-2015 a abouti à l'élaboration d'un nouveau schéma directeur pour la période 2016-2021. Cet outil de planification identifie également dans son principe d'action n°2 « Mobiliser les ressources de manière équilibrée » la nécessité de prévenir et réduire les intrusions salines dans les masses d'eau souterraine. Il cible 4 masses d'eau en déséquilibre quantitatif en 2015 :

- Masse d'eau FRLG108 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol ;
- Masse d'eau FRLG109 : Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé ;
- Masse d'eau FRLG110 : Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest ;
- Masse d'eau FRLG112 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'étang Saint Paul – Plaine des Galets ;

1.2 Objectifs

L'Office de l'eau effectue une surveillance des aquifères côtiers de La Réunion depuis plusieurs dizaines d'années : des analyses chimiques et des diagraphies (ou logs) de conductivité électrique de l'eau sont réalisées sur une cinquantaine d'ouvrages littoraux. Les premiers résultats montrent une influence de l'Océan sur la qualité des nappes côtières illustrée notamment par une augmentation de la concentration en chlorures et une remontée de l'interface eau douce / eau salée dans les forages de la zone littorale. Ce phénomène naturel est accentué lorsque les prélèvements sur les ressources en eaux souterraines deviennent trop importants.

Le présent projet vise à aborder l'état et la dynamique spatio-temporelle de l'interface saline dans les aquifères côtiers de La Réunion. Il s'inscrit dans une réflexion globale, en collaboration avec d'autres études réalisées par le BRGM (Petit and Leforgeais 2013) et le Laboratoire des Géosciences de l'Université de la Réunion (Bourhane 2014).

D'une durée de 3 ans (2013-2015), l'objectif de ce projet est de définir un réseau départemental pérenne de suivi des intrusions salines basé sur les ouvrages existants et de définir des indicateurs pertinents pour le suivi et la gestion des aquifères concernés par cette problématique. Le réseau de mesure mis en place permettra de suivre de façon continue l'évolution de la piézométrie, de la conductivité électrique et de la marée.

Le présent rapport présente i) l'analyse et l'interprétation préliminaire de l'ensemble des résultats obtenus par le suivi en continu in-situ au cours de la phase expérimentale de l'étude et ii) l'apport de l'imagerie géophysique électromagnétique sur l'étude des intrusions salines en milieu volcanique (Martelet et al. 2014).

Le réseau d'étude mis en place vise à i) suivre les intrusions salines par des mesures en continu de la piézométrie et de la conductivité électrique et ii) améliorer la connaissance de ces processus complexes dans les aquifères volcaniques de La Réunion.

Sur la base des résultats obtenus, des indicateurs pertinents vont être proposés et mis en partage dans l'optique d'une gestion durable des ressources en eau souterraine en milieu côtier.

2 Etat des connaissances sur les intrusions salines

2.1 Terminologie associée à l'étude des eaux salines

Dans la littérature, plusieurs termes sont utilisés pour décrire la minéralisation des eaux souterraines. La nomenclature utilisée ici est basée essentiellement sur les définitions et recommandations du dictionnaire français d'hydrogéologie (Castany and Margat 2010).

Le glossaire suivant définit les termes et concepts relatifs à la minéralisation des eaux souterraines employés dans ce document. Le lecteur pourra également se référer aux travaux de Vengosh (2003) ou à ceux de Kloppmann et al. (2010; 2011; 2012 et 2013) pour une description plus exhaustive.

Biseau salé : partie d'un aquifère côtier envahie par l'eau de la mer, comprise entre la base de l'aquifère et une interface de séparation eau douce / eau salée (interface saline).

Chlorinité : la concentration en chlore dissous sous forme de chlorures (mg/L).

Conductivité électrique : la conductivité électrique de l'eau permet d'estimer sa charge en ions ; elle s'exprime généralement en µS/cm ou en mS/cm pour des salinités plus élevées. La conductivité de l'eau est fonction de la concentration totale en sels dissous (essentiellement les chlorures), de la distribution des différents sels et de la température. Les valeurs de conductivités électriques affichées dans le présent document sont normalisées pour une température de 25°C.

Intrusion marine : invasion de l'eau de mer dans les nappes d'eau douce du littoral. Ce phénomène est provoqué par une avancée du biseau salé vers l'intérieur des terres, souvent consécutive à une surexploitation de la nappe (Figure 2.1). Dans ce rapport, ce phénomène est souvent décrit par l'expression d'intrusion saline, qui est plus générale. En effet, selon la littérature citée plus haut, l'intrusion marine apparait comme un cas particulier d'intrusion saline.

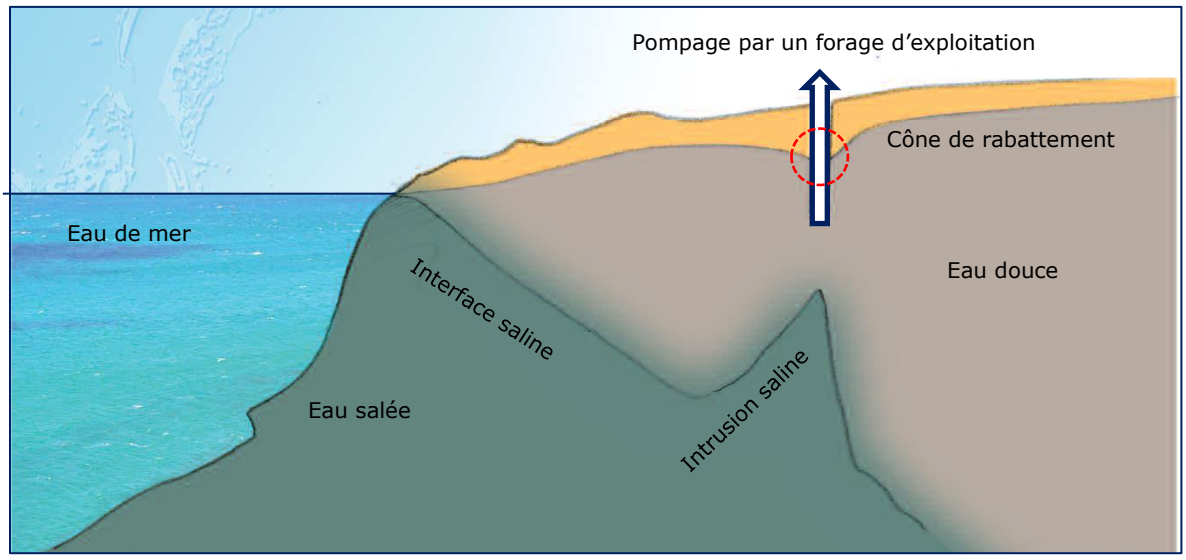


Figure 2.1 : Influence d'un pompage sur l'interface saline (d'après Frissant et al. 2005)

Salinisation : accumulation de sels dans les eaux ou les sols. Il s'agit du processus selon lequel l'eau souterraine ou la solution du sol se minéralise sous l'influence de mécanismes physiques comme l'évaporation, accentué par un drainage interne insuffisant, la dissolution de minéraux, l'interaction avec l'eau de mer actuelle et le mélange avec une saumure (primaire ou secondaire). La salinisation consiste donc en une augmentation de la salinité des eaux douces de surface et souterraines. Les activités anthropiques peuvent provoquer une salinisation notamment en cas de défaillance du système de collecte des eaux usées ou en cas de lessivage des intrants agricoles vers la nappe.

Salinité : la salinité s'exprime généralement en mg/L ou en gramme de sels par kilogramme de solution. La salinité peut être déterminée directement par la somme des concentrations mesurées en éléments dissous ou par le poids du résidu solide après évaporation et, indirectement et approximativement, à partir de la conductivité électrique (mS/cm) ou le potentiel électrique spontané (mV). Toutefois, le terme de salinité est souvent compris à tort comme synonyme de chlorinité.

Dans la littérature, il existe un système de classification permettant de décrire la qualité des eaux souterraines en fonction de leur salinité (Kharaka and Hanor 2004); les eaux douces, saumâtres, salines et les saumures (Figure 2.2).

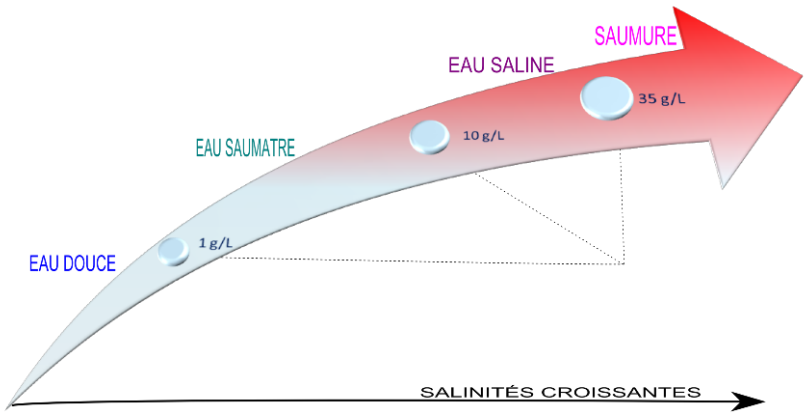


Figure 2.2 : Gammes de salinité et types d'eau associés.

2.2 Etude des intrusions salines à La Réunion

Sur l'île de La Réunion, l'évolution qualitative de la ressource en eau souterraine dans les aquifères côtiers est étudiée depuis plus d'une trentaine d'année (Daesslé and Join 1988, Join 1991; Frissant et al. 2005 et 2006; Aunay and Broch d'Autelans 2011; Lézé 2012; Petit and Leforgeais 2013 ; Petit et al. 2013).

Les aquifères côtiers étudiés en 1988 se trouvent sur le littoral Ouest, entre la rivière des Galets au Nord (Saint-Paul et Le Port) et la rivière Saint-Etienne au Sud (Saint-Louis et Saint-Pierre). Ce territoire s'étend sur une frange littorale de 1 à 1,5 km de largeur, jusqu'à l'altitude de 200 m. Les premiers schémas conceptuels des aquifères de l'île montrent que les nappes de sables alluvionnaires sont plus sensibles aux invasions marines que les nappes de base à encaissant basaltique (Join et al. 1988).
En 2005, une étude concernant l'état des connaissances sur l'intrusion marine à La Réunion s'est étendue sur l'ensemble de l'île (Figure 2.3).

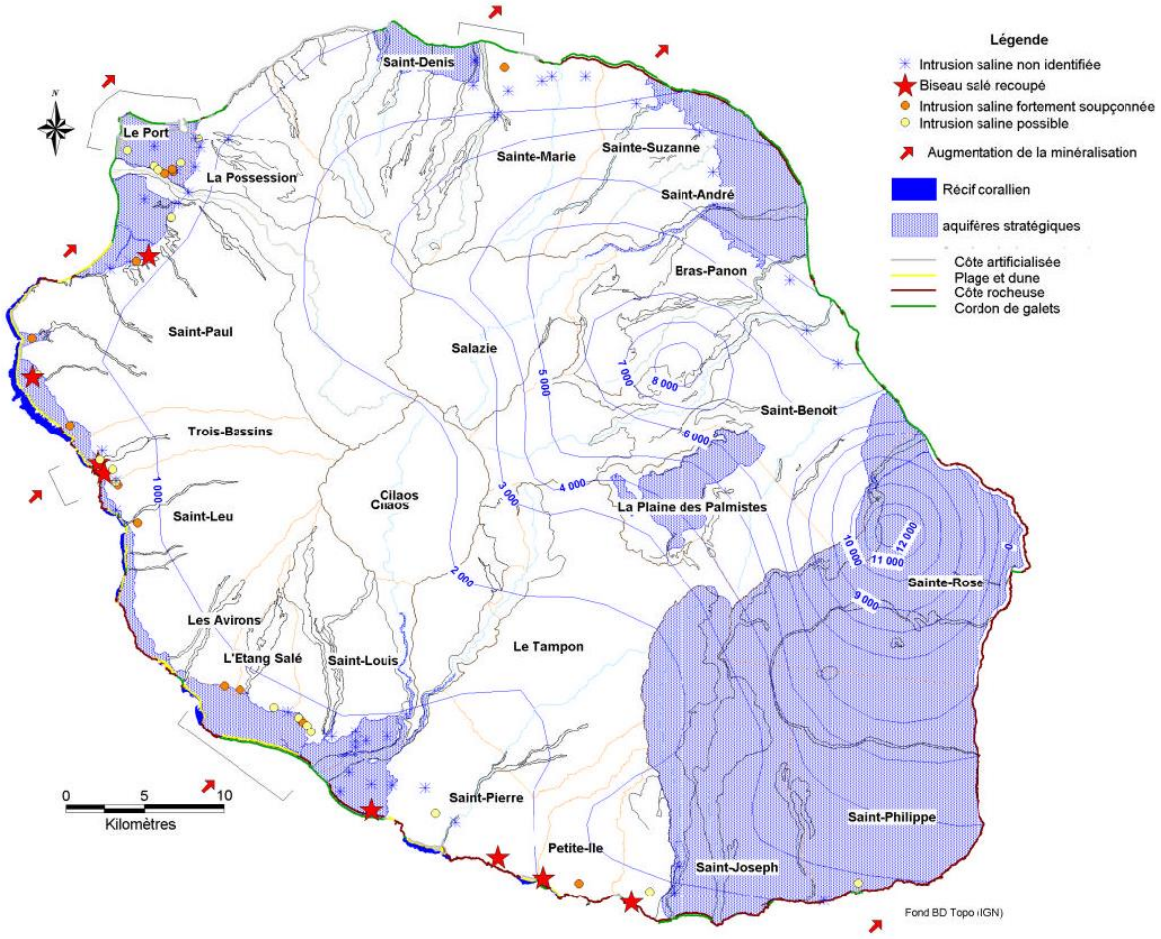


Figure 2.3: Synthèse des données relatives aux intrusions salines (Frissant et al. 2005)

L'inventaire réalisé en 2005 concernant les ouvrages soumis au phénomène d'intrusion saline à l'échelle du Département a permis d'identifier :

- 8 ouvrages recoupant l'interface eau douce/eau salée,
- 13 ouvrages où une intrusion saline est fortement soupçonnée,
- 20 ouvrages où une intrusion saline est possible (Frissant et al. 2005).

Il apparait que toutes les communes de la côte Ouest de La Réunion sont soumises à l'aléa intrusion saline. Les 4 communes les plus touchées sont Le Port, Saint-Paul, Trois-Bassins et Saint-Louis. Ces cas d'intrusions salines peuvent être dus à des surexploitations chroniques de la nappe (Saint-Louis) ou à un faible taux de recharge des aquifères côtiers (Trois-Bassins).

2.3 Impact du contexte climatique et hydrogéologique

Le système insulaire est situé sous un climat intertropical humide, avec deux saisons : une saison chaude et pluvieuse de décembre à avril et une saison fraîche et sèche de mai à novembre. La côte Est, exposée aux vents d'alizés, reçoit davantage de précipitations par rapport au reste de l'île, en raison de l'effet orographique des massifs volcaniques. Ainsi, le flanc Est de La Réunion soumis aux vents d'alizés reçoit en moyenne entre 4000 et 10 000 mm de précipitations par an, tandis que la côte Ouest n'enregistre qu'entre 200 à 2000 mm de chutes de pluies annuelles.

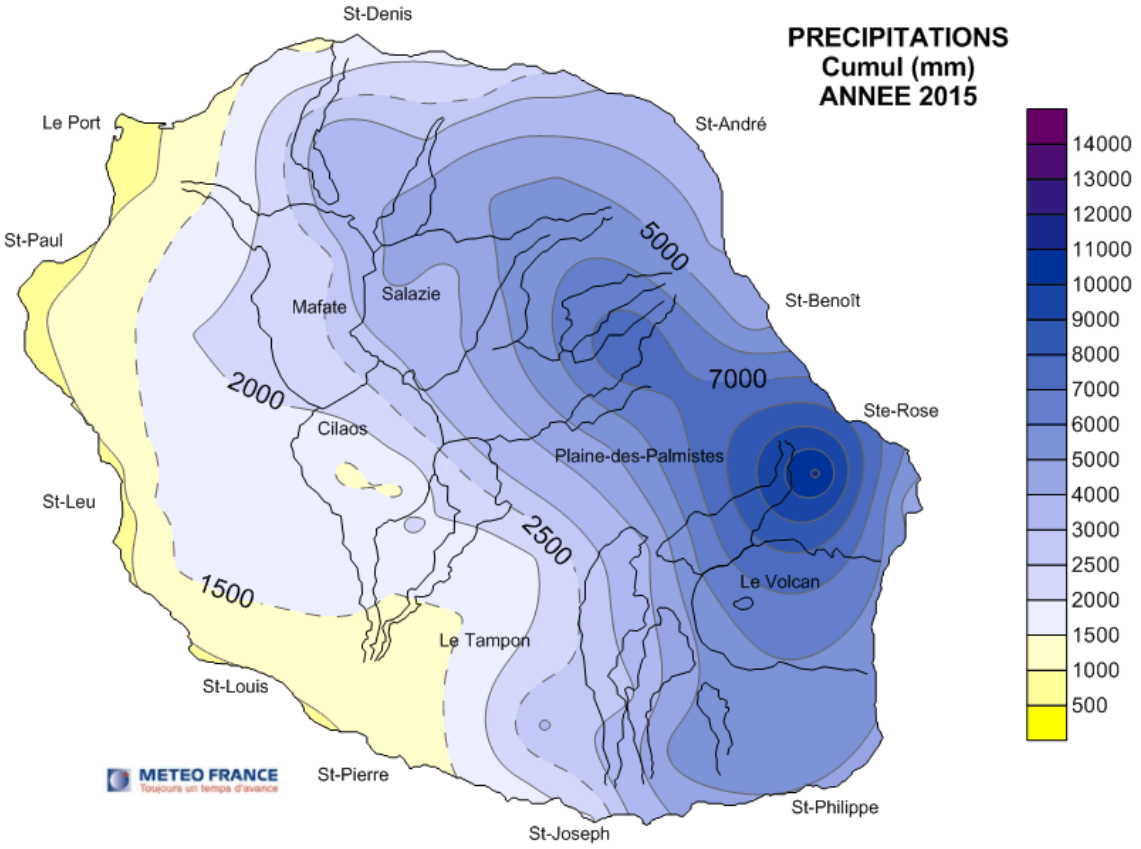


Figure 2.4 : Carte pluviométrique de La Réunion en 2015 [Météo France]

Une distribution très contrastée de la pluviométrie est également observée sur le volcan, avec des cumuls pouvant atteindre 12 m par an sur le flanc Est du massif. Pour l'ensemble de la zone, la recharge du Piton de La Fournaise est estimée à 2 300 Mm^3 par an, pour une superficie de 470 km^2 (Barcelo 1996). Sur l'échelle de l'île, le massif du Piton de La Fournaise apparait donc comme le secteur le plus arrosé. Le bilan hydrologique de cette zone est calculé par Barcelo et Coudray (1996). Les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 6,2 m. L'évaporation et le ruissellement sont évalués chacun autour de 1 m, ce qui correspond à l'incertitude de la pluviométrie. La recharge avoisine les 4,2 m par an, soit environ 68% des précipitations annuelles.

Cette situation hydrologique expliquerait la présence d'une épaisseur d'eau douce importante capable de maintenir l'interface saline à des niveaux très profonds (–50 m NGR au niveau du piézomètre 44030 Piton Sainte-Rose).

Sur l'ensemble du massif du Piton de La Fournaise, malgré les précipitations abondantes, seulement trois cours d'eau présentent un écoulement permanent atteignant la mer. Ils se sont mis en place dans les vallées les plus profondément incisées au sein du massif. Sur les flancs du volcan, le ruissellement est observé seulement durant les évènements pluvieux les plus intenses. Barcelo (1996) a montré que ces évènements exceptionnels sont associés à des infiltrations importantes localisées dans les lits des rivières et contribuant ponctuellement à la recharge des aquifères.

Dans le piézomètre de la Grande Ravine (16080), les phases de ruissellements de la ravine accompagnant les évènements pluvieux majeurs se traduisent par une infiltration d'eau douce provoquant des pics piézométriques rapides et une baisse momentanée de la salinité. Cependant, ce comportement n'est pas observé sur certains forages du Nord de l'île (21034 - Forage S7 la Convenance II et 22137 - Forage du Chemin Grimm) au niveau desquels les infiltrations d'eau météorique s'accompagnent d'un lessivage des horizons superficiels et se traduisent par un apport en éléments dissous dans la nappe.

La réponse hydrogéologique du milieu souterrain face à l'infiltration d'eau météorique est donc soumise à différents paramètres liés au contexte géologique et à l'occupation du sol en amont et au droit du site d'étude.

Une recherche publiée en 2012 a mis en évidence la présence de deux types d'interfaces eau douce – eau salée sur les côtes ouest et sud de l'île (Bonnier 2012). Les données issues des piézomètres P9 Fond Jardin et F1 Manapany-Les-Bains illustrent ces deux morphologies d'interface associées aux contextes climatique et géologique :

- Le piézomètre P9 Fond Jardin se situe dans un contexte climatique relativement sec (< 1000 mm /an). Il intercepte les basaltes massifs et scoriacés du Piton des Neiges. Les logs de conductivité électrique montre une interface eau douce / eau salée franche d'une épaisseur de 5 à 10 m (gradient fort) recoupée vers -20 m NGR (Figure 2.5).

- Le forage de Manapany est situé à l'extrême sud de l'île, à l'aval d'une zone plus arrosée (de 2000 à 3000 mm/an). Il recoupe les coulées basaltiques massives à olivine du Piton de La Fournaise. Les logs de conductivité électrique révèlent une interface diffuse (gradient faible) sur 30 m d'épaisseur (Figure 2.6).

Enfin, l'évolution des profils de conductivité sur le forage F1 Manapany-Les-Bains montre que le cycle humide 2002-2009 a entrainé un recul de l'interface eau douce / eau salée. A l'inverse, depuis 2010, le contexte pluviométrique déficitaire s'accompagne d'une remontée de l'interface saline d'environ 10 mètres. Cette tendance s'observe également sur le forage P9 Fond Jardin qui montre une remontée de l'interface d'environ 5 mètres sous l'effet du cycle sec de 1990-1992 (les écarts à la moyenne des pluviométries annuelles dépassent -20%).

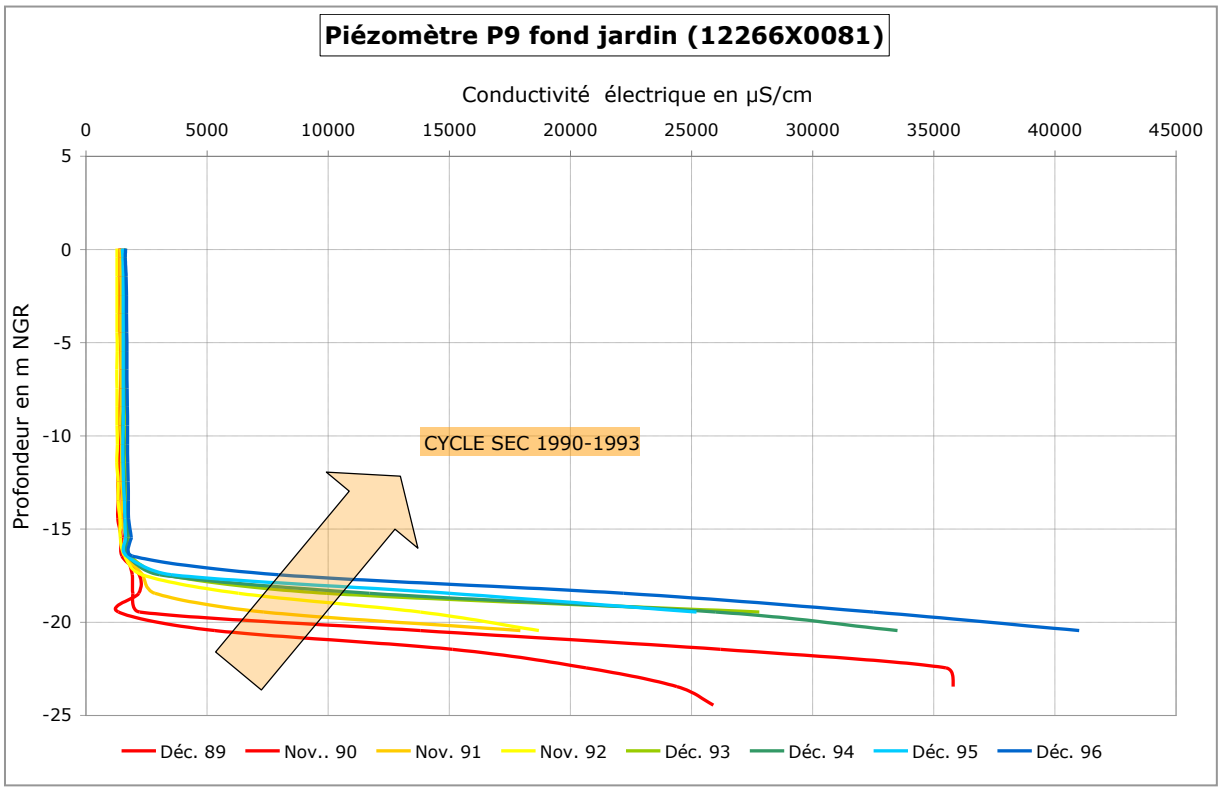


Figure 2.5 : Logs de conductivité réalisés sur le piézomètre P9 Fond Jardin

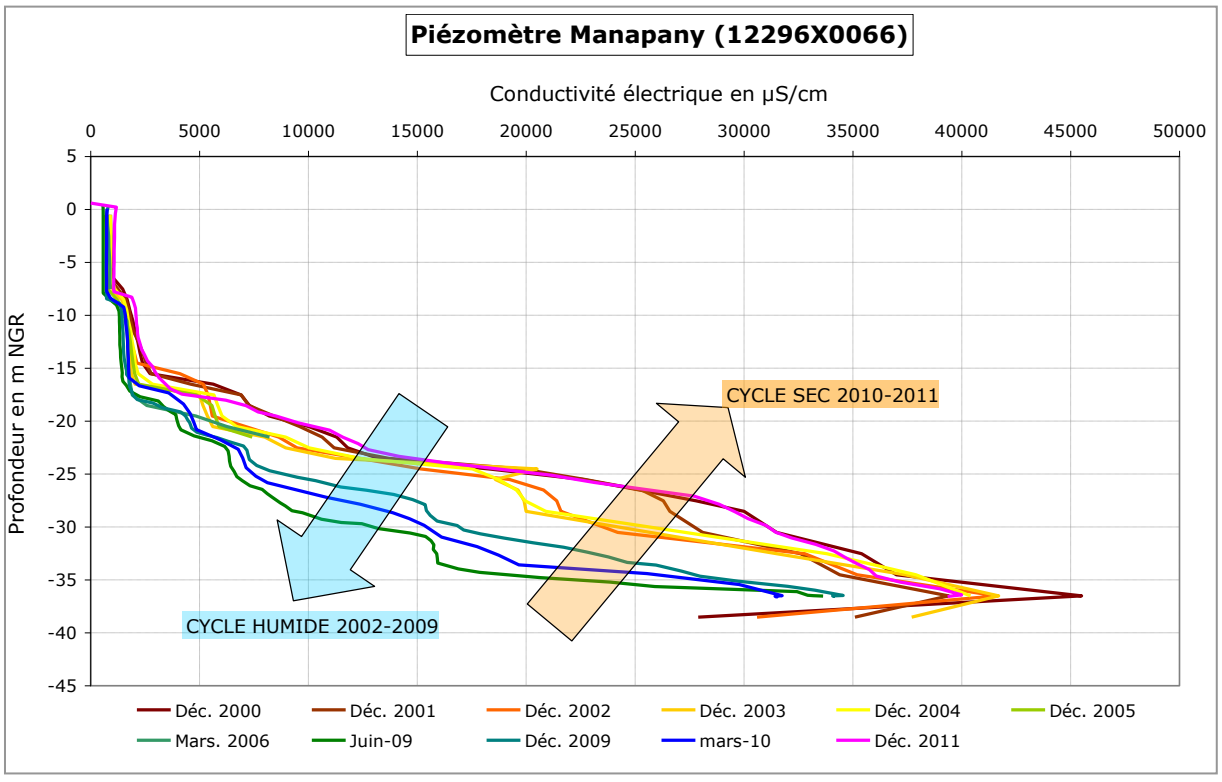


Figure 2.6 : Logs de conductivité réalisés sur le piézomètre de Manapany

3 Présentation du réseau d'observation

3.1 Localisation des ouvrages instrumentés

45 piézomètres de surveillance sont suivis en conductivité électrique dans le cadre de ce projet (Figure 3.1). Ces ouvrages sont repartis dans quatre grands secteurs : l'Ouest, le Sud, l'Est et le Nord. Chaque forage est équipé d'un capteur de la pression atmosphérique et un ou plusieurs capteurs de la pression hydrostatique, de la conductivité électrique et de la température de l'eau.

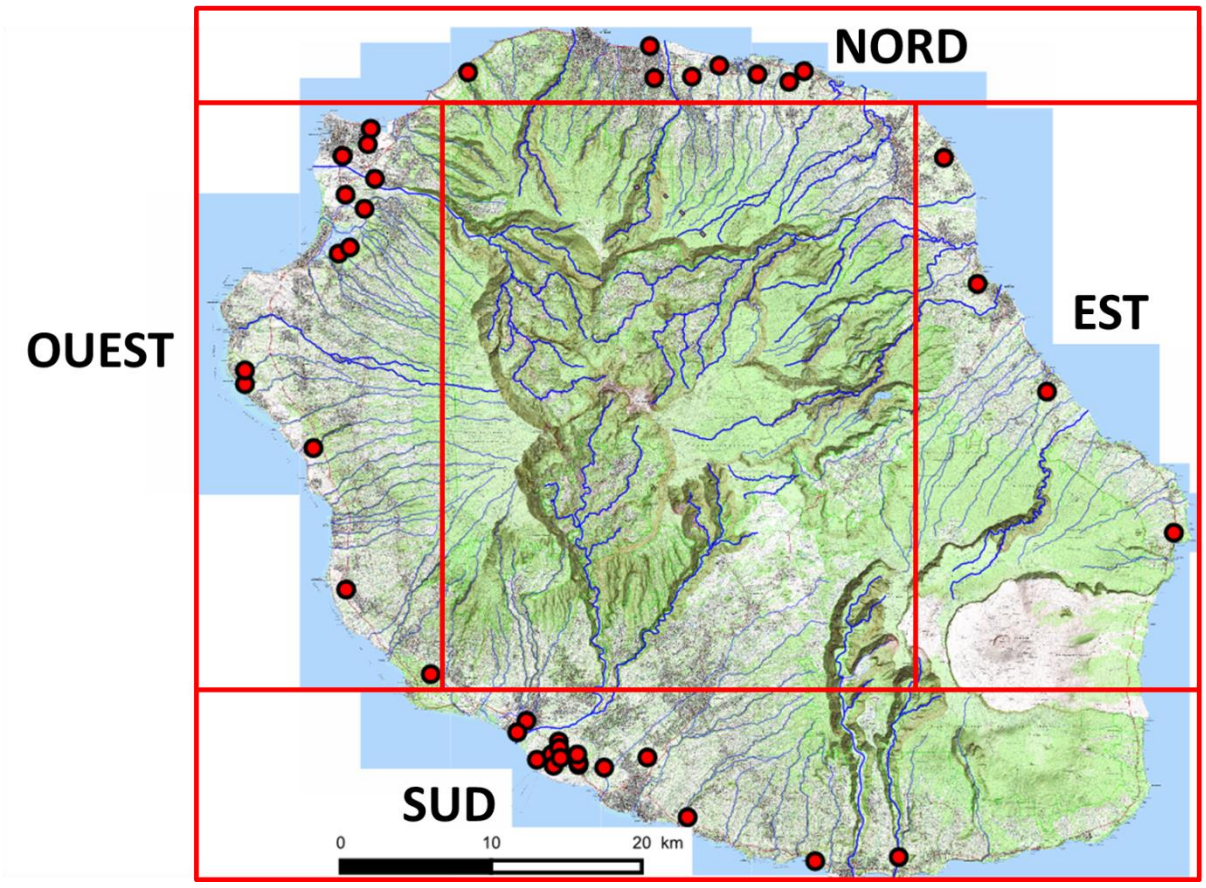


Figure 3.1 : Réseau de suivi de l'intrusion saline sur l'île de La Réunion

Sur l'ensemble du réseau d'observation, les signaux de piézométrie et de conductivité électrique sont enregistrés en continu suivant un pas de temps de 12 minutes. Les capteurs de conductivité sont placés à différentes profondeurs sur chaque ouvrage en fonction de la variation de salinité verticale constatée et de la profondeur du forage. Toutes les sondes sont placées en face des crépines. Les profondeurs atteintes par les ouvrages varient entre 5 m (15022 - Piézomètre ZBS5 Ermitage Lotissement Dayot) et 257 m (38216 - Piézomètre Chemin Salette - Ligne Paradis).

Des logs de conductivité électrique sont également réalisés en parallèle, suivant une fréquence trimestrielle sur 30 piézomètres. Cette analyse par diagraphies permet de suivre l'évolution verticale de la salinité dans la colonne d'eau sur chaque ouvrage et d'observer éventuellement l'impact d'évènements hydro-climatiques majeurs sur la minéralisation de l'ensemble de la colonne d'eau.

3.2 Localisation des stations météorologiques

Dans le cadre de cette étude, l'impact de la recharge sur l'évolution de la salinité sur les ouvrages côtiers est évalué à partir des données pluviométriques couvrant la période d'étude. Ces données sont recueillies au niveau des stations pluviométriques de Météo France situées en amont des forages instrumentés (Figure 3.2).

L'influence de la limite océanique est caractérisée à l'aide des données marégraphiques issues de 5 stations situées à La Pointe des Galets, à Sainte-Marie, à Sainte-Rose, à Saint-Pierre et à Saint-Gilles. Enfin, le rôle de la morphologie du littoral peut être discuté à travers une analyse de la répartition des différentes typologies de côtes autour de l'île.

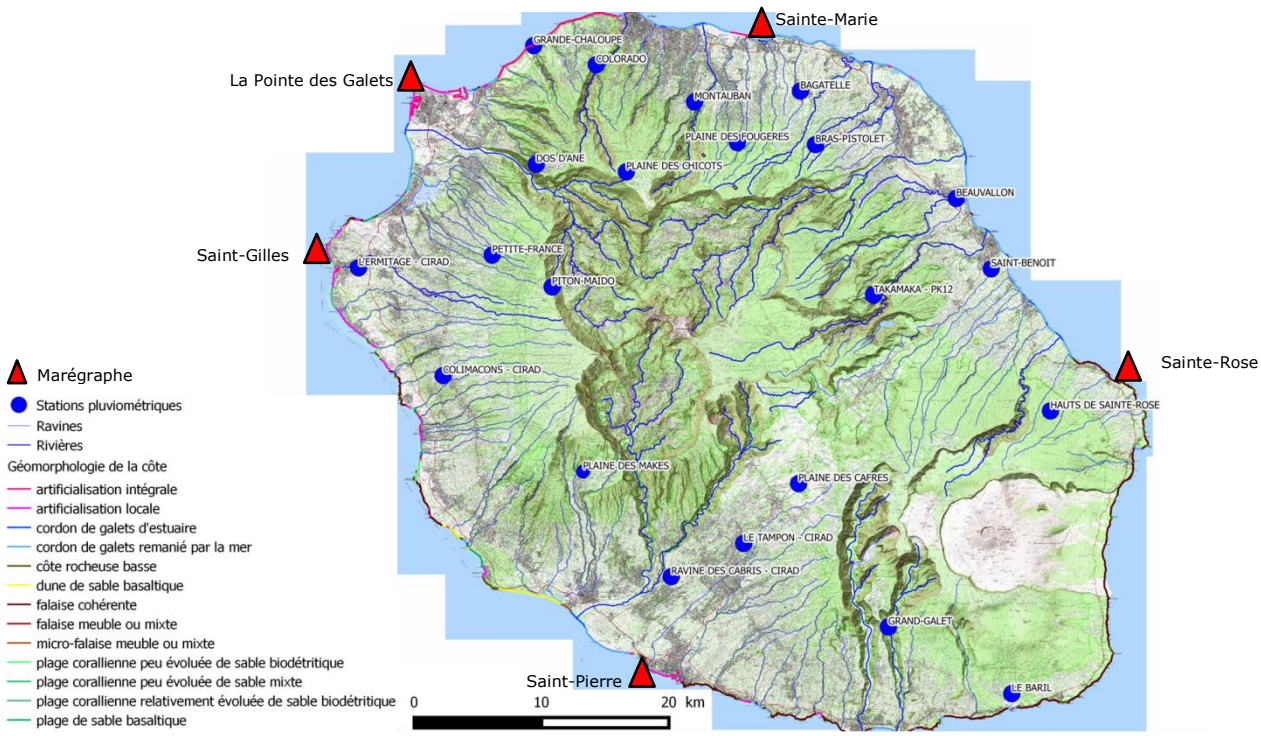


Figure 3.2 : Pluviomètres sélectionnés, hydrographie et géomorphologie côtière

3.3 Organisation de l'acquisition des données

Une première phase de l'étude a concerné l'équipement en matériel de mesure dans les secteurs Ouest et Sud-Ouest (16 ouvrages entre la Saline-les-Bains et Manapany-les-Bains). Sur chaque site sont installés à différentes profondeurs des capteurs permettant de mesurer la pression absolue, la température et la conductivité électrique. L'installation et les mesures ont débutés en juillet 2013.

Au stade actuel, les enregistrements disposent déjà de deux cycles hydrologiques complets (2014 et 2015). Le cyclone Béjisa (01.01.2014) et la dépression tropicale Haliba (07.03.2015) sont ainsi les premiers évènements hydro-climatiques majeurs dont l'impact a été enregistré par ce réseau de mesure.

Par la suite, en phase 2 et 3, de juillet à novembre 2014, le projet a permis d'étendre ce réseau respectivement dans les secteurs Nord et Est de l'île.

Le réseau est actuellement opérationnel et se constitue de 48 forages repartis sur toutes les zones littorales de l'île, situés entre 2 et 200 m d'altitude et entre 100 et 4000 m de distance par rapport à la côte.

Le projet sur le suivi de l'intrusion saline mobilise l'ensemble du personnel du service de gestion des Ressources en eau, à différents niveaux. Le relevé des données est programmé sur une fréquence trimestrielle sur l'ensemble des ouvrages. Chaque mission de récupération des données mobilise deux agents et concerne une dizaine d'ouvrages situés sur le même secteur.

Les données de terrain sont ensuite traitées et analysées afin de s'assurer du bon fonctionnement des capteurs et de vérifier la qualité de la donnée recueillie. Les données validées sont enfin bancarisées dans un outil de gestion des données hydrologiques [Hydras].

4 Analyse et interprétation des données

Les résultats du suivi en continu et de l'analyse par diagraphies de conductivité électrique sont présentés pour les 9 sous-secteurs suivants : Le Port, Saint-Paul, Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé, Saint-Pierre, Piton de La Fournaise, l'Est et le Nord. Le principal critère qui a guidé le choix de ces sous-secteurs réside dans l'homogénéité relative des formations géologiques et de l'occupation du sol.

4.1 Secteur du Port

La géologie générale du secteur du Port se caractérise par des formations alluvionnaires superficielles de La Rivière des Galets, recouvrant les formations basaltiques du Piton des Neiges.

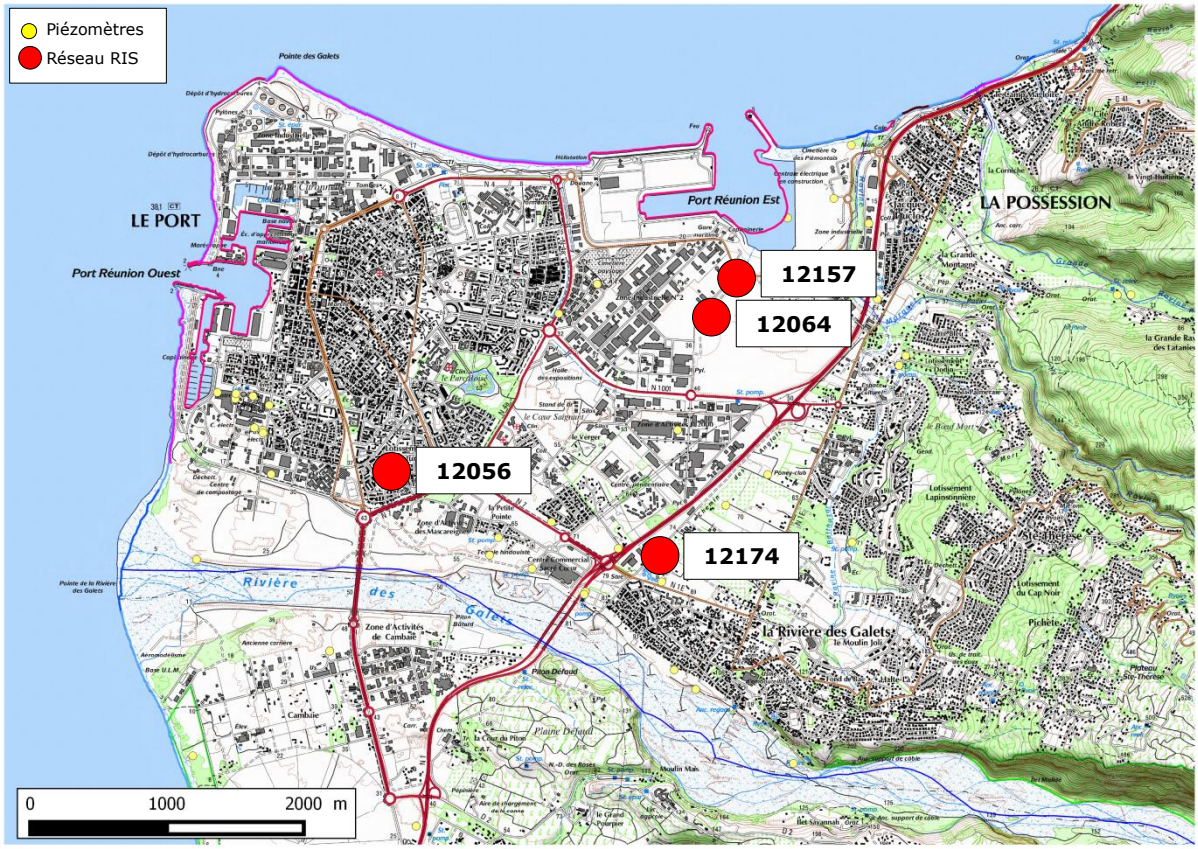


Figure 4.1 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur du Port

4 ouvrages sont instrumentés dans la plaine côtière du Port :

- 12056 P3-A-B-C du Lotissement Cotur (flûte de Pan),
- 12064 FT5-A Port Nord,
- 12157 F3 Port Nord,
- 12174 P3 Sacré-Cœur.

4.1.1 Piézomètre 12056 P3-A du Lotissement Cotur

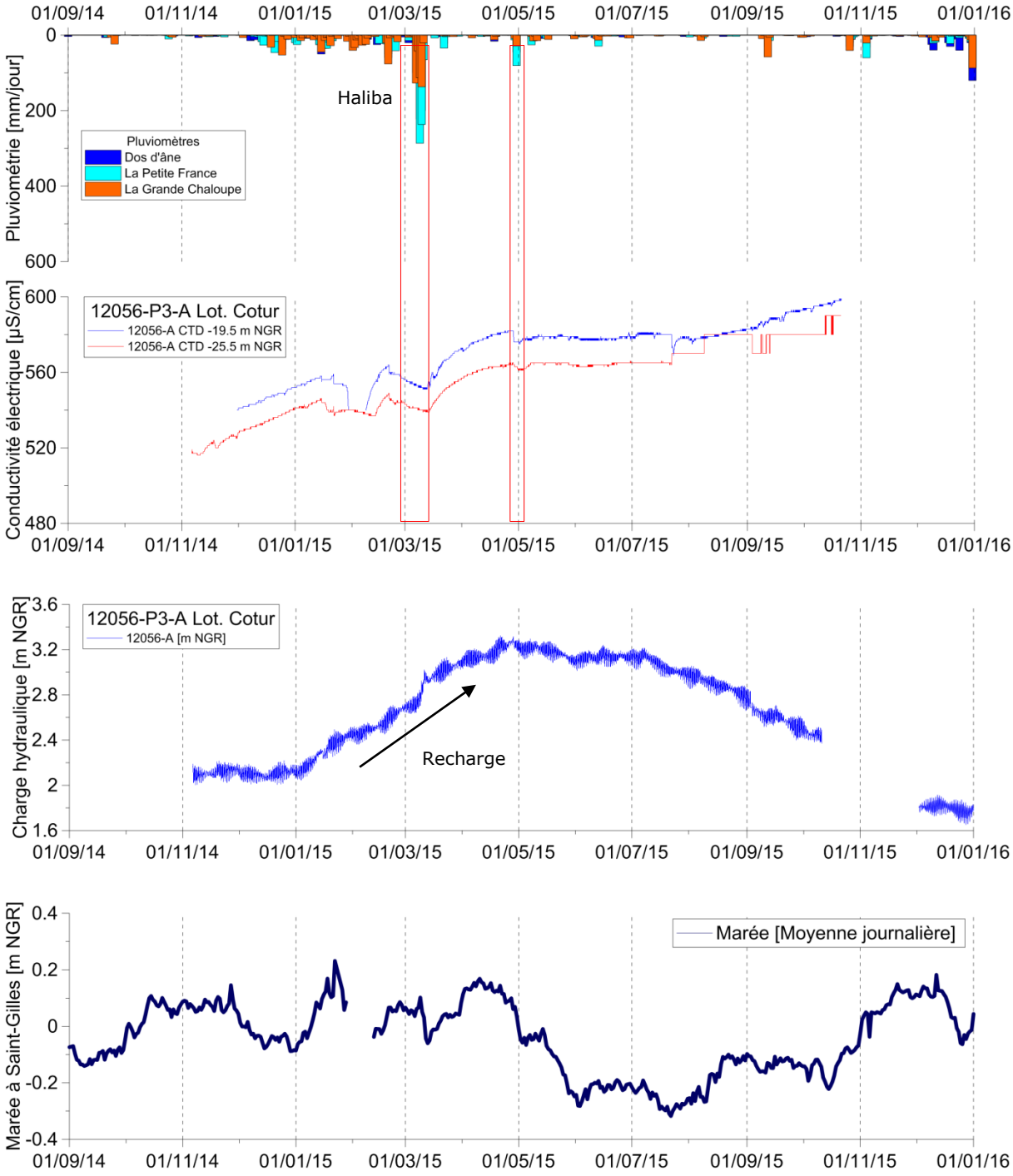


Figure 4.2 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-A Lotissement Cotur

Le suivi en continu sur cet ouvrage est opérationnel depuis novembre 2014. Les données recueillies s'étalent sur une année d'enregistrement. Les deux capteurs de conductivité montrent que les épisodes de recharge majeurs induisent une légère baisse de la salinité dans la nappe interceptée. Ce comportement peut s'observer durant la dépression tropicale Haliba (07/03/2015) et durant l'évènement pluvieux du 01/05/2015.

Par ailleurs, le capteur situé à -19.5 m NGR affiche une conductivité légèrement plus élevée que celle affichée par le capteur plus profond. Compte tenu de la faible différence des valeurs mesurées, il peut s'agir d'un problème de calibration des deux capteurs.

Enfin, les deux capteurs affichent la même tendance à la hausse des conductivités dans cet ouvrage depuis son instrumentation. Cette tendance est confirmée par les logs de conductivité réalisés depuis 2013 qui montrent une salinisation progressive de la nappe. Depuis mars 2013, la conductivité est passée de 400 à près de 600 µS/cm (Figure 4.3).

Ce constat suggère une influence des pompages sur une salinisation croissante des ouvrages. Une analyse de l'impact des prélèvements dans ce secteur permettrait de confirmer cette hypothèse.

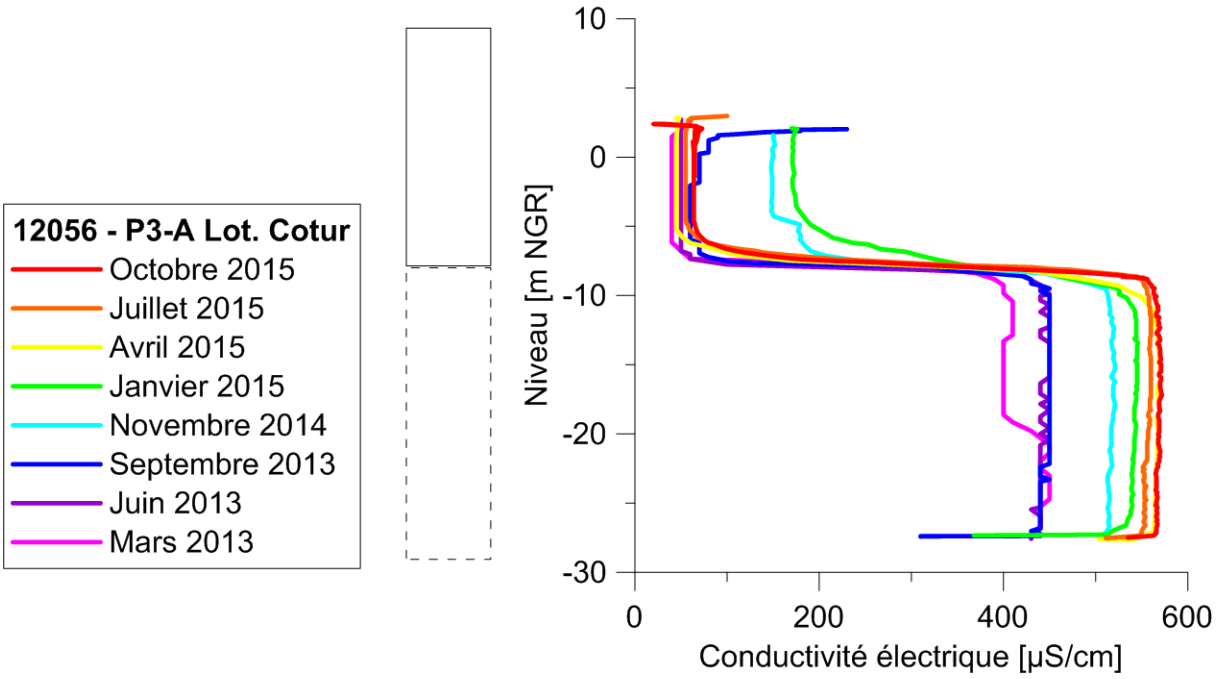


Figure 4.3 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-A Lotissement Cotur

La poursuite du suivi dans cet ouvrage est préconisée afin de surveiller la dégradation constatée de la qualité de cette nappe superficielle sur ce site fortement anthropisé et pour lequel la recharge annuelle de 2015 n'a pas suffi à inverser la tendance à l'augmentation de la salinité.

4.1.2 Piézomètre 12056 P3-B du Lotissement Cotur

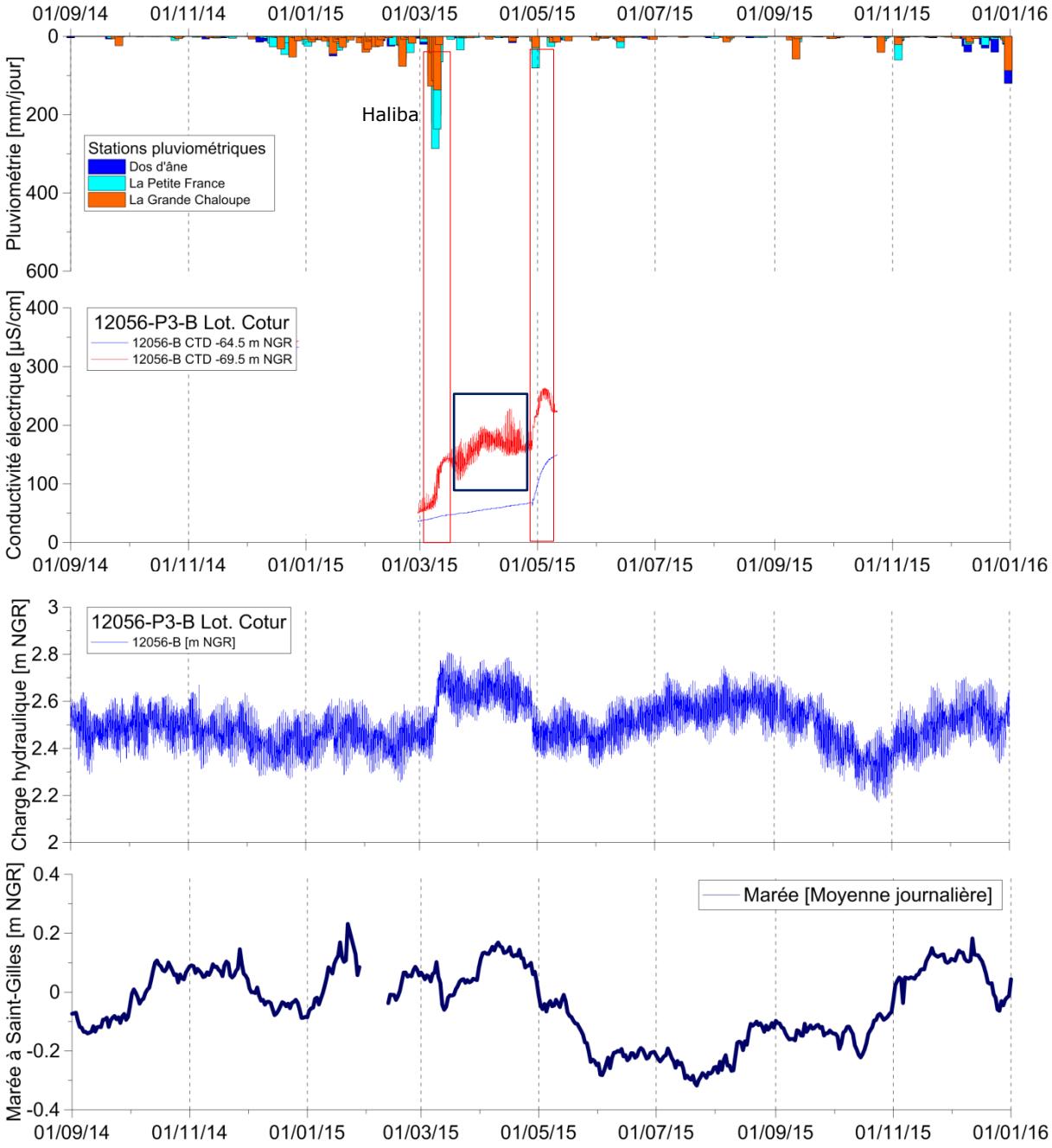


Figure 4.4 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-B Lotissement Cotur

La tendance à la hausse décrite précédemment est également observée sur le suivi en continu au piézomètre P3-B. En revanche, les épisodes de recharge ne semblent pas faire baisser la salinité dans la nappe intermédiaire.

Les signaux fortement perturbés indiquent des difficultés de positionnement des capteurs aux profondeurs ciblées. Le capteur le plus profond montre que les variations de conductivité électrique de la nappe à l'échelle journalière restent contrôlées par la marée [carré noir sur la Figure 4.4].

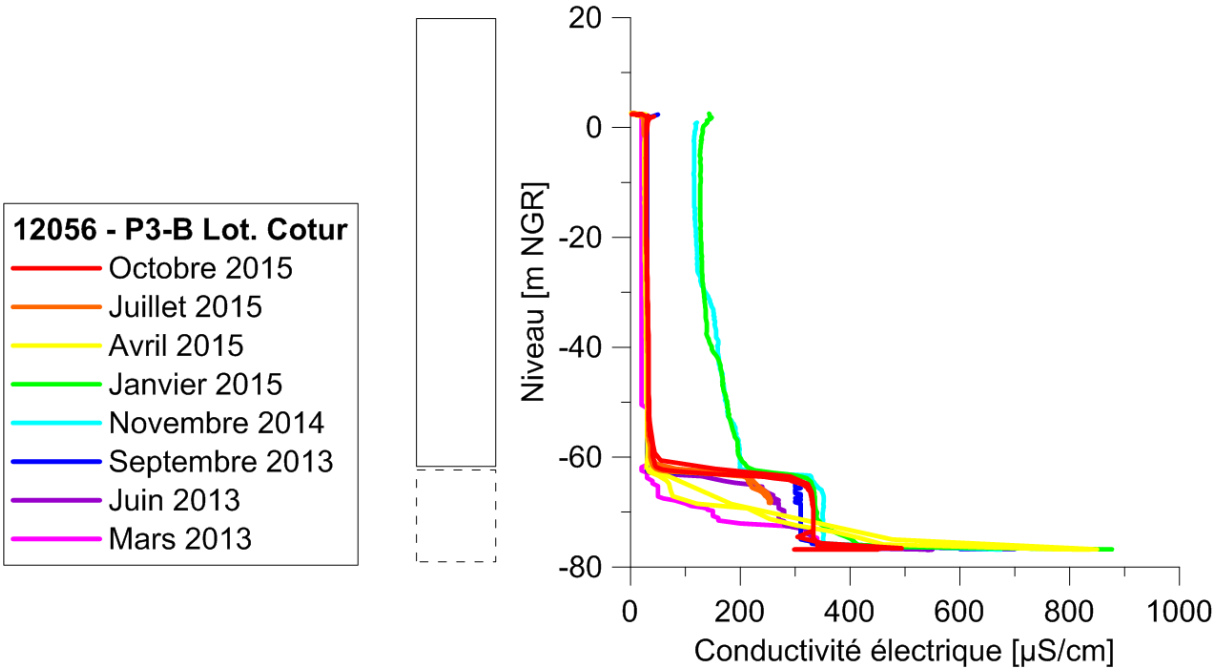


Figure 4.5 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-B Lotissement Cotur

Les logs de conductivité électrique réalisés depuis 2013 ne montrent pas d'évolution particulière de la salinité au cours du temps. Il apparait toutefois que les diagraphies réalisées un à deux mois après un épisode de recharge majeur affichent des conductivités plus faibles dans la nappe. Cette observation peut être faite sur les logs de mars 2013 (deux mois après le cyclone Bejisa) et avril 2015 (un mois après la dépression tropicale Haliba). L'ajout des logs historiques permettra de généraliser cette tendance sur les évènements hydro-climatiques antérieurs.

4.1.3 Piézomètre 12056 P3-C du Lotissement Cotur

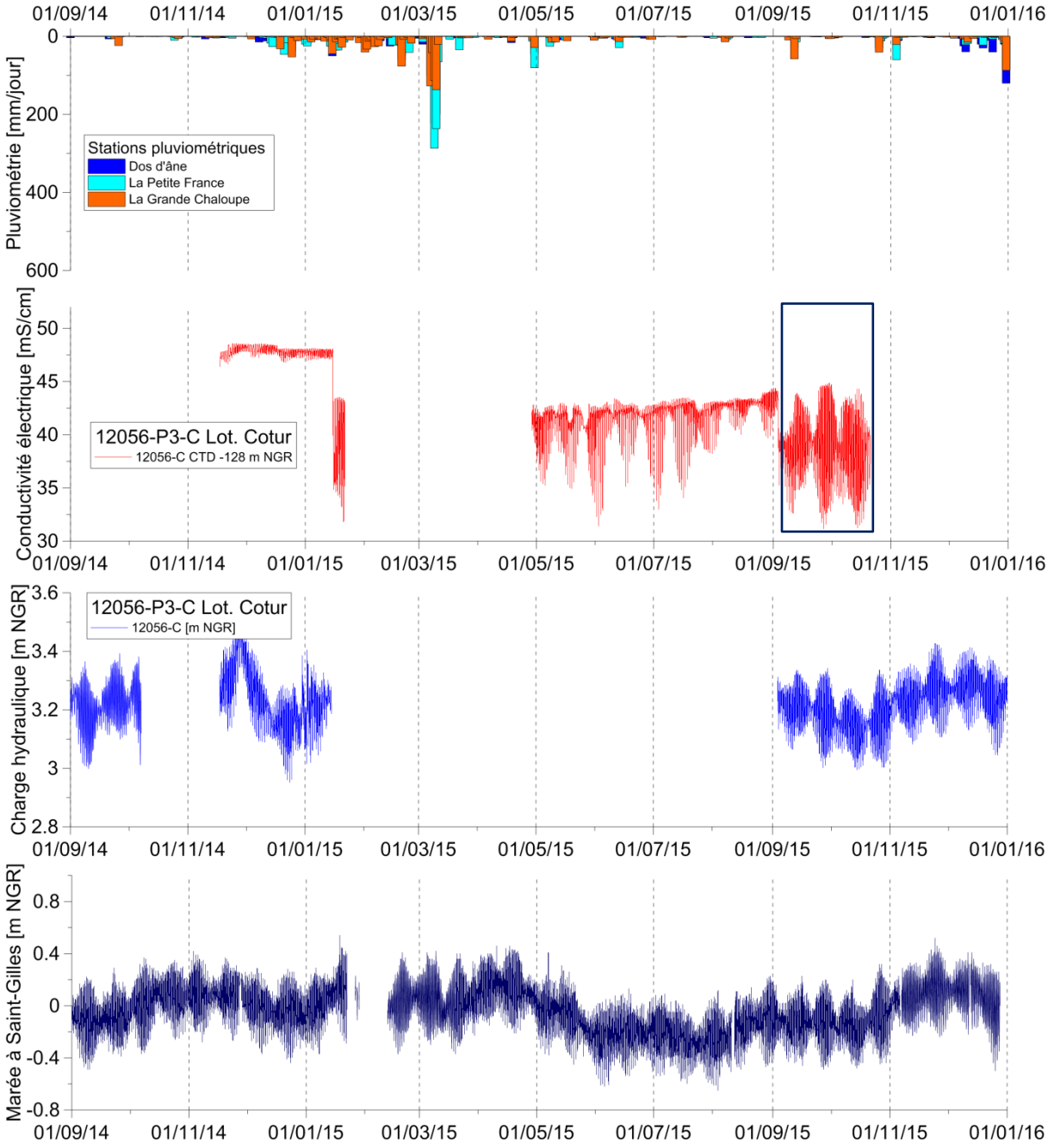


Figure 4.6 : Suivi en continu au piézomètre 12056 P3-C Lotissement Cotur

Le signal de conductivité électrique enregistré par le capteur profond indique que la nappe inférieure est davantage impactée par la marée.

L'impact de la recharge est amoindri et les niveaux de conductivité électrique très élevés (> 40 000 µS/cm) indiquent l'entrée dans de l'eau de mer.

Les logs de conductivité électrique réalisés dans cet ouvrage n'atteignent pas les crépines en raison d'une limite à 100 m de la pression hydrostatique sur le capteur utilisé.

L’usage d’un capteur de pression adaptée sur ce forage est préconisé afin de permettre l’investigation au niveau des crépines et du biseau salé qui est caractérisé ici par une augmentation rapide des conductivités passant de 300 à plus de 30 000 µS/cm en fin de logs (Figure 4.7).

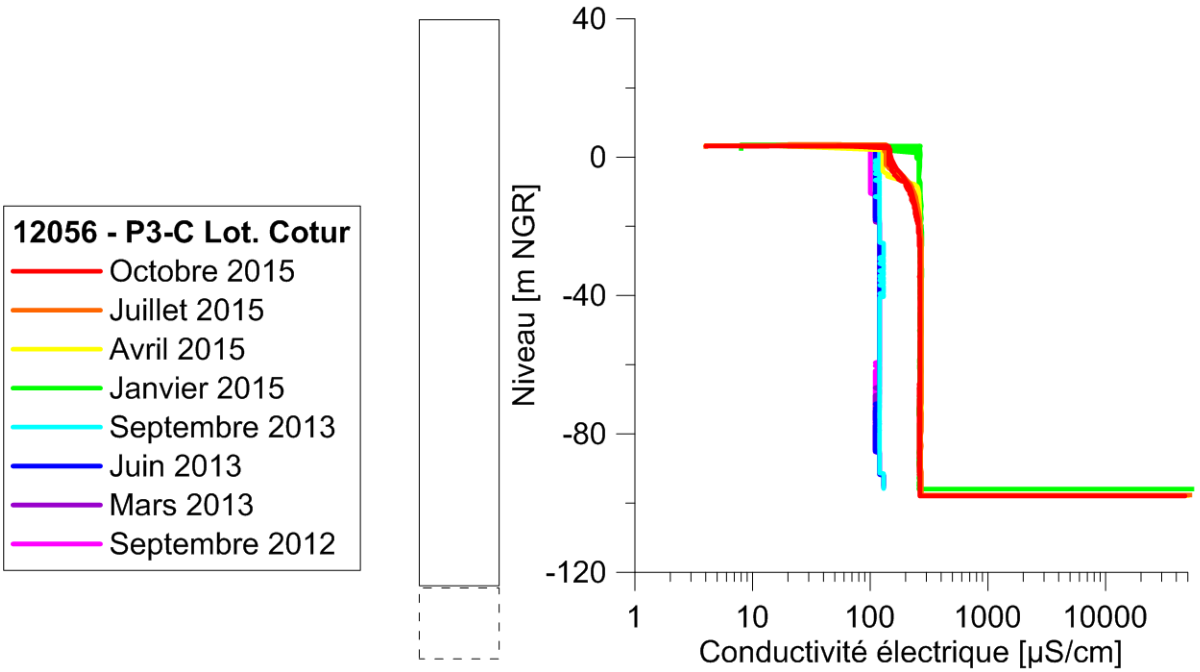


Figure 4.7 : Logs de conductivité électrique sur 12056 P3-C Lotissement Cotur

4.1.4 Piézomètre 12064 FT5-A Port Nord

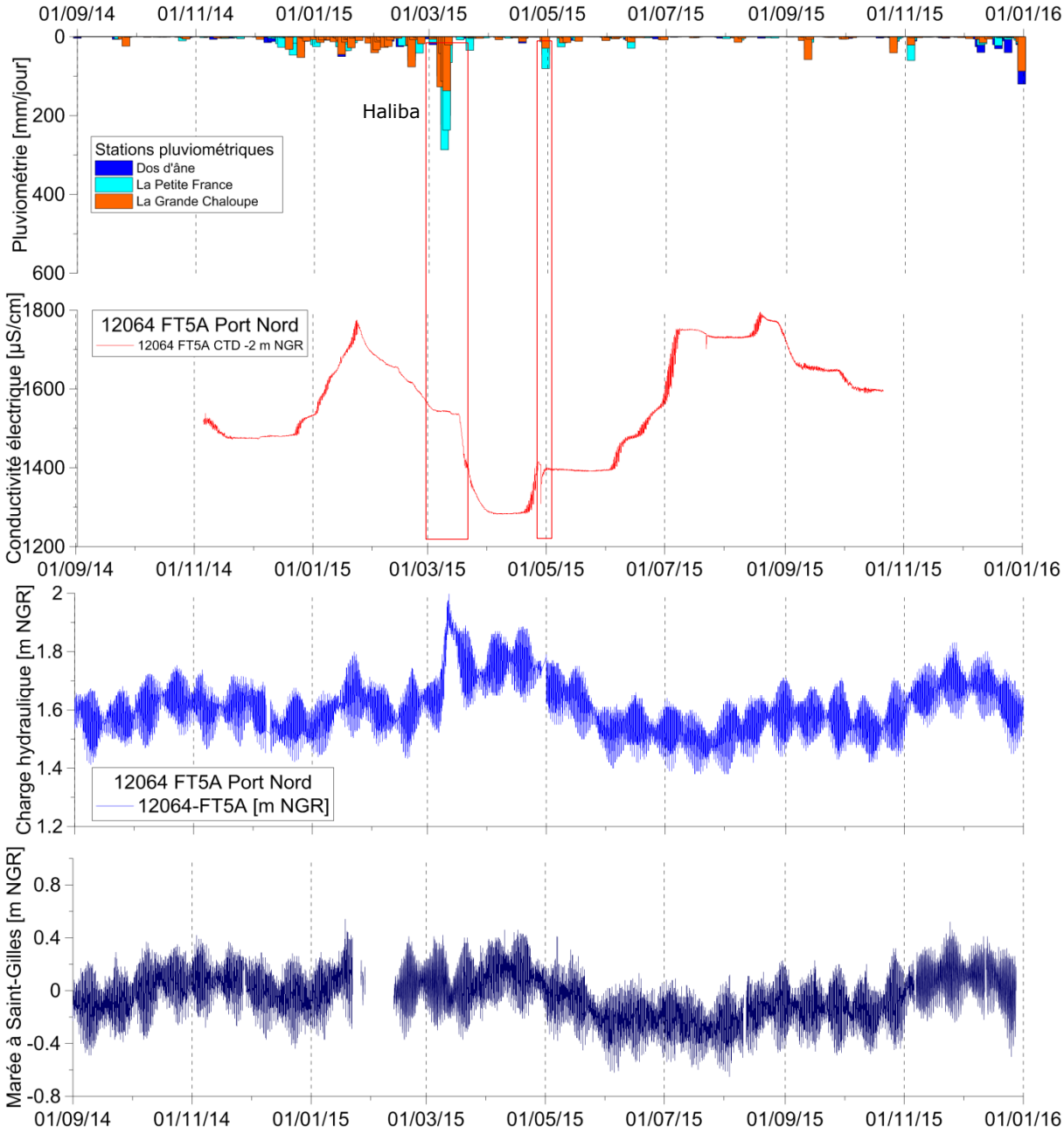


Figure 4.8 : Suivi en continu au piézomètre 12064 FT5-A Port Nord

Le signal de conductivité enregistré sur cet ouvrage montre que les épisodes de recharge les plus marquants s'accompagnent d'une baisse de la conductivité électrique dans la nappe. Cette observation peut être faite notamment suite à la dépression tropicale Haliba (07/03/2015).

L'impact de la marée se caractérise par de très légères variations de la salinité à l'échelle journalière uniquement lors des phases d'augmentation de la salinité. Ces variations restent négligeables par rapport aux variations de plus basses fréquences (mensuelles et annuelles) liées à la recharge.

Les logs de conductivités réalisés sur cet ouvrage montrent une salinité homogène sur toute la colonne d'eau avec très peu de variations dans le temps. Il apparait ici encore que le log réalisé en avril 2015 (un mois après la dépression tropicale Haliba) affiche des niveaux de salinité plus faibles sur la partie supérieure, associés à l'épisode de recharge (Figure 4.9).

Ce résultat confirme le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage par suivi en continu montrant une baisse des salinités associée à l'évènement Haliba.

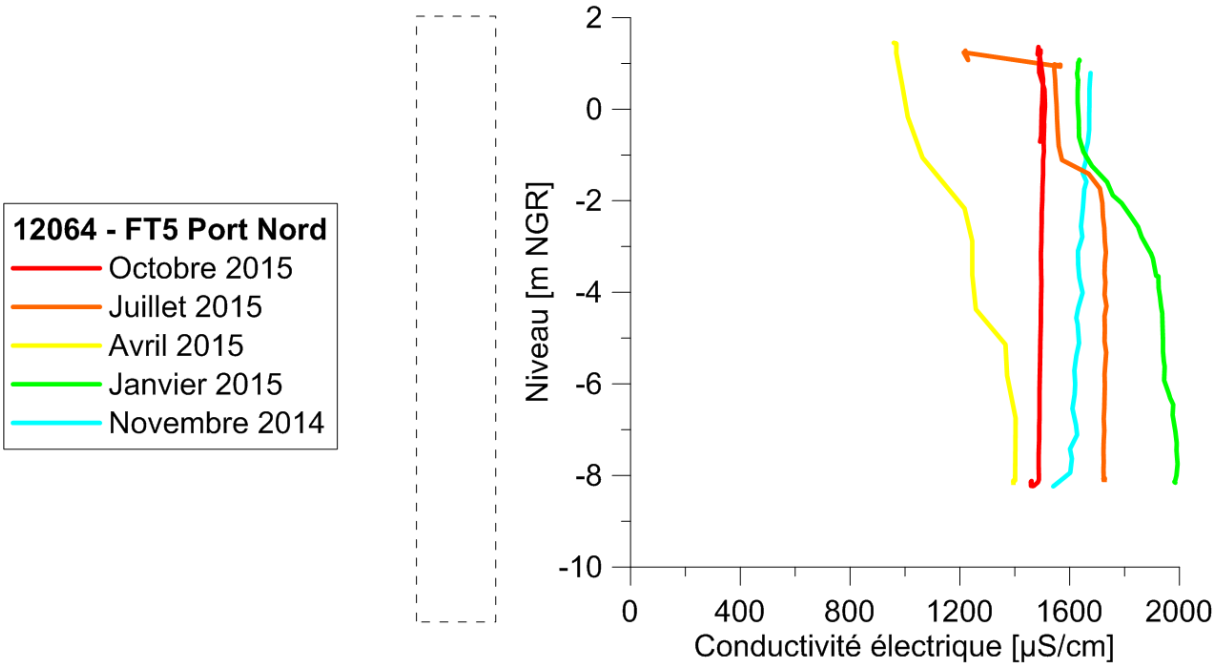


Figure 4.9 : Logs de conductivité électrique sur 12064 FT5-A Port Nord

4.1.5 Piézomètre 12157 F3 Port Nord

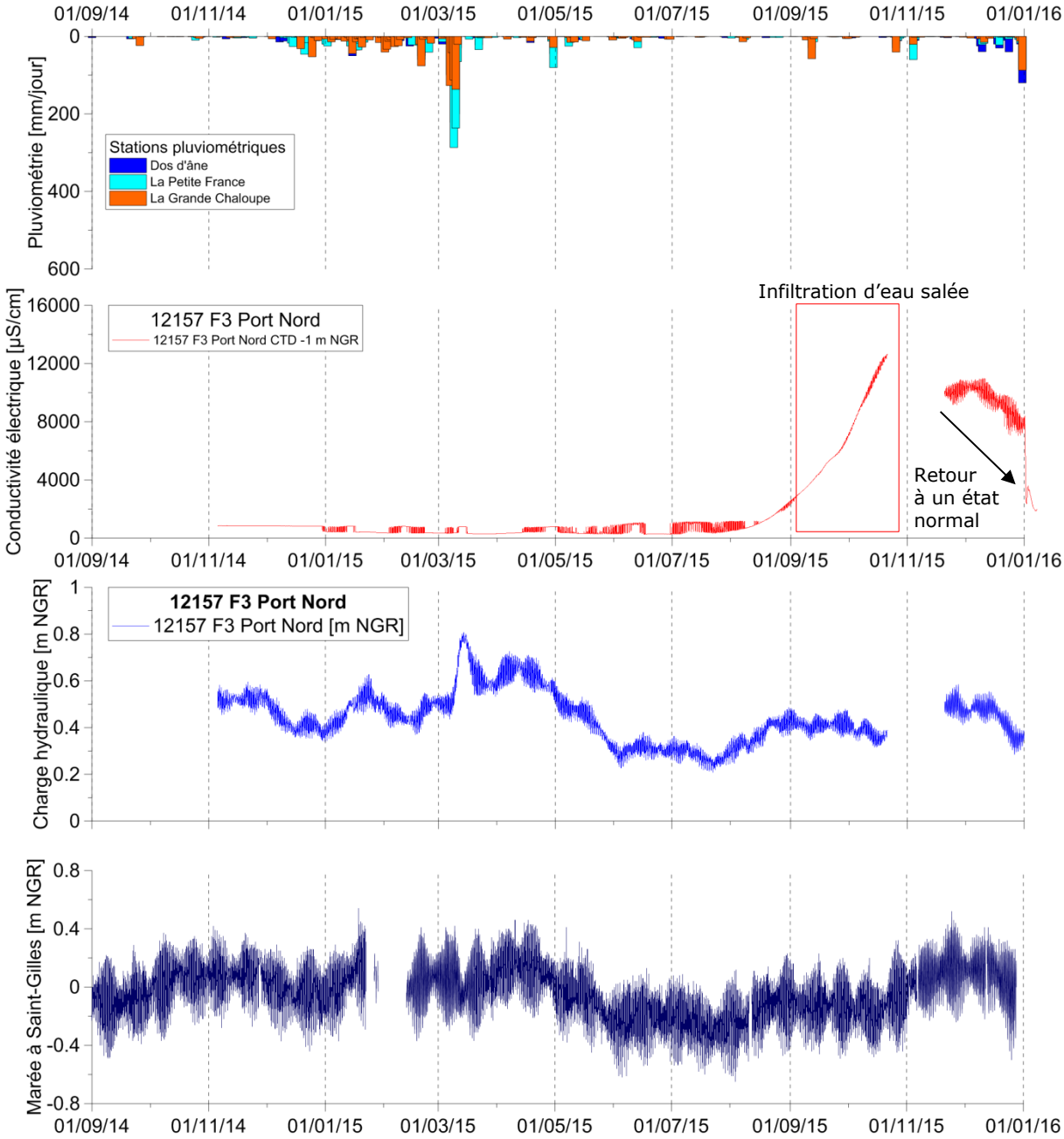


Figure 4.10 : Suivi en continu au piézomètre 12157 F3 Port Nord

Le signal de conductivité enregistré sur ce forage montre un niveau de salinité constant en temps normal fluctuant autour de 1 000 µS/cm. A partir de fin août 2015, une hausse brusque des salinités est observée, avec des conductivités électriques qui passent de 1 000 à 12 000 µS/cm.

Cette dégradation est provoquée par une infiltration locale et continue provenant d'un dépôt d'alluvions marines entreposées en amont hydraulique immédiat du forage. Cette contamination d'origine anthropique induit ce pic de conductivité électrique observé en fin de chronique (Jacquin 2015).

Les logs de conductivité réalisés sur cet ouvrage avant août 2015 rendent compte des faibles variations de salinités de la nappe côtière qui reste largement influencée par la marée. Le dernier log de conductivité confirme la salinisation importante observée dans le suivi temporel (Figure 4.11).

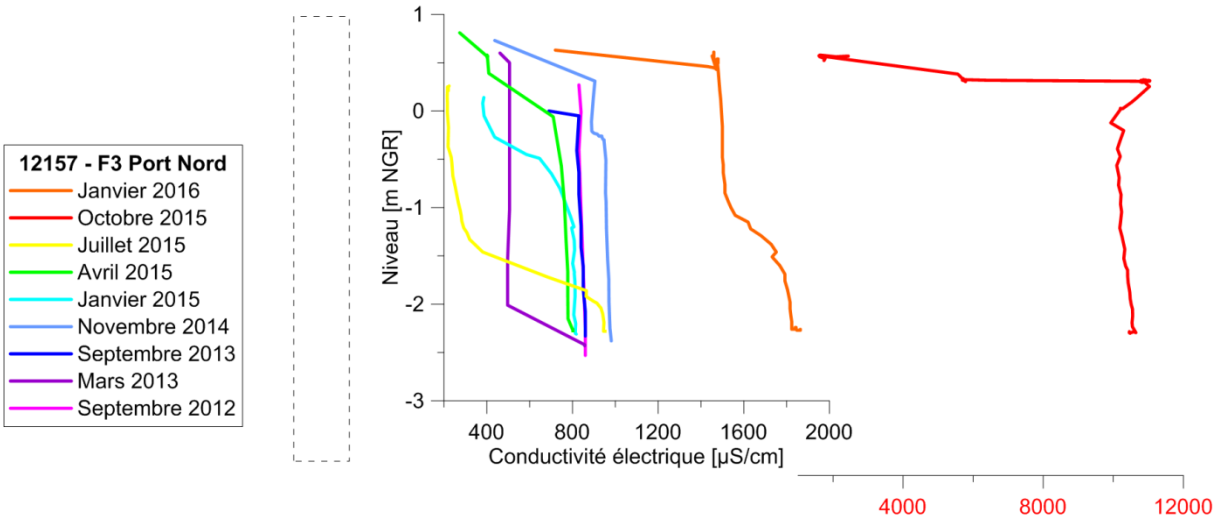


Figure 4.11 : Logs de conductivité électrique sur 12157 F3 Port Nord

4.1.6 Piézomètre 12174 P3 Sacré Cœur

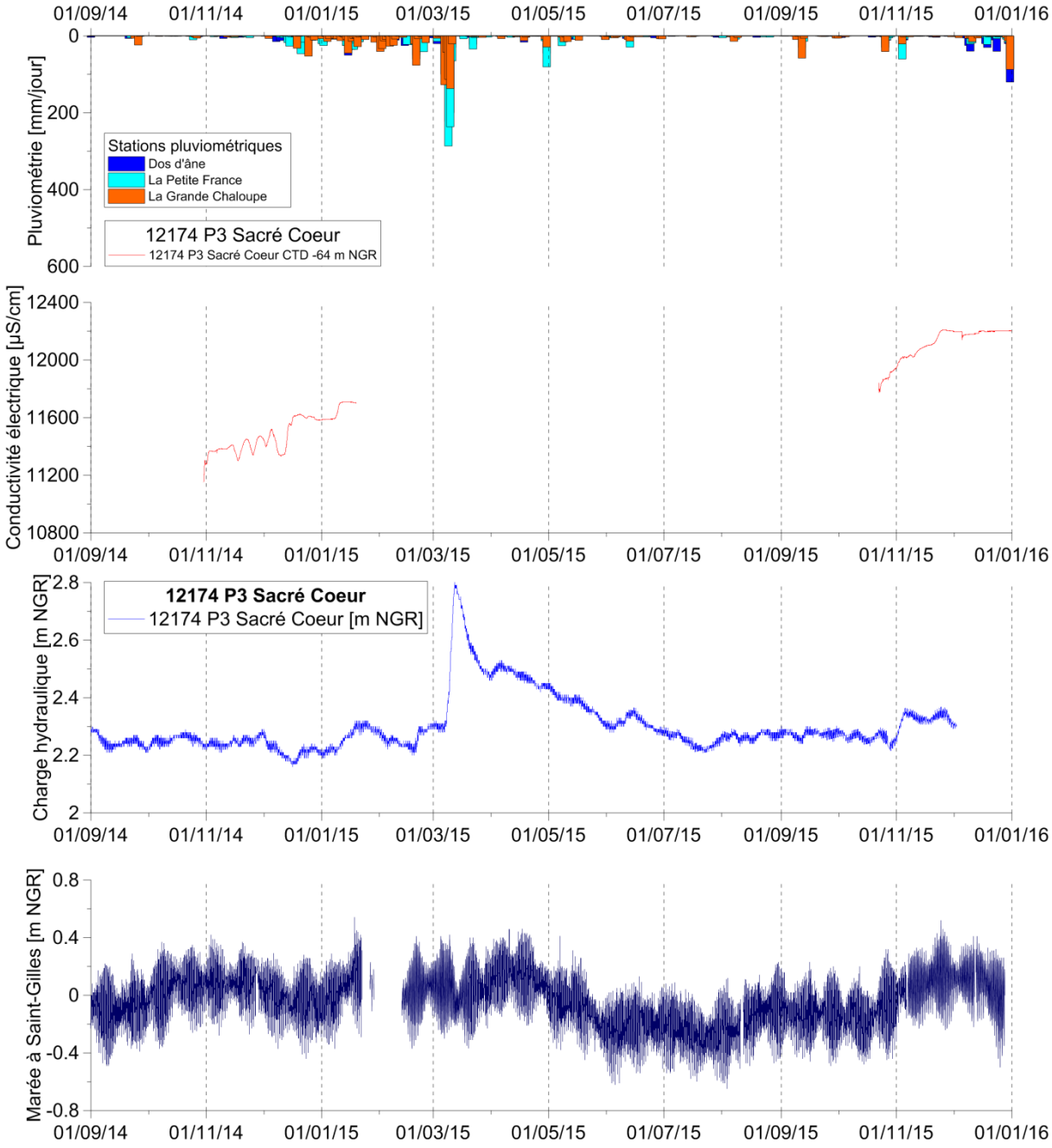


Figure 4.12 : Suivi en continu au piézomètre 12174 P3 Sacré Cœur

Sur le piézomètre 12174 P3 Sacré Cœur, la longueur de chronique limitée à 3 mois ne permet pas de caractériser le comportement hydrogéologique au niveau de ce forage. Ce résultat s'explique par un mauvais positionnement du capteur de conductivité qui est resté hors de l'eau depuis janvier 2015. L'installation d'un lest sous le capteur devrait permettre d'éviter ce type de problème.

La recharge associée aux précipitations de la dépression Haliba entraine une importante hausse de la piézométrie au niveau de cet ouvrage.

Cette arrivée d'eau douce s'est probablement accompagnée d'une baisse de la salinité, non enregistrée par le capteur, mais révélée par les logs de conductivité électrique.

Les logs de conductivité réalisés sur cet ouvrage indiquent i) une baisse de la salinité après le passage d'Haliba et ii) une relative inertie des salinités de la nappe depuis 2013, avec des niveaux de conductivités électriques qui passent de 400 µS/cm en surface à plus de 10 000 µS/cm en profondeur (Figure 4.13).

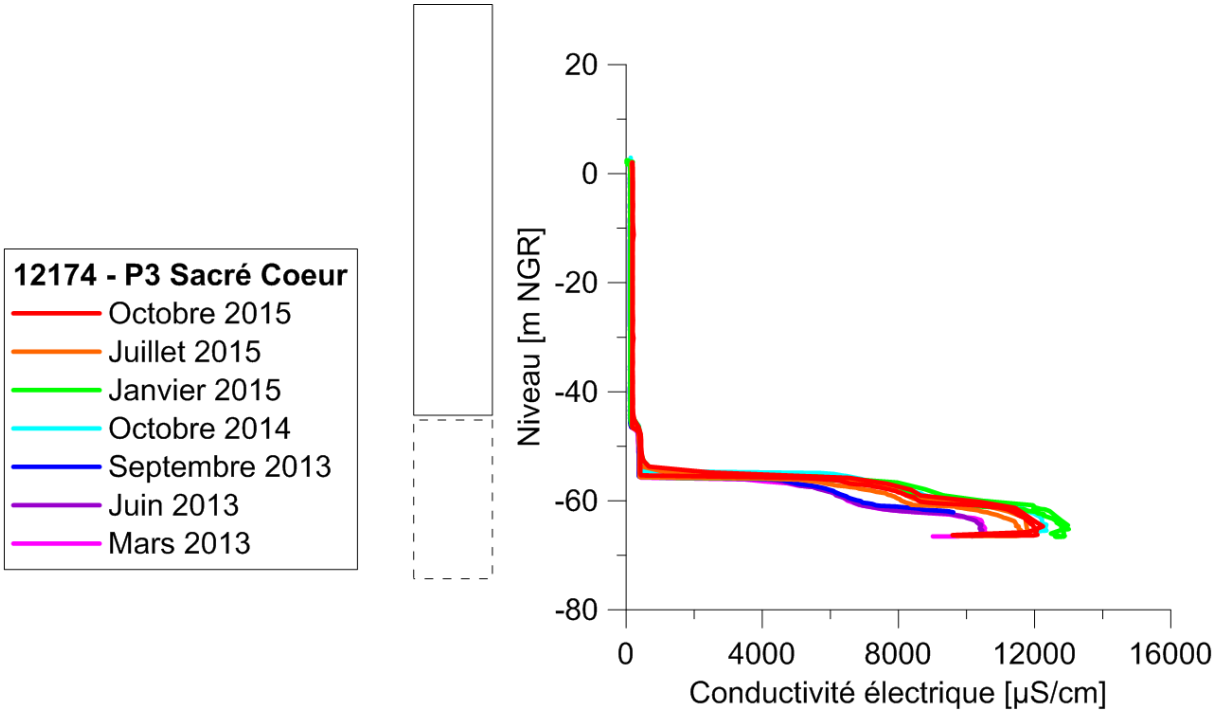


Figure 4.13 : Logs de conductivité électrique sur 12174 P3 Sacré Cœur

4.1.7 Synthèse des résultats dans le secteur du Port

Les chroniques de conductivité électrique enregistrées dans le secteur du Port indiquent une sensibilité des nappes côtières vis-à-vis des épisodes de recharge qui induisent une baisse des salinités dans les ouvrages interceptant la nappe supérieure au lotissement Cotur et sur FT5-A Port Nord.

Les chroniques enregistrées sur le multi-piézomètre P3-A-B-C du Lotissement Cotur montrent que les nappes supérieure et intermédiaire sont plus sensibles aux infiltrations directes et à la recharge provenant de l'amont, tandis que la nappe inférieure est davantage assujettie aux fluctuations marégraphiques.

La poursuite de la surveillance des nappes côtières dans ce secteur est préconisée. La réalisation de logs avec un capteur capable d'atteindre les crépines dans l'ouvrage P3-C permettra d'améliorer considérablement les connaissances sur le comportement de l'interface saline dans ce secteur stratégique et hautement vulnérable.

4.2 Secteur de l'étang Saint-Paul

La géologie du secteur de l'étang Saint-Paul se caractérise par des formations alluvionnaires superficielles de La Rivière des Galets, recouvrant les formations basaltiques du Piton des Neiges.

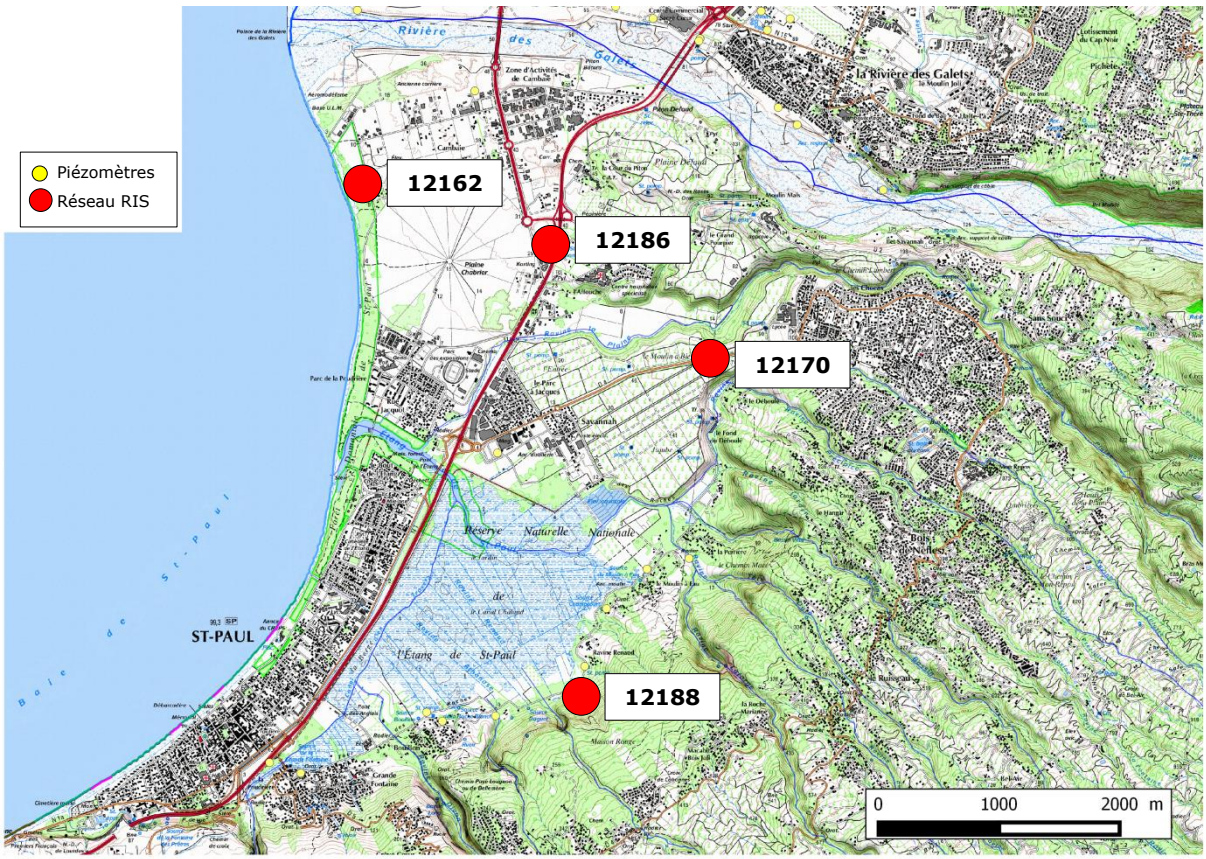


Figure 4.14 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à l'étang Saint-Paul

4 ouvrages sont instrumentés dans la plaine côtière de Saint-Paul :

- 12162 S3 Oméga,
- 12170 P13 Cambaie,
- 12186 P18 Oméga N°2,
- 12188 P21-B.

4.2.1 Piézomètre 12162 S3 Oméga

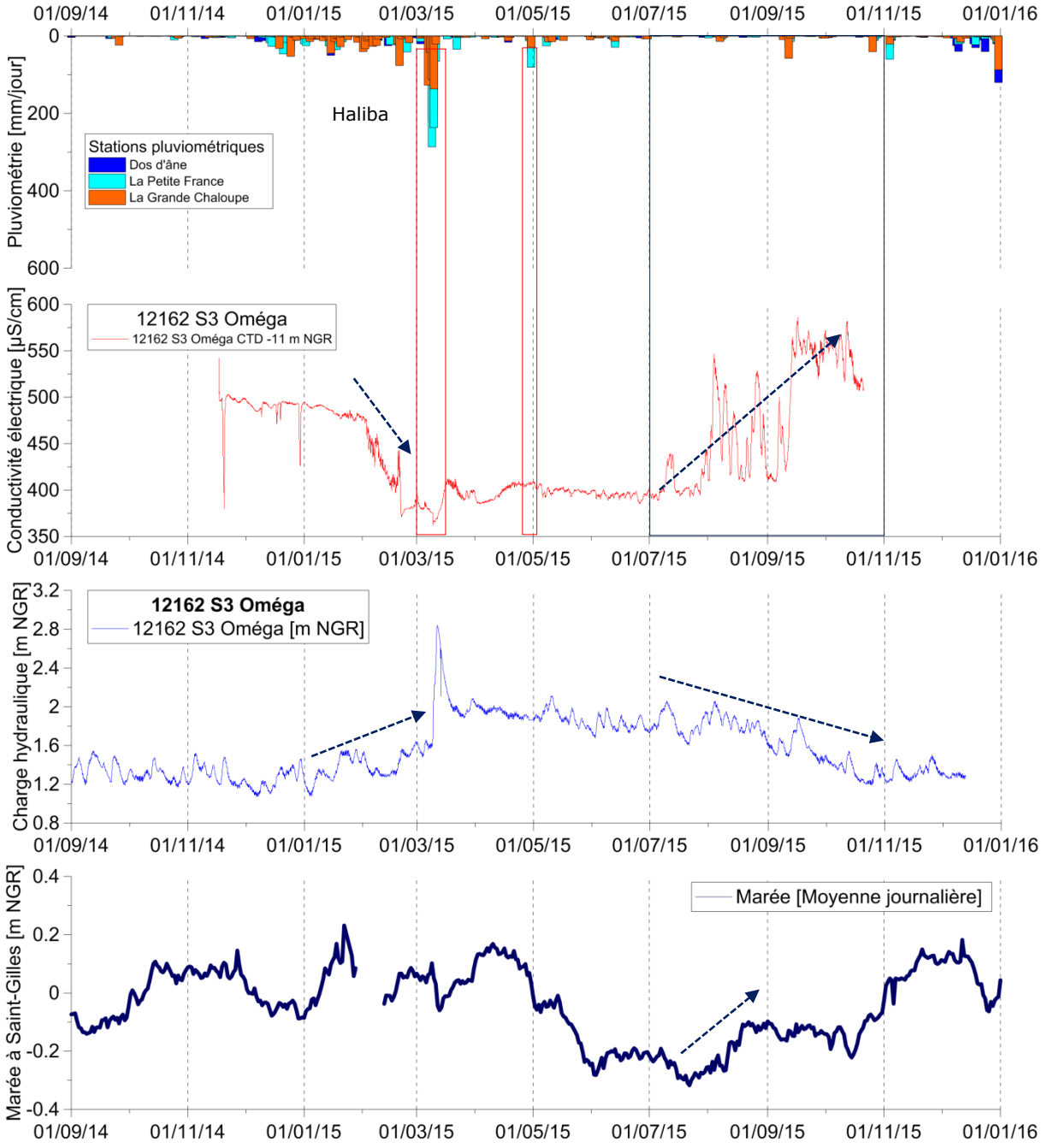


Figure 4.15 : Suivi en continu au piézomètre 12162 S3 Oméga

Le signal de conductivité électrique enregistré sur l'ouvrage 12162 S3 Oméga montre une baisse de la minéralisation à partir de janvier 2015 : cette diminution des conductivités électriques peut être associée à l'impact de la recharge sur ce site.

Par ailleurs, il est possible d'observer des pics de conductivité à partir du mois de juillet. Ces pics peuvent être associés à i) une influence des pompages, ii) une influence du milieu marin, et probablement de la houle australe, iii) un début de dérèglement du capteur de conductivité électrique.

Enfin, il est intéressant de noter également une tendance à la hausse des conductivités électriques à partir de juillet 2015, qui passent de 400 µS/cm en juillet à 550 µS/cm au mois d'octobre 2015. Cette évolution pourrait bien être mise en parallèle avec i) une hausse du niveau moyen de la mer sur la même période ou ii) une baisse de la piézométrie liée à une diminution de la recharge sur cette période.

Les logs de conductivité réalisés sur cet ouvrage depuis 2014 mettent en évidence une colonne d'eau relativement homogène avec des conductivités électriques comprises entre 300 et 500 µS/cm (Figure 4.16). Compte tenu de la proximité de la côte (120 m), les niveaux de salinités mesurés pendant les logs peuvent être influencés par l'état (haut ou bas) de la marée au moment de l'intervention.

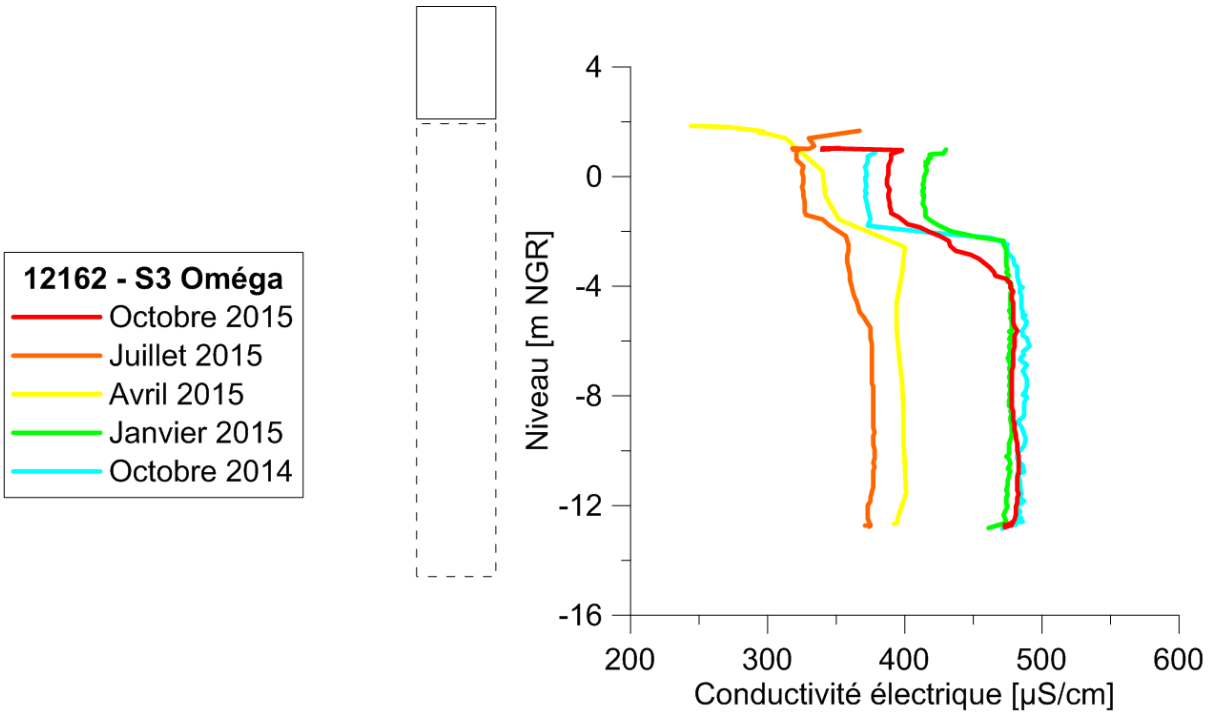


Figure 4.16 : Logs de conductivité électrique sur 12162 S3 Oméga

4.2.2 Piézomètre 12170 P13 Cambaie

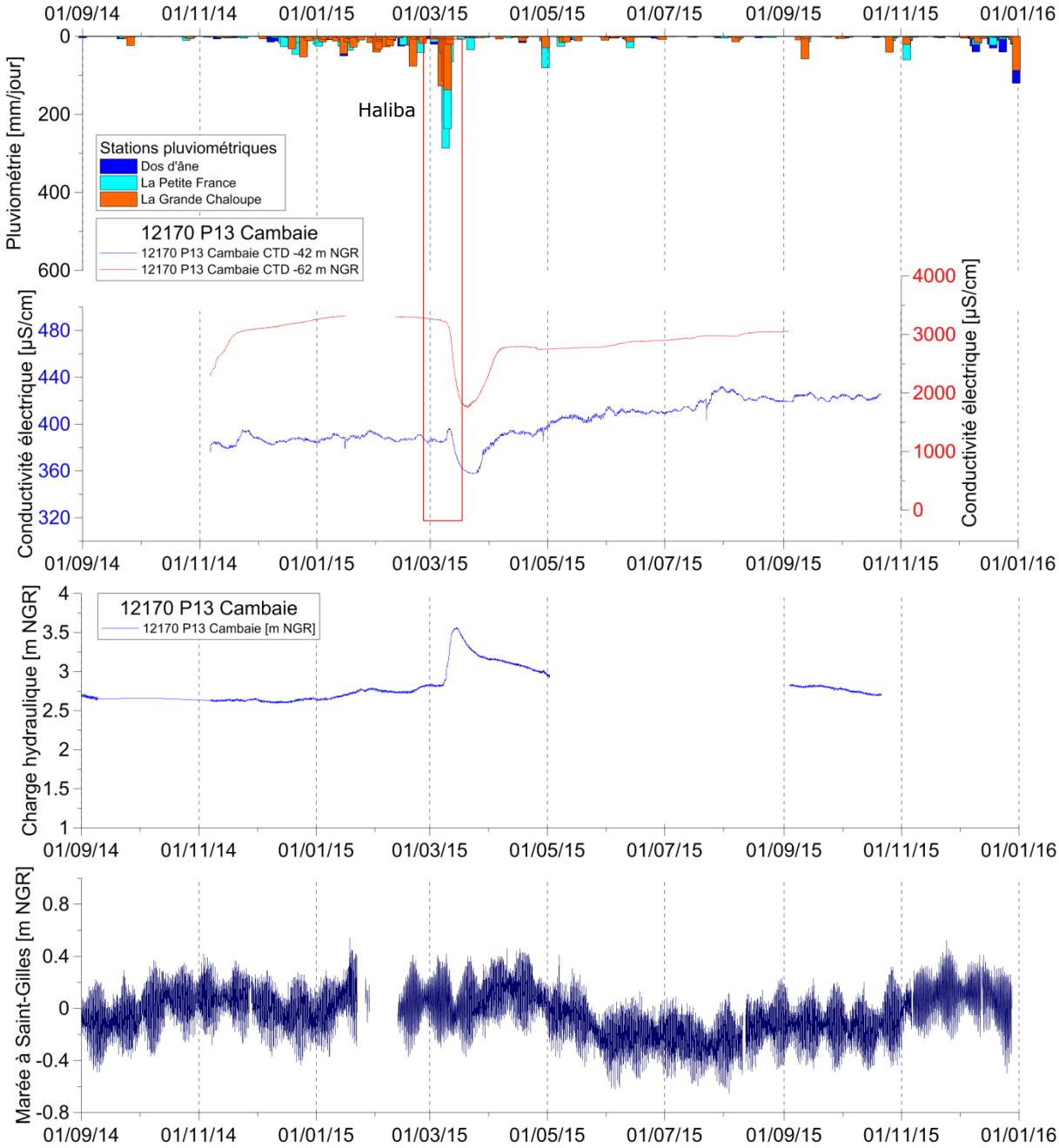


Figure 4.17 : Suivi en continu au piézomètre 12170 P13 Cambaie

Le signal de conductivité enregistré sur ce piézomètre montre une légère tendance à la hausse des conductivités sur toute la période des mesures. Cette évolution a été ralentie par l'épisode de recharge lié à la dépression tropicale Haliba qui provoque une baisse significative des salinités enregistrées par les deux capteurs de conductivité.

L'impact de la marée est moindre sur cet ouvrage, compte tenu de son éloignement par rapport à la côte (3 000 m).

Les logs de conductivité électrique réalisés montrent une faible variation des salinités en fonction du temps. Les conductivités électriques restent assez faibles sur une colonne d'eau de 60 m (500 µS/cm), avant de passer brusquement de 500 à 3 000 µS/cm vers -65 m NGR au fond du forage (Figure 4.18). Ce phénomène, également visible sur le suivi en continu, peut s'expliquer par la présence au fond de l'ouvrage (au-delà de -62 m NGR) d'un dépôt boueux plus concentré.

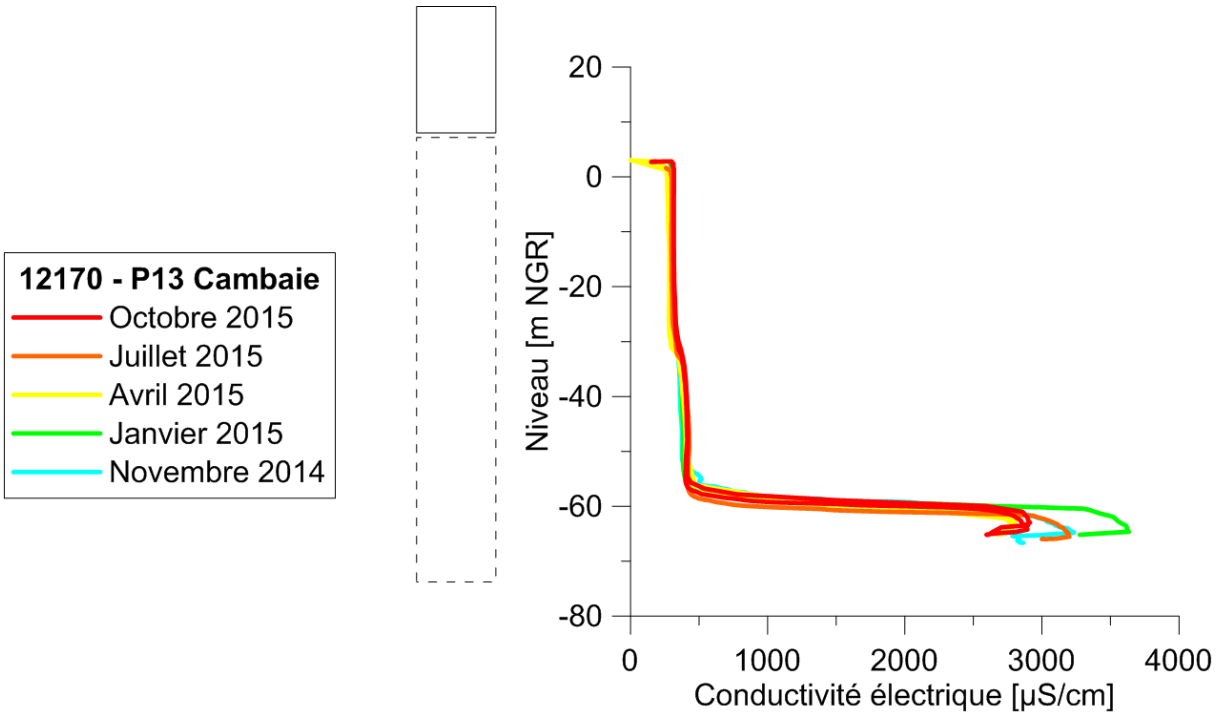


Figure 4.18 : Logs de conductivité électrique sur 12170 P13 Cambaie

4.2.3 Piézomètre 12186 P18 Oméga N°2

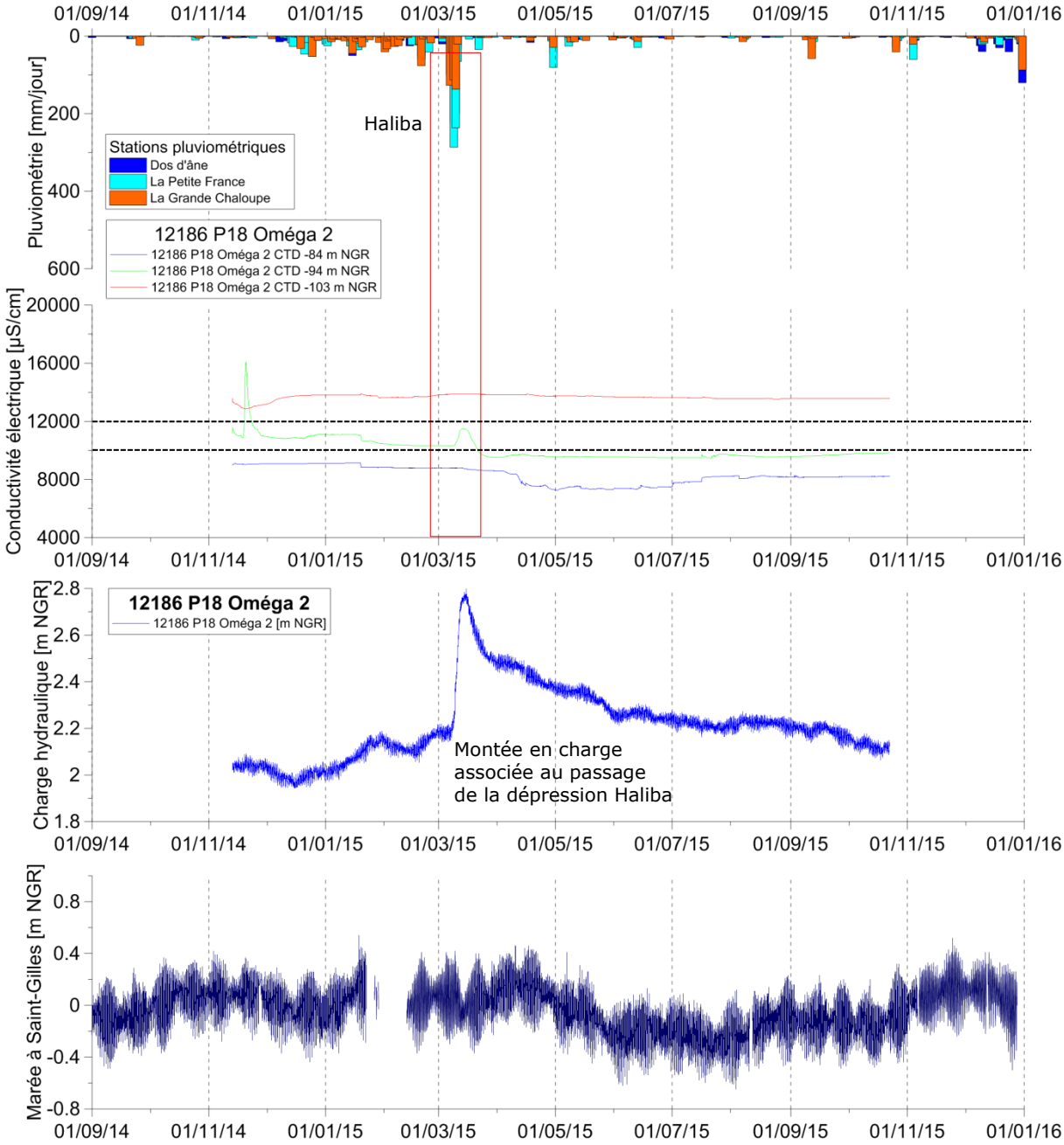


Figure 4.19 : Suivi en continu au piézomètre 12186 - P18 Oméga N°2

Les signaux de conductivité enregistrés sur cet ouvrage montrent différentes réponses de la nappe en fonction de la profondeur des mesures suite à l'évènement hydro-climatique Haliba. Le capteur superficiel (placé à -84 m NGR) affiche une baisse des salinités associée à l'arrivée d'eau météorique rechargeant la nappe. La conductivité passe de 8 000 µS/cm en mars 2015 à 7 000 µS/cm en avril 2015. Le capteur intermédiaire (placé à -94 m NGR) indique un pic de salinité au mois de mars (d'environ 1000 µS/cm), suivi d'une légère baisse des salinités en avril 2015. Enfin, le capteur le plus profond (placé à –103 m NGR) n'enregistre aucun impact de la recharge amont et affiche une conductivité électrique constante qui se maintient à 14 000 µS/cm sur toute la période des mesures.

Les logs de conductivité électrique mettent en évidence une interface saline relativement diffuse, caractérisée par une augmentation progressive des conductivités électriques qui passent de 8 000 µS/cm vers -80 m NGR à 14 000 µS/cm à – 100 m NGR (Figure 4.20).

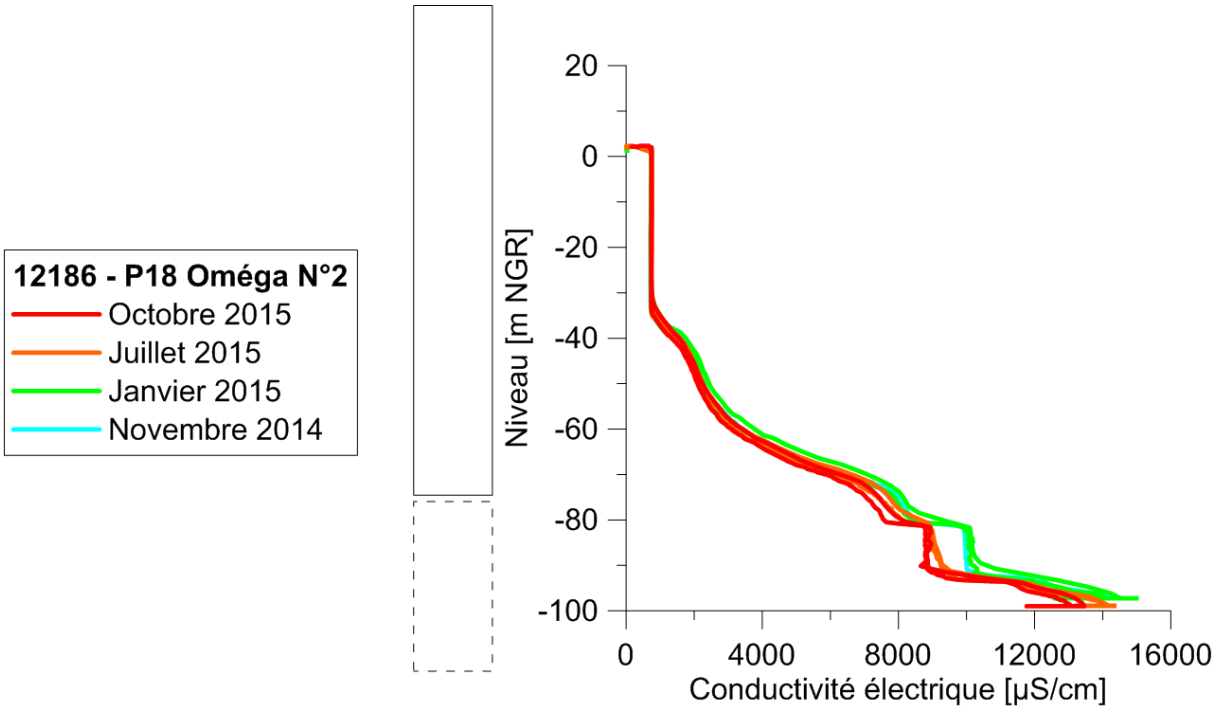


Figure 4.20 : Logs de conductivité électrique sur 12186 - P18 Oméga N°2

4.2.4 Piézomètre 12188 P21-B

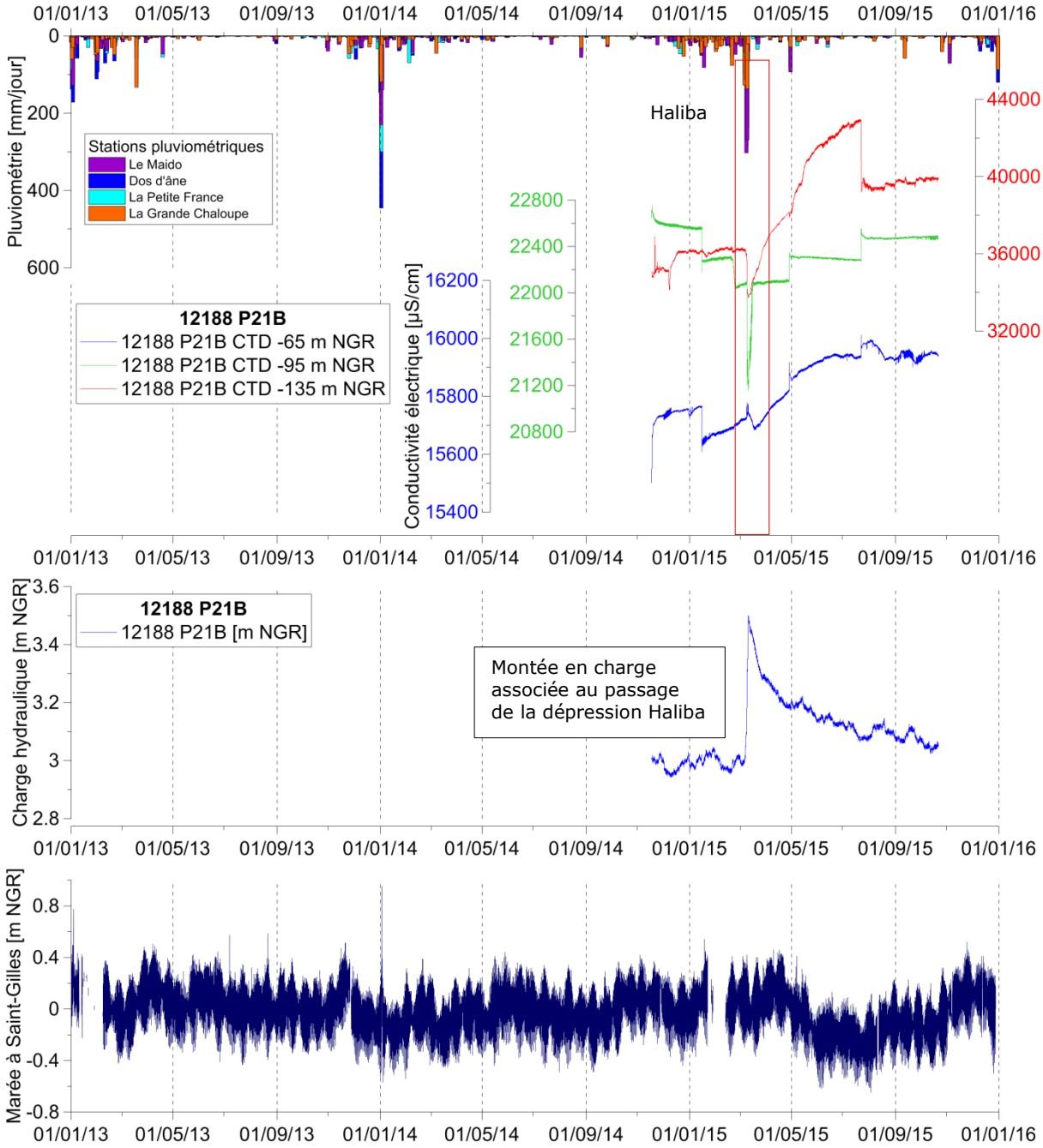


Figure 4.21 : Suivi en continu au piézomètre 12188 P21-B

Les trois signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage affichent des perturbations liées aux difficultés de positionnement des capteurs aux profondeurs voulues. Compte-tenu de ces erreurs de positionnement, il parait difficile d'interpréter les signaux en termes d'évolution temporelle.

Les données du capteur superficiel montrent que la partie superficielle de la nappe est plus sensible aux infiltrations directes d'eaux plus minéralisées et réagit par des pics de salinité associés aux évènements hydro-climatiques.

A l'inverse, les capteurs intermédiaire et profond mettent en évidence des baisses de conductivités associées à l'arrivée d'eau météoriques. La partie de la nappe interceptée par ces capteurs reçoit une recharge amont plus importante, ce qui amoindrit l'impact des infiltrations directes sur la salinité.

Les logs de conductivité mettent en évidence une interface saline diffuse, probablement associée à des circulations d'eau souterraine plus importantes. La conductivité électrique passe progressivement de 5000 µS/cm à -55 m NGR à environ 25000 µS/cm vers -100 m NGR (Figure 4.22).

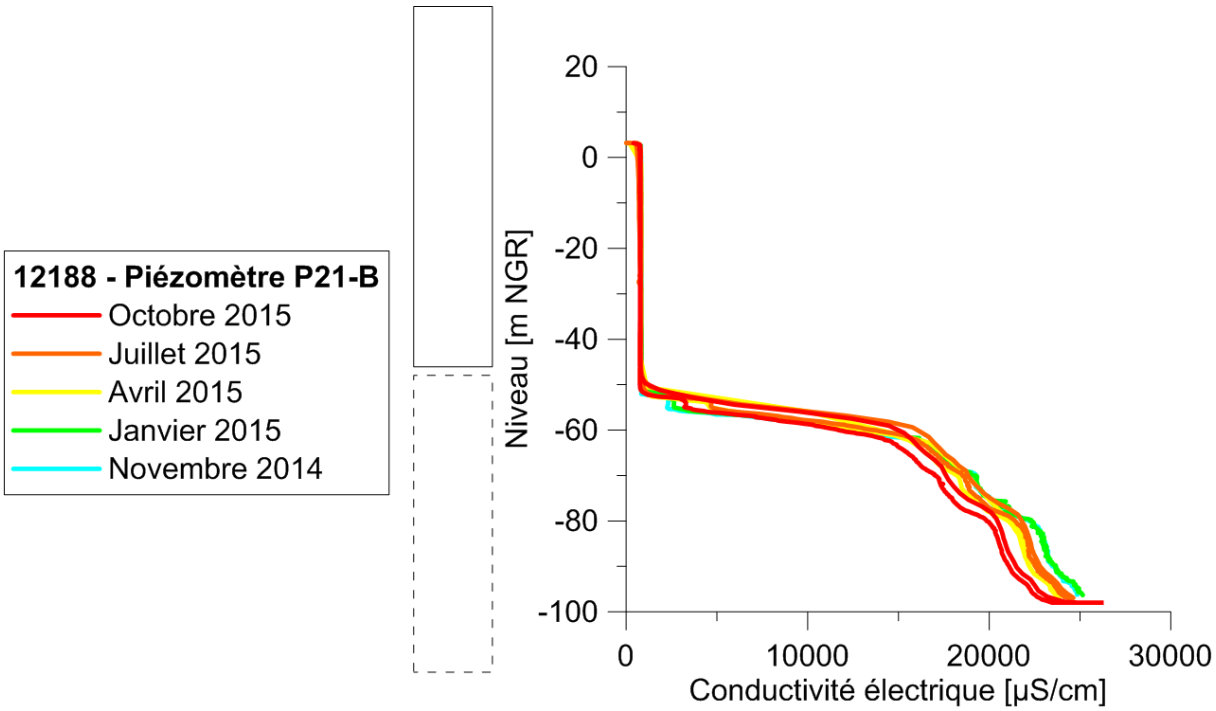


Figure 4.22 : Logs de conductivité électrique sur 12188 P21-B

4.2.5 Synthèse des résultats dans le secteur de l'étang Saint-Paul

Les chroniques de conductivité électrique enregistrées sur les ouvrages de la baie de Saint-Paul montrent un impact relativement favorable des évènements hydro-climatiques majeurs sur la salinité des nappes côtières. Les ouvrages de la plaine côtière montrent une évolution des salinités régulièrement impactée par l'arrivée d'eau douce météorique qui recharge les nappes. Les infiltrations directes peuvent cependant provoquer des pics de salinité dans les parties superficielles des nappes. Cette situation transparait notamment au travers des données recueillies sur les ouvrages P21-B et P18 Oméga N°2, malgré les problèmes de positionnement des capteurs évoqués plus haut.

La poursuite de l'analyse dans ce secteur est préconisée afin de vérifier le rôle effectif des évènements hydro-climatiques et confirmer éventuellement la présence d'un contexte d'alimentation favorable au développement d'une ressource en eau souterraine de qualité durable.

4.3 Secteur de Saint-Gilles

La géologie du secteur de Saint-Gilles se caractérise par des formations superficielles constituées par les brèches d'avalanches de débris de Saint Gilles, ainsi que les sables détritiques et coralliens recouvrant les formations basaltiques du Piton des Neiges (BRGM and LGSR 2006).

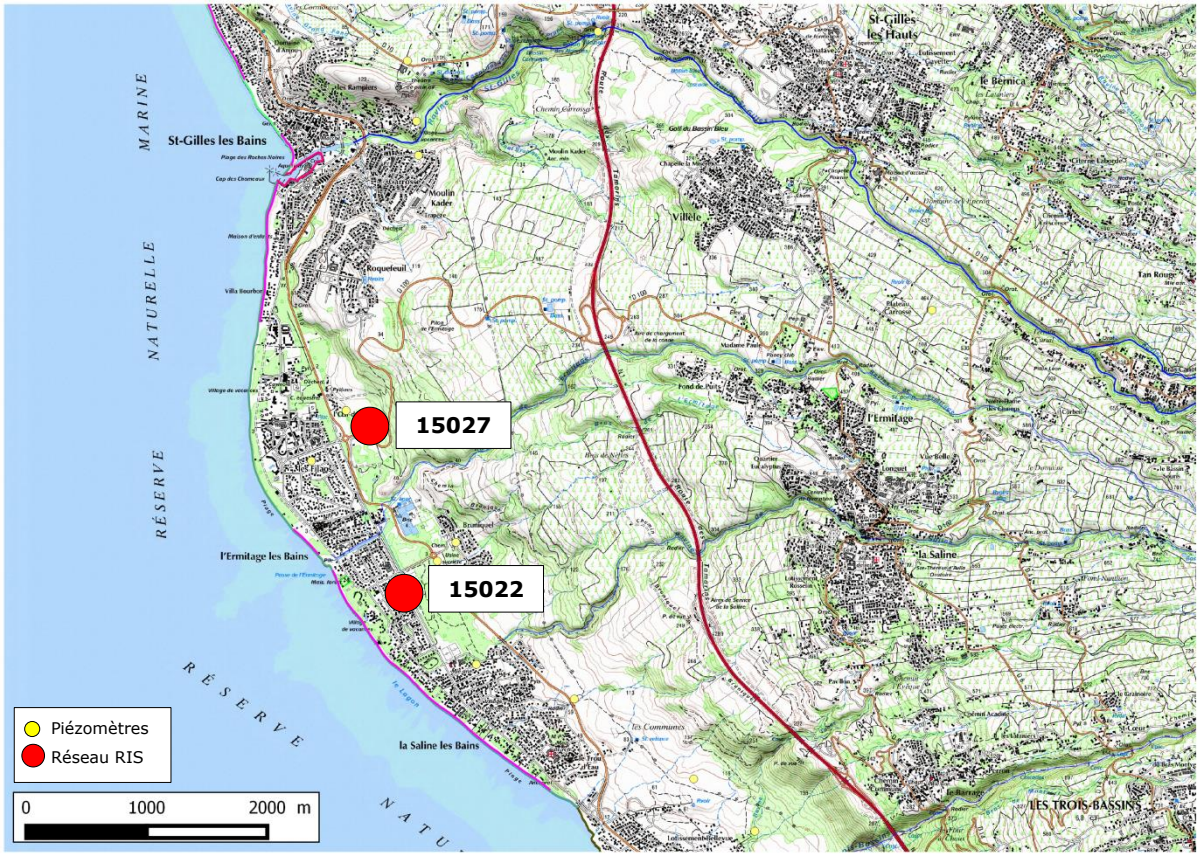


Figure 4.23 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Gilles /Ermitage

2 ouvrages sont instrumentés dans la plaine côtière de l'Ermitage :

- 15022 ZBS5 Ermitage Lotissement Dayot,
- 15027 P6 Ermitage.

Le piézomètre P6 Ermitage atteint une profondeur maximale de 51 m. Il recoupe la nappe de base captive, qui est confinée sous un paléosol, à la base du recouvrement détritique superficiel (Join et al. 1988).

Le piézomètre ZBS5 est peu profond (5 m). Il intercepte seulement la nappe superficielle contenue dans les sables détritiques et coralliens. Les études antérieures ont montré que l'évolution de la salinité de cette nappe superficielle est essentiellement contrôlée par les fluctuations du niveau d'eau dans le lagon (Lézé 2012; Cordier et al. 2013).

4.3.1 Piézomètre 15027 P6 Ermitage

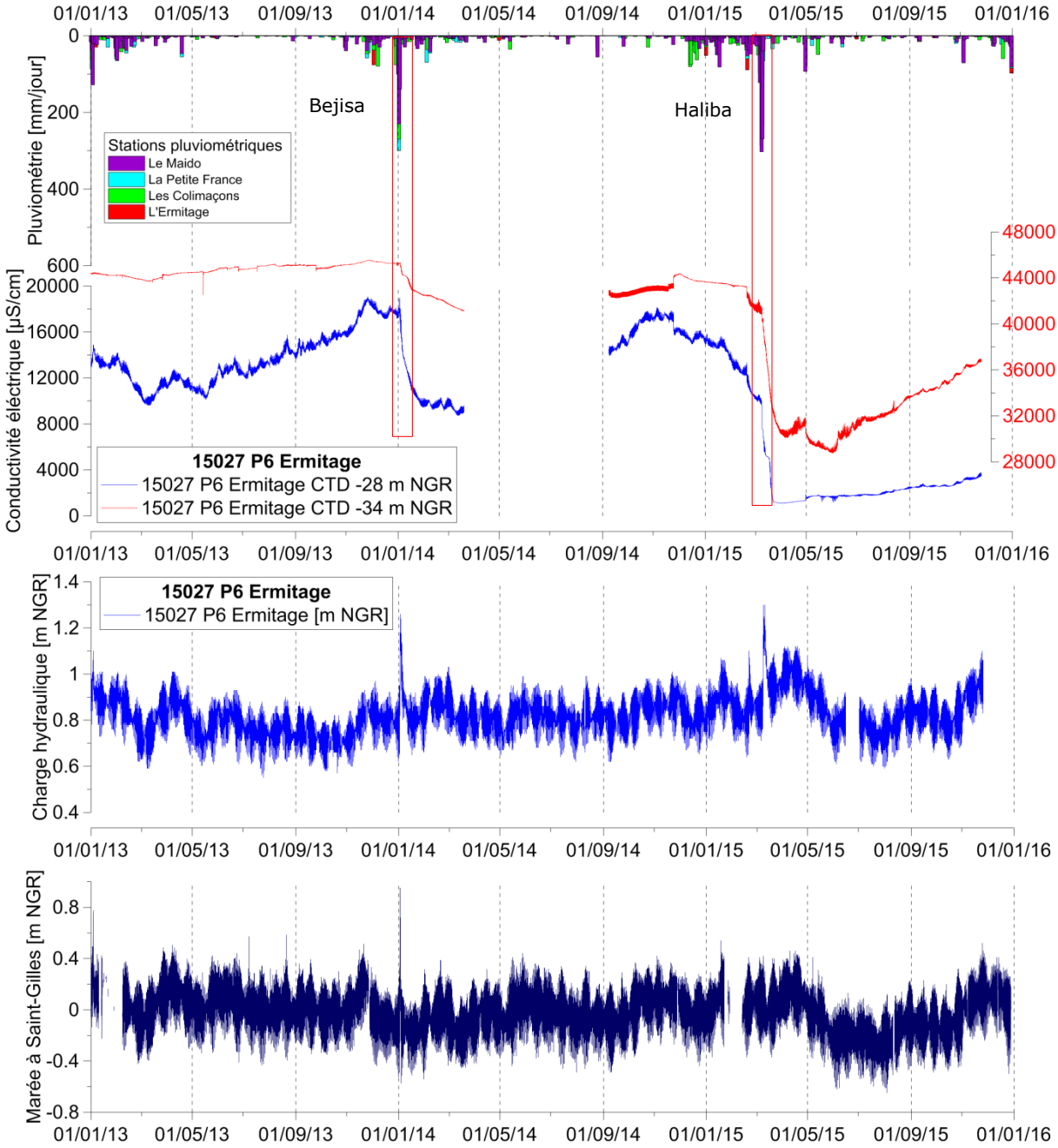


Figure 4.24 : Suivi en continu au piézomètre 15027 P6 Ermitage

Les signaux de conductivité enregistrés sur cet ouvrage montrent que la nappe de base interceptée ici est régulièrement alimentée par les évènements météoriques les plus marquants se produisant à proximité du piézomètre.

A l'instar du cyclone Béjisa et de la dépression tropicale Haliba, ces évènements hydrométéorologiques engendrent une recharge importante qui s'accompagne i) de pics piézométriques et ii) d'une baisse des salinités dans la nappe côtière.

Le capteur superficiel placé à -28 m NGR indique que la conductivité électrique est réduite de moitié après le passage de Béjisa : elle passe de 16 000 µS/cm à 8 000 µS/cm. Suite au passage de Haliba, le même capteur indique que la conductivité électrique est passée de 10 000 à 2 000 µS/cm.

Le capteur plus profond affiche des niveaux de salinité proches de ceux de l'eau de mer. Cependant, l'infiltration d'eau météorique induit également une baisse de la salinité en profondeur. En effet, en 2015, la recharge associée à la dépression Haliba fait passer les conductivités électriques de 44 000 µS/cm à 30 000 µS/cm en quelques jours.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage indiquent une interface saline diffuse et une légère baisse des salinités dans ce forage depuis le mois de mars 2015, correspondant à la date de la dépression tropicale Haliba (Figure 4.25). Enfin, les courbes obtenues suggèrent une interface saline située à -25 m NGR.

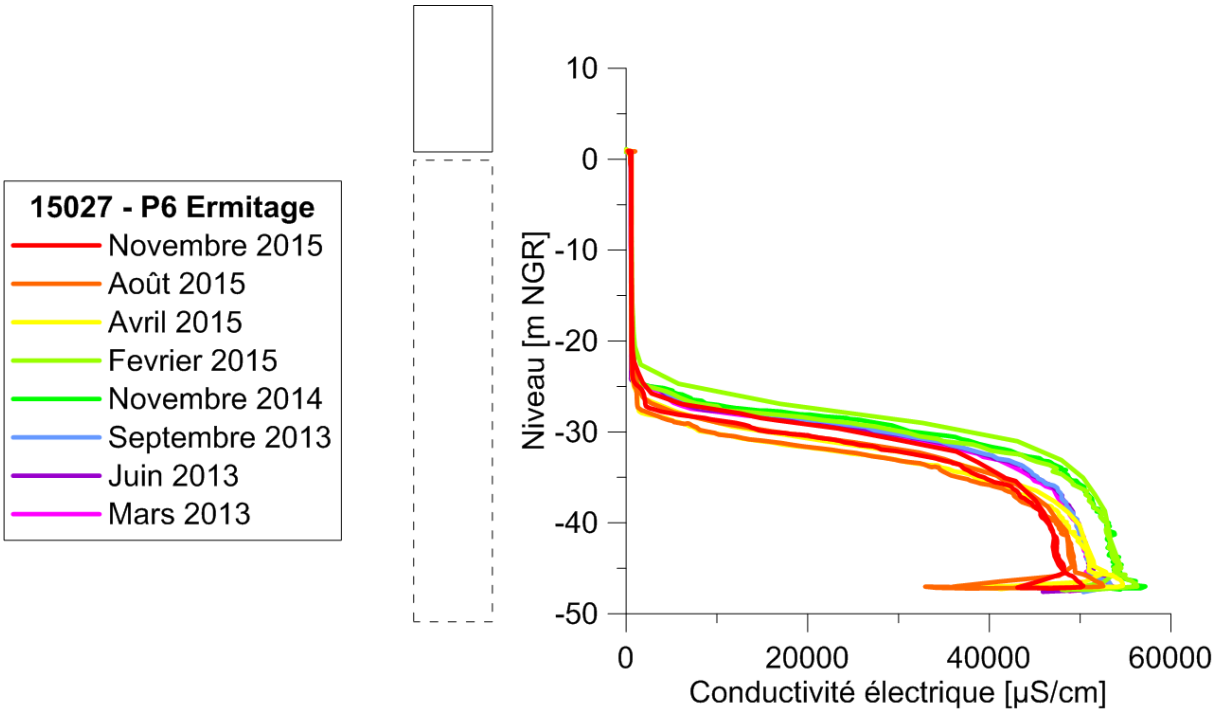


Figure 4.25 : Logs de conductivité électrique sur 15027 P6 Ermitage

4.3.2 Piézomètre 15022 ZBS5 Lotissement Dayot

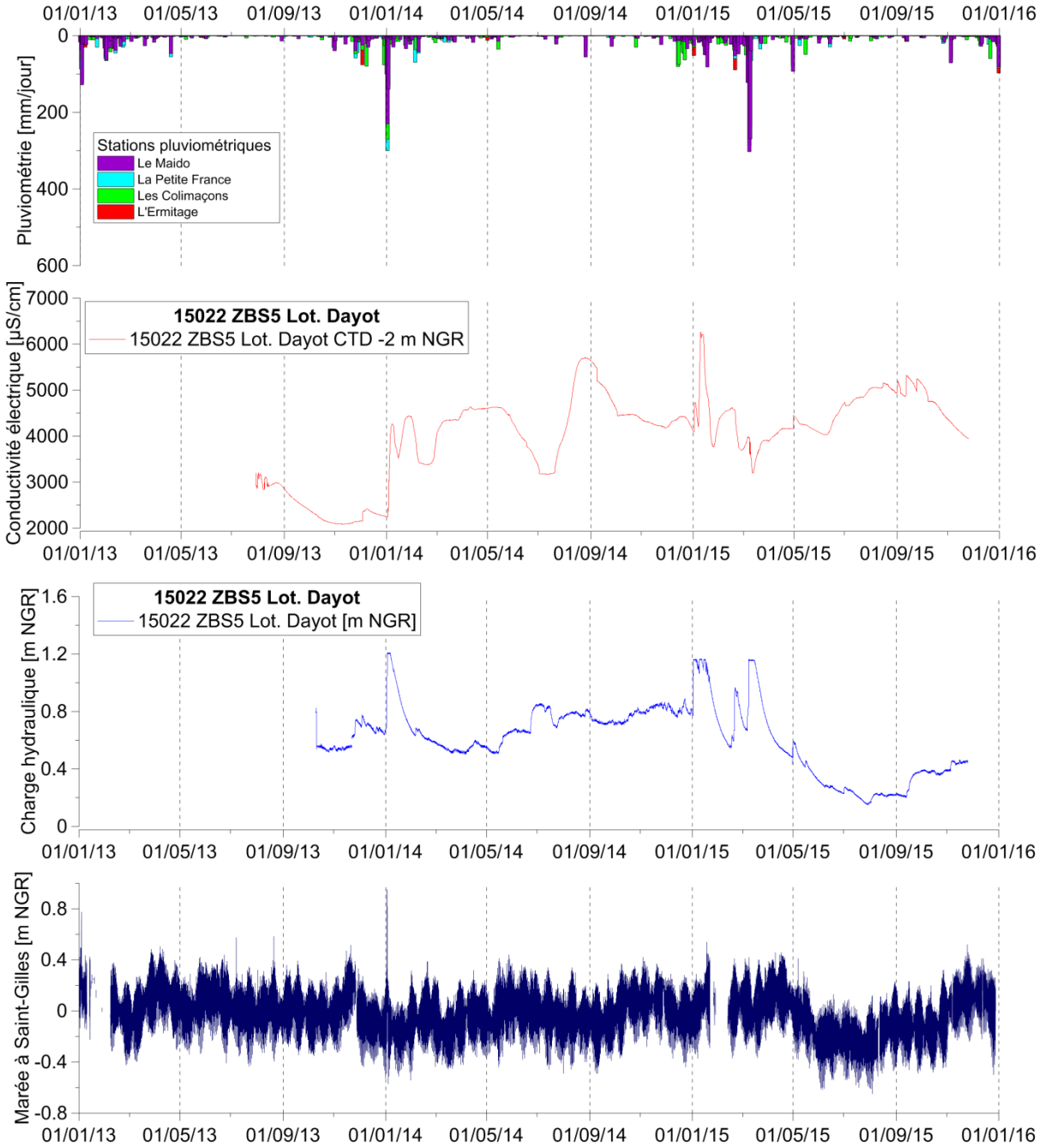


Figure 4.26 : Suivi en continu au piézomètre 15022 ZBS5 Lotissement Dayot

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage peu profond semble complètement déconnecté à la fois du signal marin et du signal pluviométrique.

Au vu du contexte urbanisé de ce secteur (présence de canaux d'irrigation, présence d'une station d'épuration en amont…), l'évolution de la salinité dans ce forage pourrait être liée à des phénomènes d'infiltration très localisés en relation avec les activités anthropiques et les épisodes d'inondation de la plaine côtière.

Les logs de conductivité électrique réalisés ici (Figure 4.27) montrent que :

- la salinité de la colonne d'eau reste relativement homogène, avec des variations dans le temps, comprises entre 1 000 et 5 000 µS/cm. Toutefois, les logs historiques disponibles depuis 1986 sur cet ouvrage révèlent des conductivités électriques qui peuvent atteindre 20 000 µS/cm.
- la profondeur limitée du forage [-2,5 m NGR] ne permet pas d'atteindre l'interface eau douce/eau de mer.

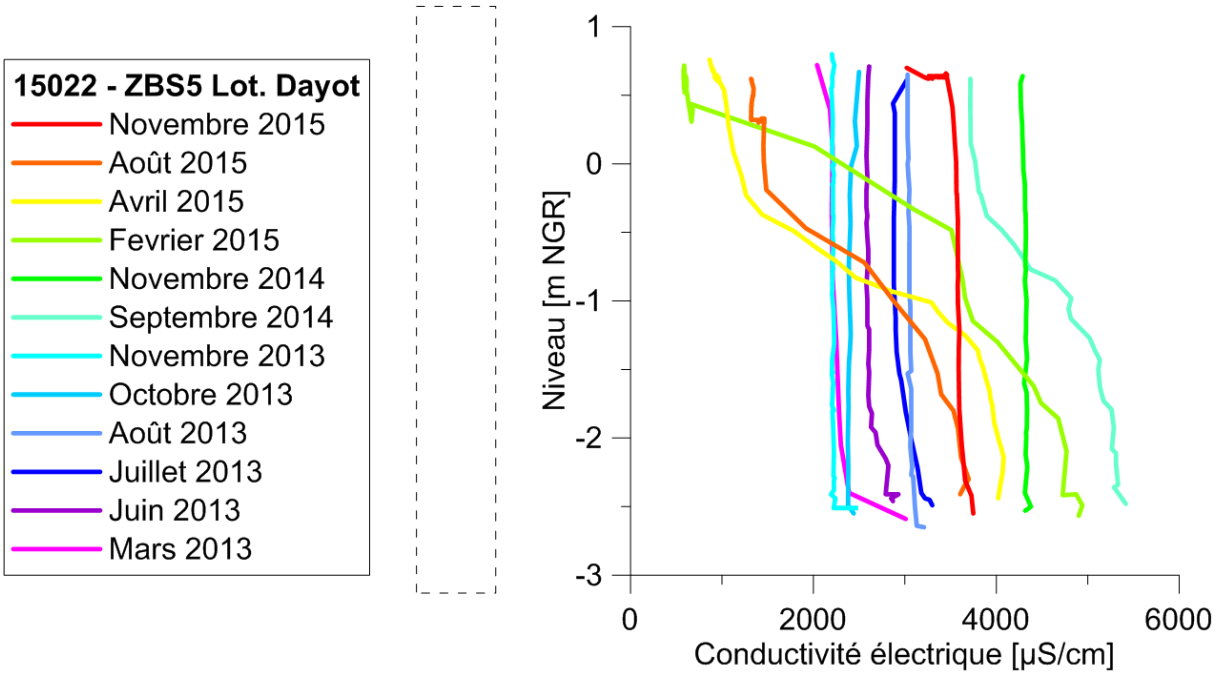


Figure 4.27 : Logs de conductivité électrique sur 15022 ZBS5 Lotissement Dayot

4.3.3 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Gilles

Les chroniques de conductivité enregistrées à la plaine côtière de l'Ermitage montrent ;

- un impact du milieu marin sur l'évolution à une fréquence journalière de la salinité dans la nappe de base,
- une influence significative de la recharge sur l'évolution à une fréquence saisonnière de la salinité dans la nappe de base,
- une différence de comportement hydrogéologique entre la nappe de base contenue dans les basaltes et la nappe superficielle contenue dans des formations détritiques.

Ces résultats suggèrent un intérêt à suivre l'évolution de la salinité particulièrement dans la nappe de base au niveau du forage P6 Ermitage.

L'analyse détaillée des logs les plus anciens (depuis 1986) disponibles sur le piézomètre ZBS5 Lotissement Dayot permettra de trancher sur la pertinence de maintenir un suivi en continu sur ce site.

4.4 Secteur de Saint-Leu

La géologie du secteur de Saint-Leu est largement dominée par des formations basaltiques à structure compacte, fissurée et parfois scoriacée du Piton des Neiges.

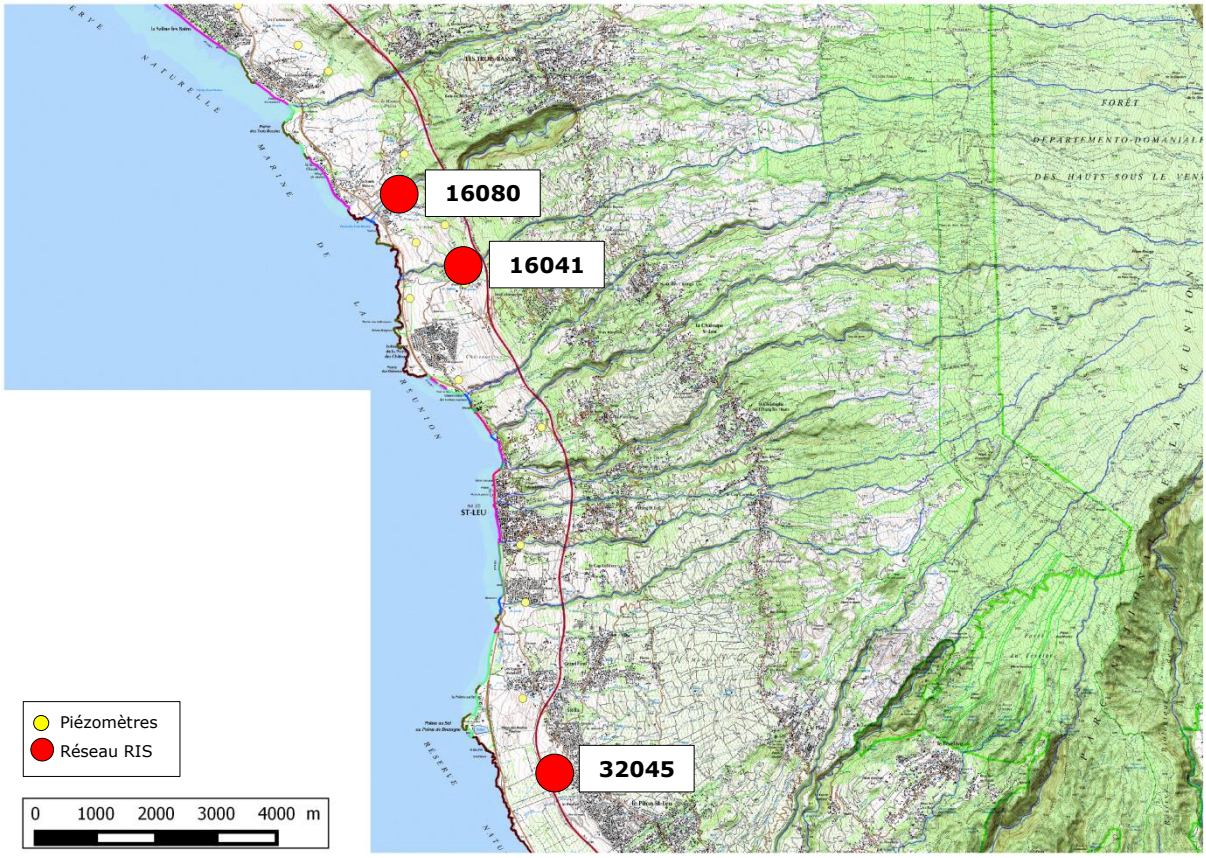


Figure 4.28 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Leu

3 ouvrages sont instrumentés dans ce secteur :

- 16080 P5 Grande Ravine,
- 16041 Petite Ravine Amont,
- 32045 F8 Stella Le Portail.

Le piézomètre P5 Grande Ravine, situé dans le lit de la ravine, traverse 12 m de recouvrement alluvionnaire avant d'atteindre la nappe de base contenue dans l'aquifère basaltique.

A l'inverse, les piézomètres de Petite Ravine Amont et de Stella Le Portail, recoupent directement les formations basaltiques du Piton des Neiges.

4.4.1 Piézomètre 16080 P5 Grande Ravine

Le piézomètre P5 est localisé dans le lit de la Grande Ravine, à l'altitude 21,27 m NGR. Il atteint une profondeur de 63 m. Il traverse, après 12 m de recouvrement alluvionnaire grossier, des formations basaltiques massives, vacuolaires et scoriacées de la phase III du Piton des Neiges. Il intercepte une nappe d'eau douce entre 1 et -12 m NGR. Au-delà de cette altitude, la minéralisation de la nappe augmente sensiblement jusqu'à atteindre des valeurs d'eau saumâtre vers -28 m NGR.

Située à environ 570 m du littoral, la nappe côtière interceptée au niveau de ce point d'observation est sous l'influence des précipitations localisées en amont (provoquant ou non un ruissellement dans la ravine) et des fluctuations océaniques, de hautes et basses fréquences (Figure 4.29).

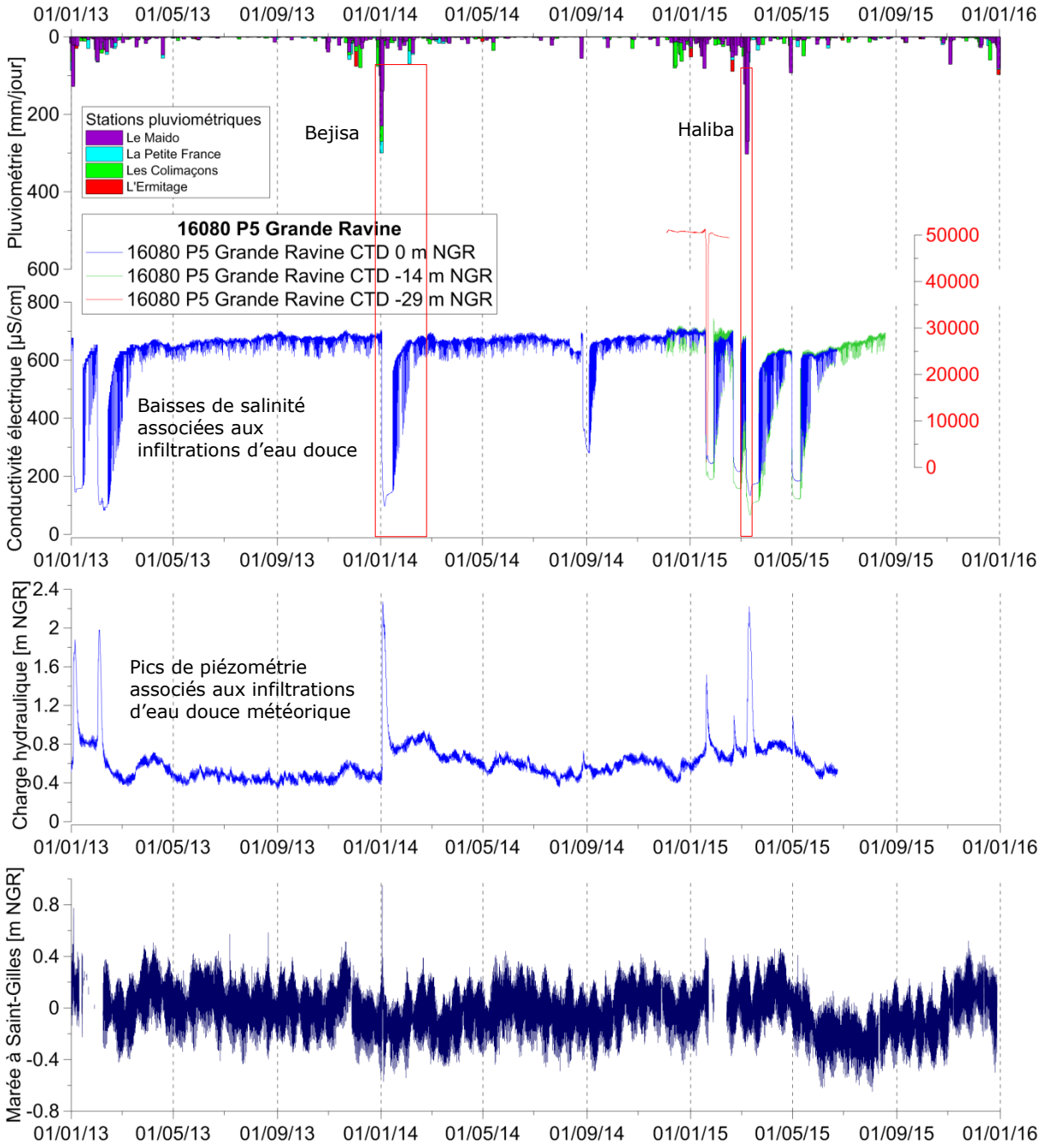


Figure 4.29 : Suivi en continu au piézomètre 16080 P5 Grande Ravine

Les signaux hydrogéologiques enregistrés sur cet ouvrage indiquent que les évènements pluvieux majeurs se traduisent par une infiltration d'eau douce météorique et une baisse momentanée de la salinité.

Ce phénomène s'observe sur les chroniques de conductivité électrique enregistrées par les trois capteurs installés sur ce piézomètre, notamment au passage du cyclone Béjisa et de la dépression tropicale Haliba.

L'ensemble de ces observations laisse penser que le piézomètre P5 Grande Ravine se trouve dans un contexte hydrogéologique bénéficiant d'une recharge préférentielle.

Par ailleurs, la variation de la salinité à l'échelle journalière est fortement contrôlée par les fluctuations marégraphiques (Figure 4.30). Un déphasage de seulement 25 minutes est calculé entre le pic de piézométrie lié à la marée haute et le pic de salinité associé. Cette sensibilité est favorisée par la proximité de la mer (570 m).

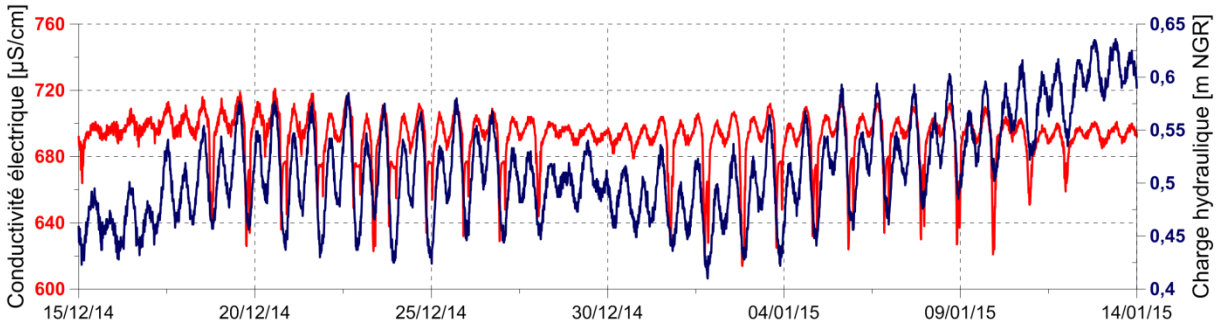


Figure 4.30 : Variation à haute fréquence des signaux piézométriques et de la conductivité électrique sur P5 Grande Ravine

Bourhane (2014) s'est intéressé à l'étude de l'impact de la recharge vis-à-vis de la salinité des forages de la côte ouest de La Réunion. A partir des données journalières de pluviométrie et de salinité, plusieurs régressions polynomiales du quatrième degré sont établies. Des niveaux maximum et minimum (MINI et MAXI sur la Figure 4.31) sont définis à partir des extremums locaux des différents polynômes.

D'après l'analyse considérant cinq forages suivis en continu (dont P5 Grande Ravine), il apparait que l'évolution saisonnière de la salinité est davantage influencée par les variations pluviométriques saisonnières. Ainsi, au niveau de ce groupe de forages, les signaux de salinité et de pluviométrie sont en opposition de phase. Les précipitations intenses saisonnières rechargent les nappes en eau douce ; une baisse de la salinité est observée dans les forages après la saison pluvieuse, avec un retard plus ou moins prononcé selon la période et l'ouvrage considéré (Figure 4.31).

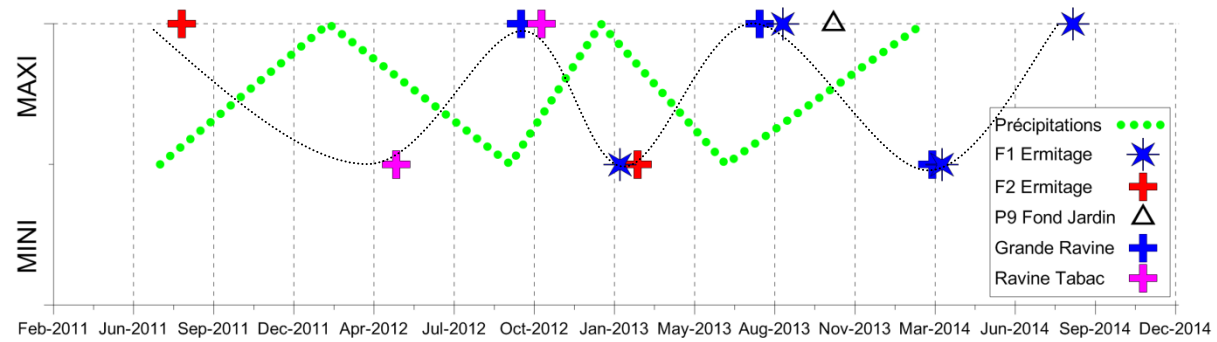
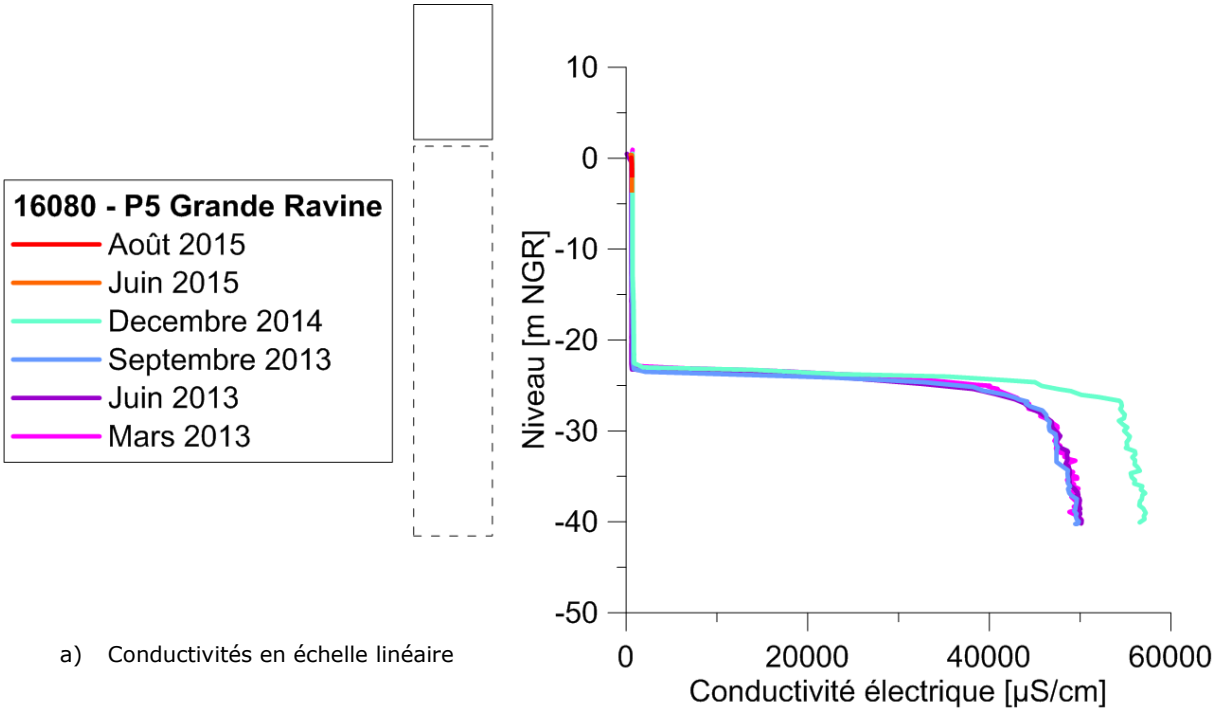


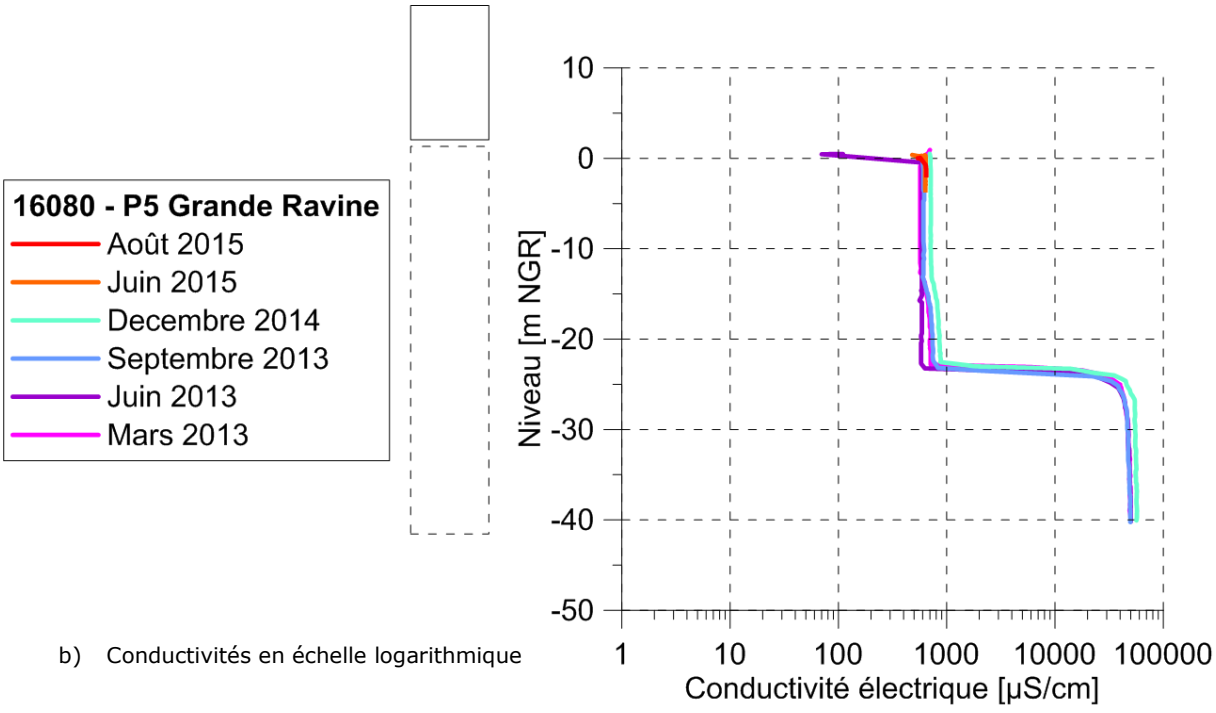
Figure 4.31 : Evolution des précipitations et des niveaux de salinité dans cinq forages de la côte ouest

D'une manière générale, les nappes dont la qualité est influencée par la recharge se trouvent soit i) en contexte de nappe libre, soit ii) en contexte alluvial (ravines).

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage mettent en évidence une interface saline franche localisée à -25 m NGR, comme au niveau du piézomètre P6 Ermitage vu précédemment. Au-delà de de cette limite, la conductivité électrique passe brusquement de 700 à 40 000 µS/cm (Figure 4.32).



a) Conductivités en échelle linéaire



b) Conductivités en échelle logarithmique

Figure 4.32 : Logs de conductivité électrique sur 16080 P5 Grande Ravine

4.4.2 Piézomètre 16041 Petite Ravine Amont

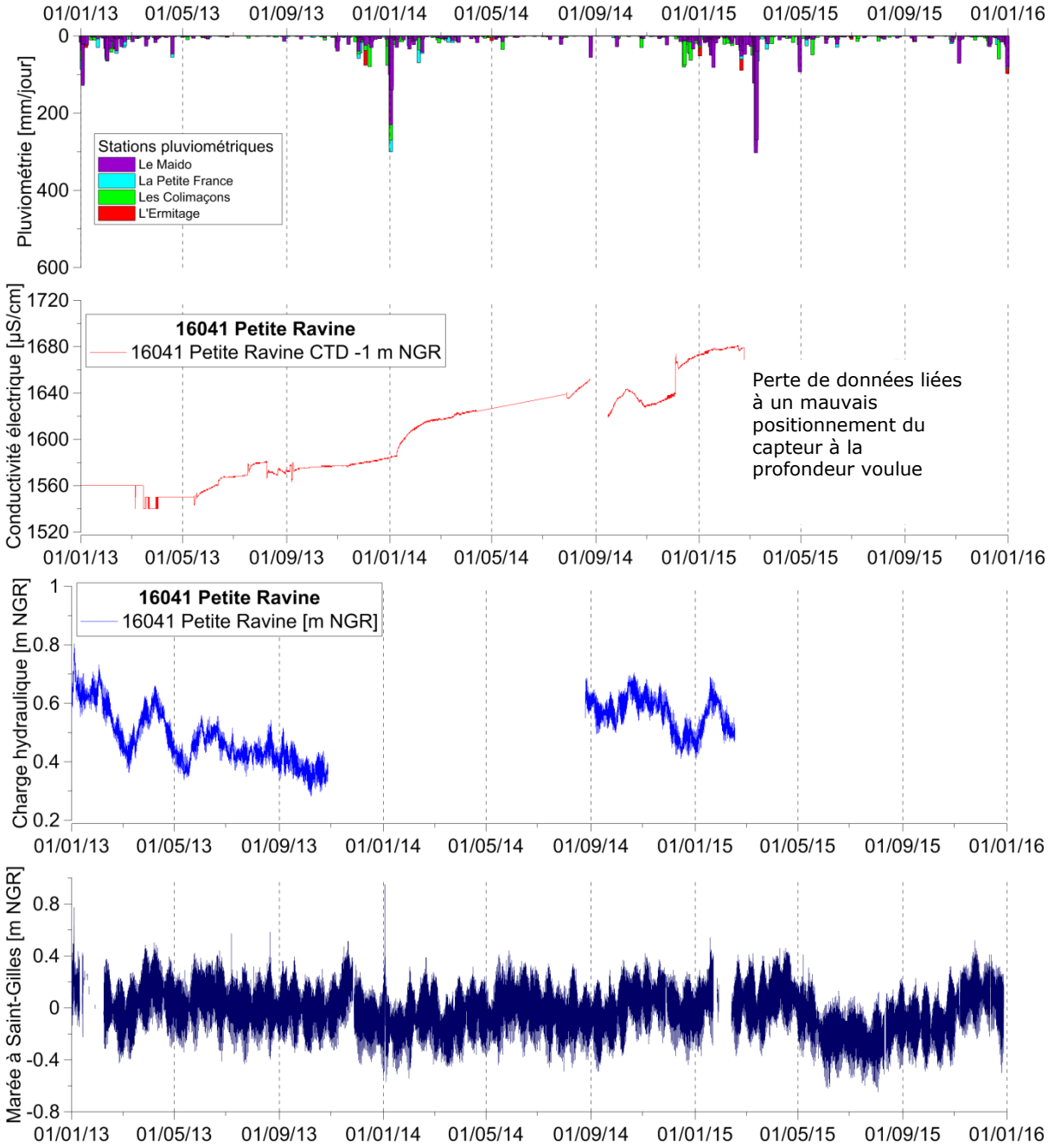


Figure 4.33 : Suivi en continu au piézomètre 16041 Petite Ravine Amont

Les évènements hydro-climatiques majeurs ne semblent pas impacter l'évolution de la salinité. Il convient de noter toutefois que ce signal est très perturbé en raison de difficultés de positionnement du capteur à l'altitude -1 m NGR. De ce fait, l'exploitation et l'interprétation de ces données restent très limitées.

A l'inverse, les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage semblent indiquer une baisse des salinités après 2014, ce qui est en accord avec une recharge par Haliba. La tendance révélée par les logs ne correspondant pas à celle observée par le capteur permanent, le suivi en continu ne peut être interprété sur ce forage et un remplacement du capteur de conductivité électrique est préconisé.

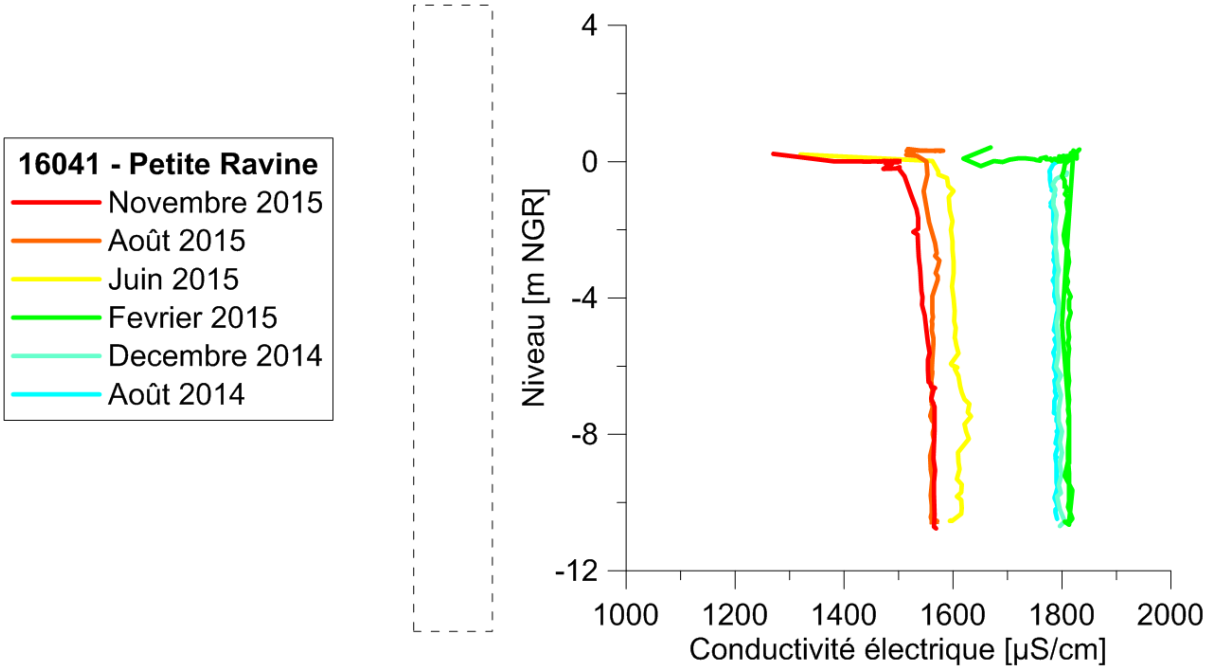


Figure 4.34 : Logs de conductivité électrique sur 16041 Petite Ravine Amont

4.4.3 Piézomètre 32045 F8 Stella Le Portail

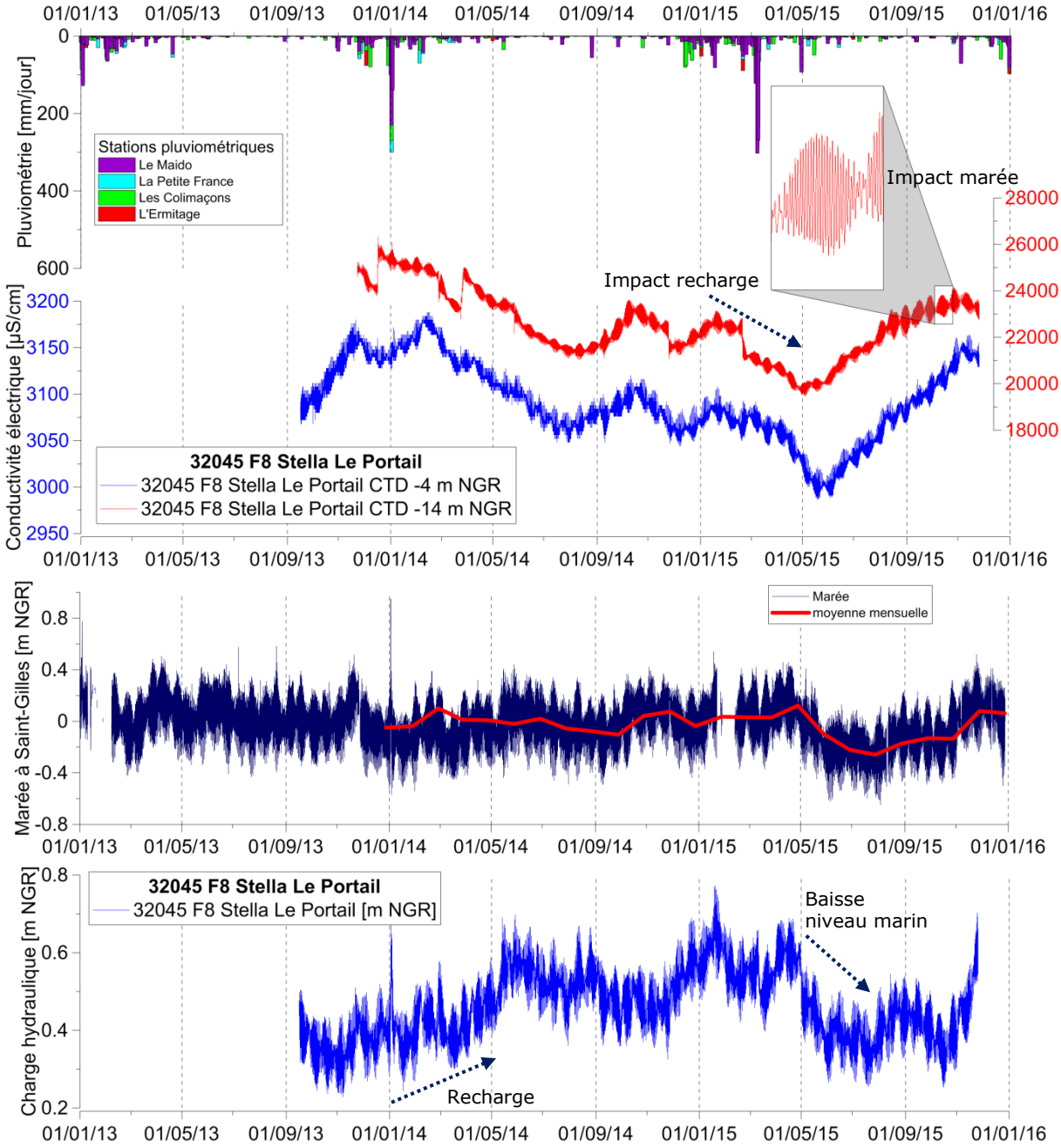


Figure 4.35 : Suivi en continu au piézomètre 32045 F8 Stella Le Portail

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage mettent en évidence une évolution de la piézométrie et des salinités largement contrôlée par la marée à la fréquence journalière (voir zoom) et par les variations du niveau moyen de l'Océan à plus basses fréquences (moyennes mensuelles).

L'impact de la recharge sur la salinité dans cet ouvrage se manifeste par une baisse des salinités en début de saison pluvieuse. L'influence de la recharge sur la salinité et la piézométrie peut être parfois atténuée ou amplifiée par les variations du niveau marin.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage indique une interface saline diffuse, avec une augmentation progressive des conductivités électriques, passant de 4 000 µS/cm vers –8 m NGR à plus de 25 000 µS/cm vers -16 m NGR.

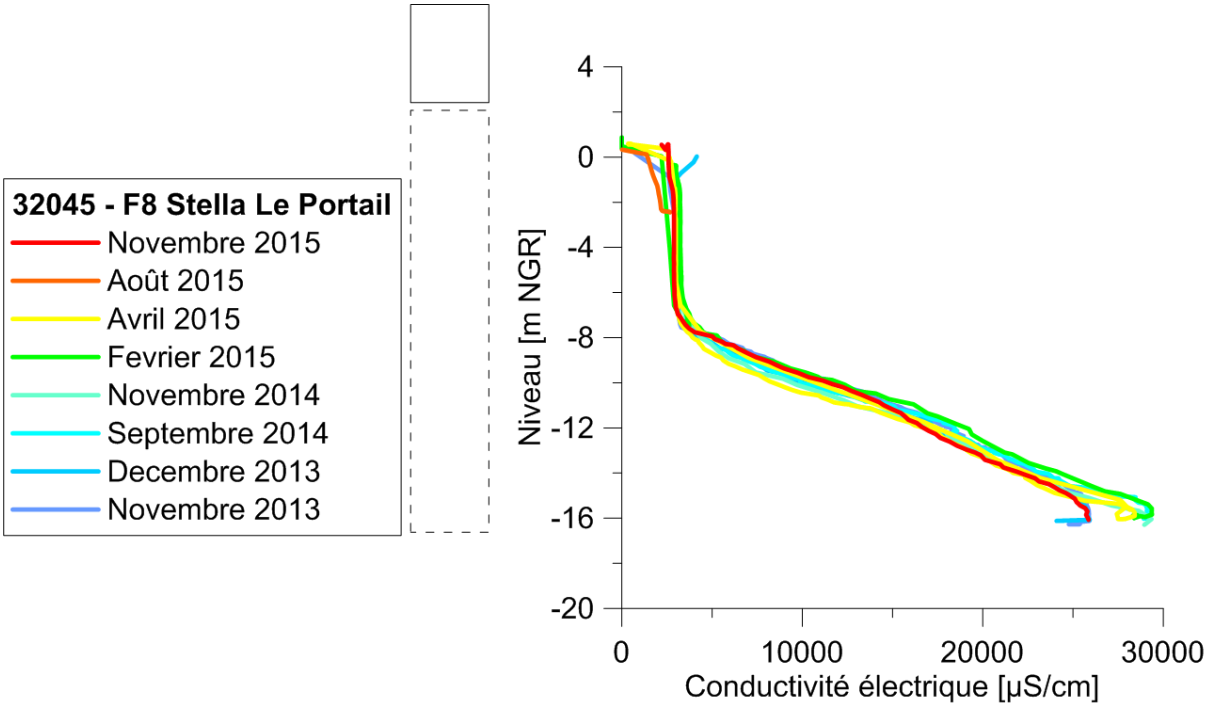


Figure 4.36 : Logs de conductivité électrique sur 32045 F8 Stella Le Portail

4.4.4 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Leu

Les données enregistrées sur le piézomètre P5 Grande Ravine confirment l'influence positive de la recharge sur l'évolution de la salinité. Les chutes de conductivité électrique caractéristiques des épisodes pluvieux sont régulièrement observées. Une légère baisse de la salinité peut être notée également après les fortes précipitations du mois de mars 2015 accompagnant la dépression tropicale Haliba (Figure 4.37). Cependant, malgré cette période de forte pluviométrie, la conductivité moyenne reste relativement élevée et stagne à 600 µS/cm.

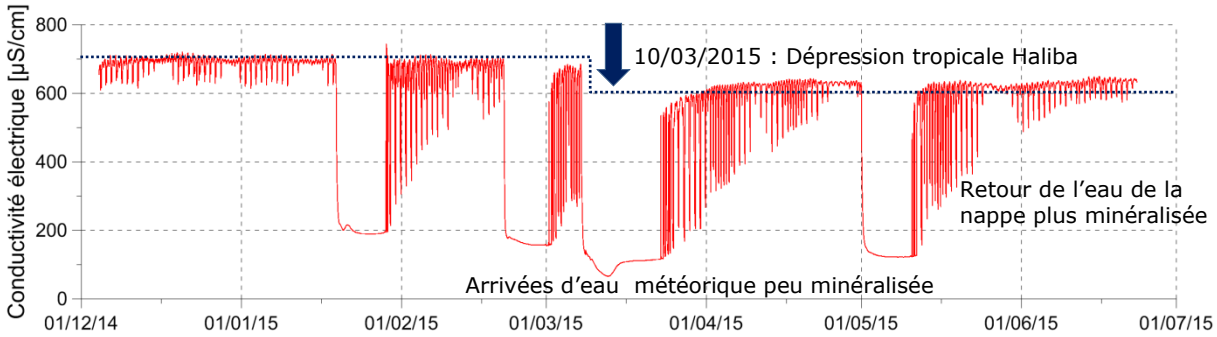


Figure 4.37 : Impact de la recharge sur l'évolution de la salinité à P5

Les signaux enregistrés sur F8 Stella Le Portail mettent en évidence une influence conjuguée de la recharge et de la marée. La sensibilité de la piézométrie et de la salinité vis-à-vis des variations marégraphiques suggère une forte connexion hydraulique avec la limite océanique.

Enfin, les signaux issus du piézomètre de la Petite Ravine n'ont pas pu être convenablement exploités en raison d'un dysfonctionnement probable ou d'un mauvais positionnement du capteur de conductivité.

4.5 Secteur de l'Etang Salé et du Gol

La géologie du secteur de l'Etang Salé est caractérisée des dépôts alluvionnaires recouvrant des formations basaltiques du Piton des Neiges.

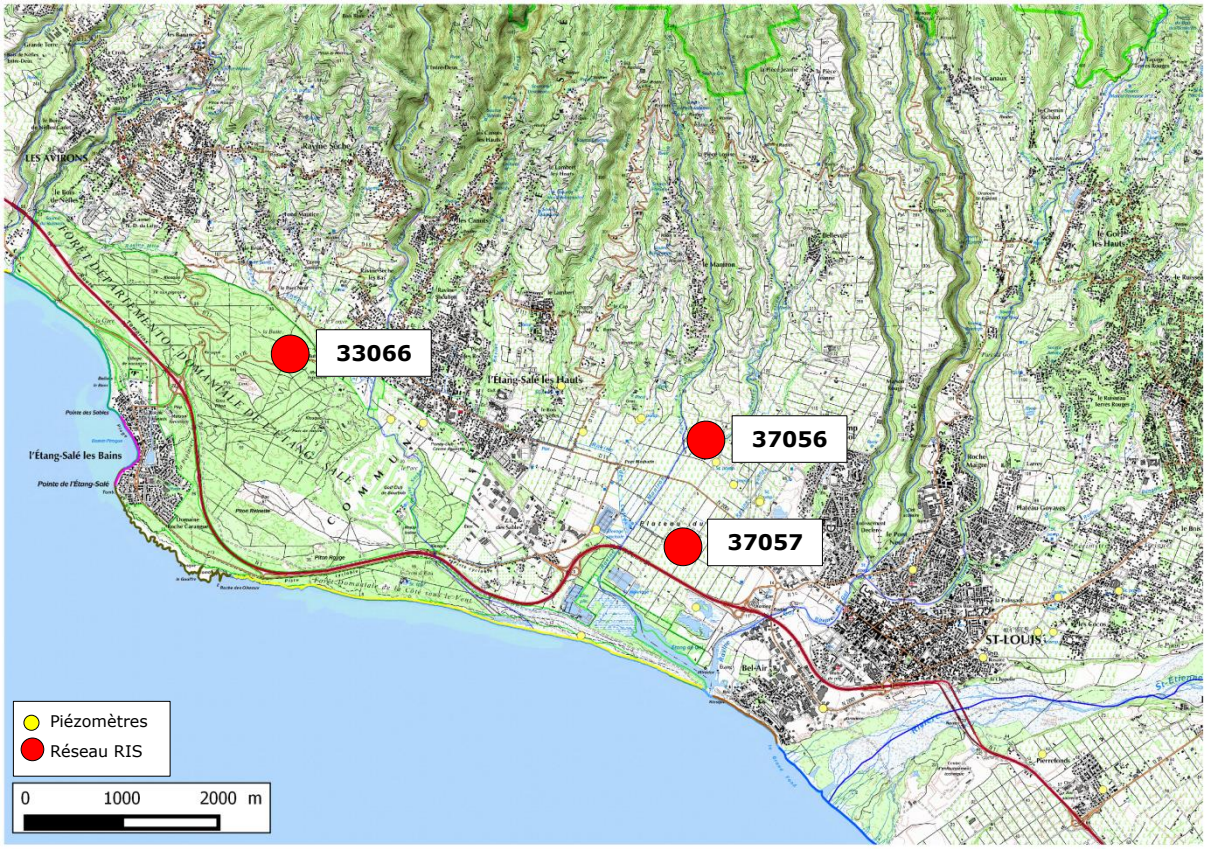


Figure 4.38 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à l'Etang Salé et au Gol

3 ouvrages sont instrumentés dans ce secteur :

- 33066 P3 Pont Neuf,
- 37056 PIB4-C Plaine du Gol,
- 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol.

4.5.1 Piézomètre 33066 P3 Pont Neuf

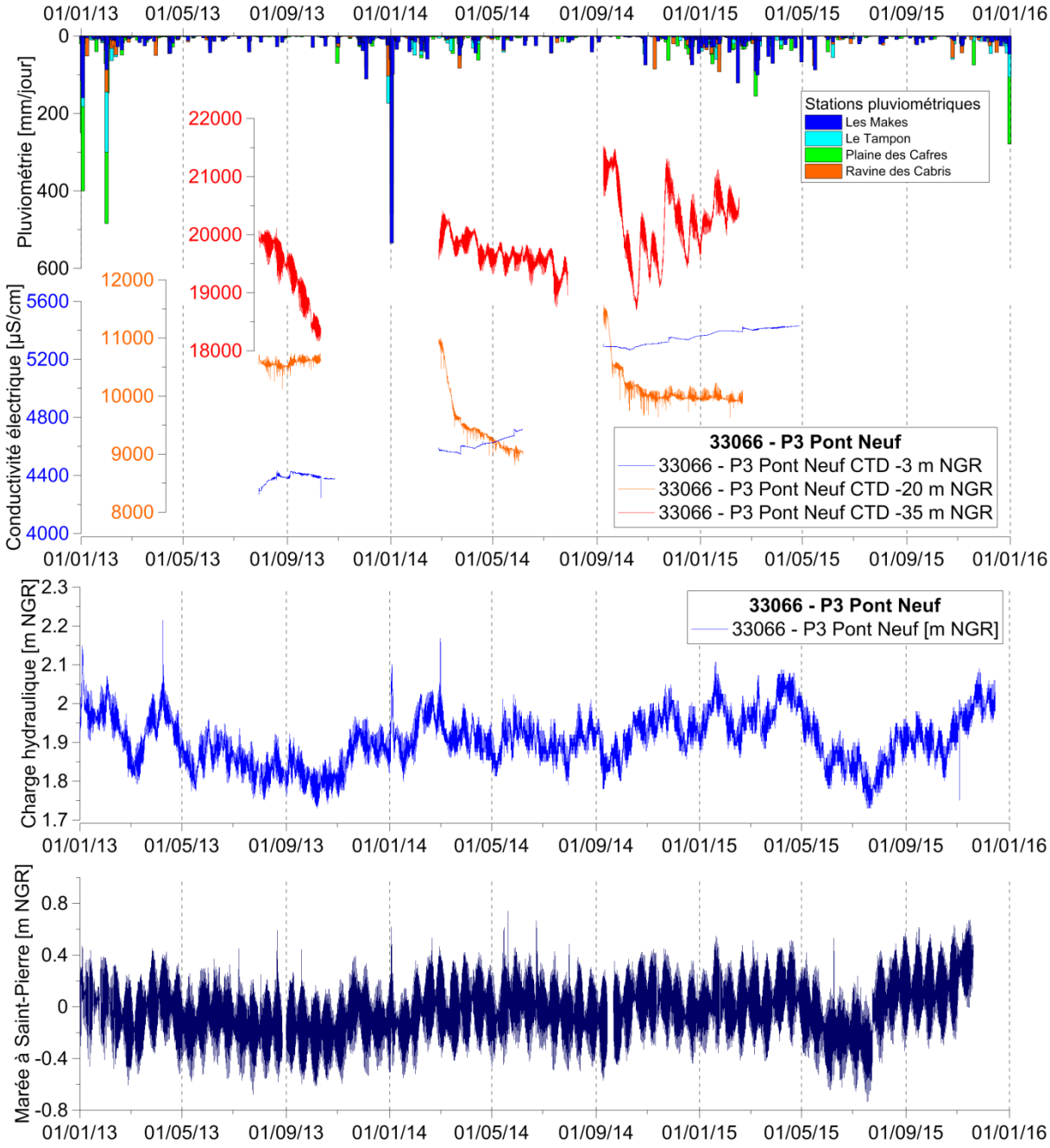


Figure 4.39 : Suivi en continu au piézomètre 33066 P3 Pont Neuf

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage mettent en évidence un impact très prononcé des fluctuations océaniques journalières sur l'évolution de la salinité sur P3 Pont Neuf et plus particulièrement au niveau des capteurs placés à -20 et -35 m NGR. L'influence de la recharge n'a pas été notée sur les signaux enregistrés en raison de nombreuses lacunes. Ces absences de données sont expliquées par des problèmes de positionnement des capteurs dans l'ouvrage.

Les logs de conductivité électrique montrent une interface saline diffuse, marquée par une certaine stratification de la nappe caractérisée par une allure en « marches d'escalier » des courbes obtenues (Figure 4.40). Cette allure particulière peut être mise en relation avec l'alternance basalte/scories observée dans cet ouvrage.

Il convient de noter également qu'une baisse des conductivités dans la partie superficielle de la colonne d'eau peut être observée sur le log de conductivité d'avril 2015, un mois après le passage de la dépression tropicale Haliba.

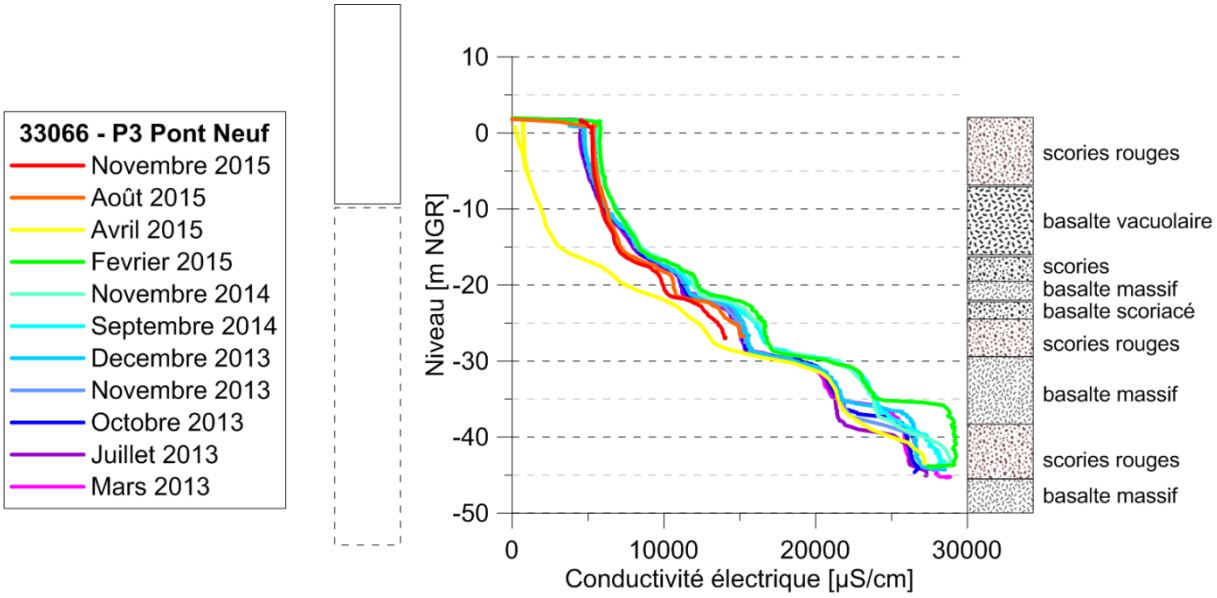


Figure 4.40 : Logs de conductivité électrique sur 33066 P3 Pont Neuf

4.5.2 Piézomètre 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol

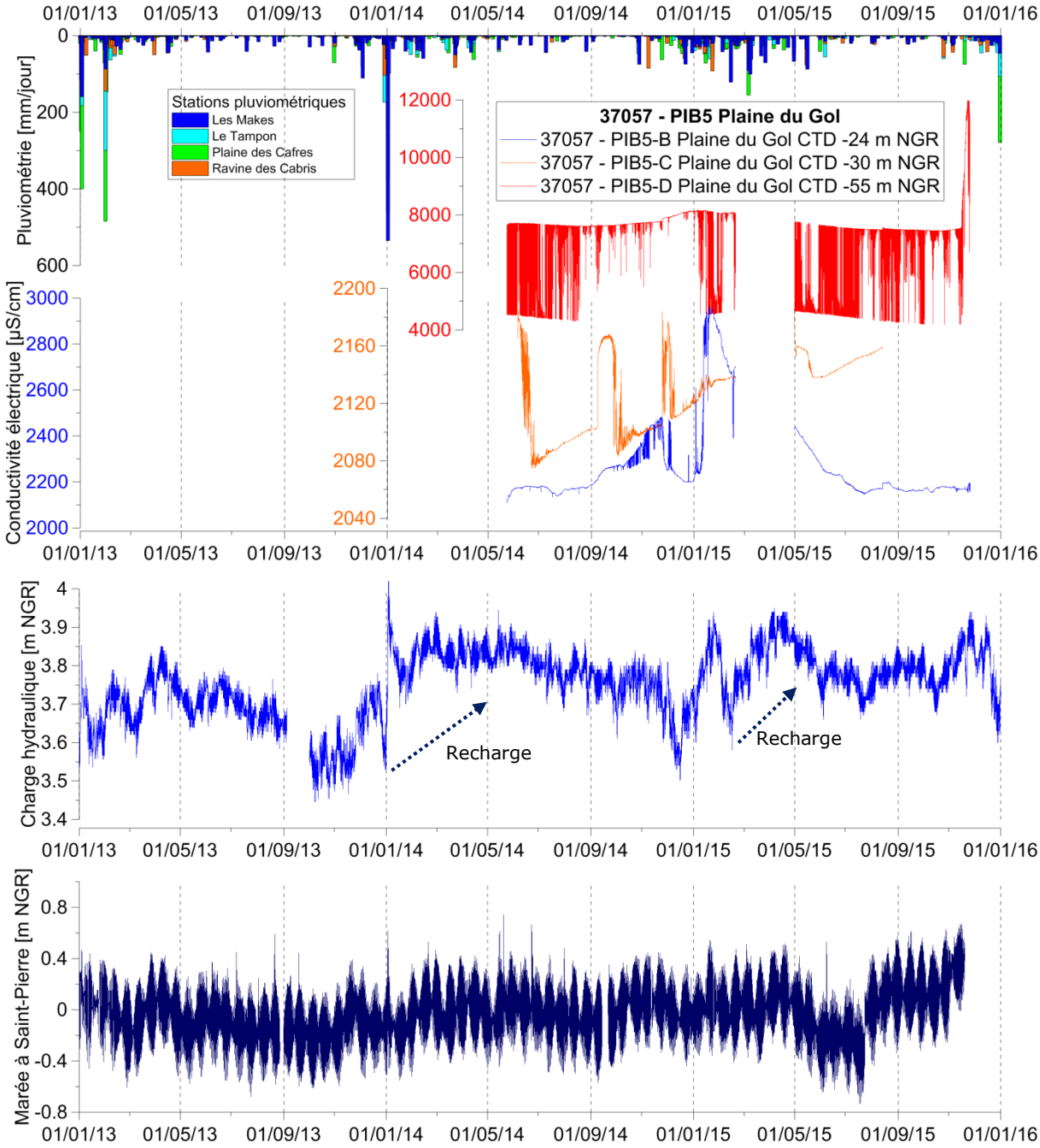


Figure 4.41 : Suivi en continu au piézomètre 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol

A l'instar du signal décrit précédemment, la longueur des chroniques enregistrées sur PIB5 ne permet pas d'identifier clairement une influence de la recharge sur la salinité des forages.

L'allure accidentée des courbes obtenues, notamment sur les forages PIB5-B et PIB5-C laisse penser à des imprécisions au niveau du positionnement vertical des capteurs.

Malgré tout, les données obtenues restent représentatives des niveaux de salinité observés sur les trois forages et indiquent un impact de la marée sur l'évolution de la salinité, surtout au niveau du forage PIB5-D (courbe rouge). L'ensemble des observations (niveaux de salinité et piézométrie) restent en accord avec les résultats de l'étude sur l'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraines côtières de La Réunion (Petit and Leforgeais 2013; Petit et al. 2013) .

Les signaux de piézométrie indiquent la même charge hydraulique sur les trois forages, ce qui suggère l'interception d'un système hydrogéologique unique au niveau de cette plaine côtière.

L'étude HydroGol (Petit et al. 2013; BRGM/RP-61834-FR) a permis d'effectuer une analyse assez détaillée de l'influence des pompages sur l'évolution quantitative et qualitative de l'aquifère du Gol à travers une analyse du fonctionnement de l'hydro-système par approches hydrogéologique, hydrogéochimique et par traitement du signal (analyse corrélatoire, spectrale et en ondelettes).

L'approche hydrogéologique fait appel aux données issues des pompages d'essai : *14 anciens pompages d'essai ont été réinterprétés avec la méthode des dérivées, plus adaptée à la détection de comportements hydrogéologiques spécifiques que les méthodes classiques et avec des modèles récents en partie créés pour être appliqués au Gol. Un pompage d'essai à interférences multiples a été réalisé en octobre 2011. La présence de deux compartiments hydrogéologiques est confirmée et leurs paramètres hydrauliques précisés : compartiment "Est" à l'aval de la paléo-vallée des Makes, caractérisé par une forte transmissivité de 0.8 m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 0.05 ; compartiment "Ouest", constitué de formations basaltiques anciennes (Beta II), milieu plus complexe et compartimenté : transmissivité de 0.07 à 0.2 m²/s et coefficient d'emmagasinement de 1.3x10^{-4}*.

La seconde approche, hydrogéochimique, repose sur l'interprétation des analyses chimiques et isotopiques des eaux souterraines. *Elle met aussi en évidence la présence de deux compartiments hydrogéologiques. Le compartiment "Ouest" semble relativement bien préservé de l'influence de l'océan, alors que la paléo-vallée est impactée à hauteur de 11.9 % en profondeur*.

L'approche par traitement du signal confirme un fonctionnement différent de chacun des deux compartiments : *une augmentation des pompages engendre une augmentation de la salinité à l'est alors qu'elle engendre une diminution au niveau du compartiment "Ouest". Au sein de la paléo-vallée, l'océan joue le rôle de limite à potentiel imposé pour l'ensemble des ouvrages. Il influence de manière notable les variations de piézométrie mais surtout celles de conductivité électrique des eaux souterraines. L'évolution de la salinité de l'aquifère dépend du niveau de la recharge et de l'intensité des pompages. Ainsi, au vu des données disponibles, sans une augmentation des prélèvements, l'aquifère ne semble pas mis sous tension lors des années humides (à forte recharge). Par contre dans le cas d'une période sèche prolongée, la progression de l'interface eau douce / eau salée engendrée par l'intensification des pompages a été mise en évidence.*

Les logs de conductivité électrique mettent en évidence une certaine continuité des salinités mesurées dans les trois piézomètres, ce qui laisse penser à une connexion des trois hydro-systèmes recoupés verticalement. En effet, les conductivités électriques mesurées varient entre 2 000 et 3 000 µS/cm dans les forages PIB5-B et C, et ensuite entre 3 000 et 8 000 µS/cm dans le forage PIB5-D (Figure 4.42).

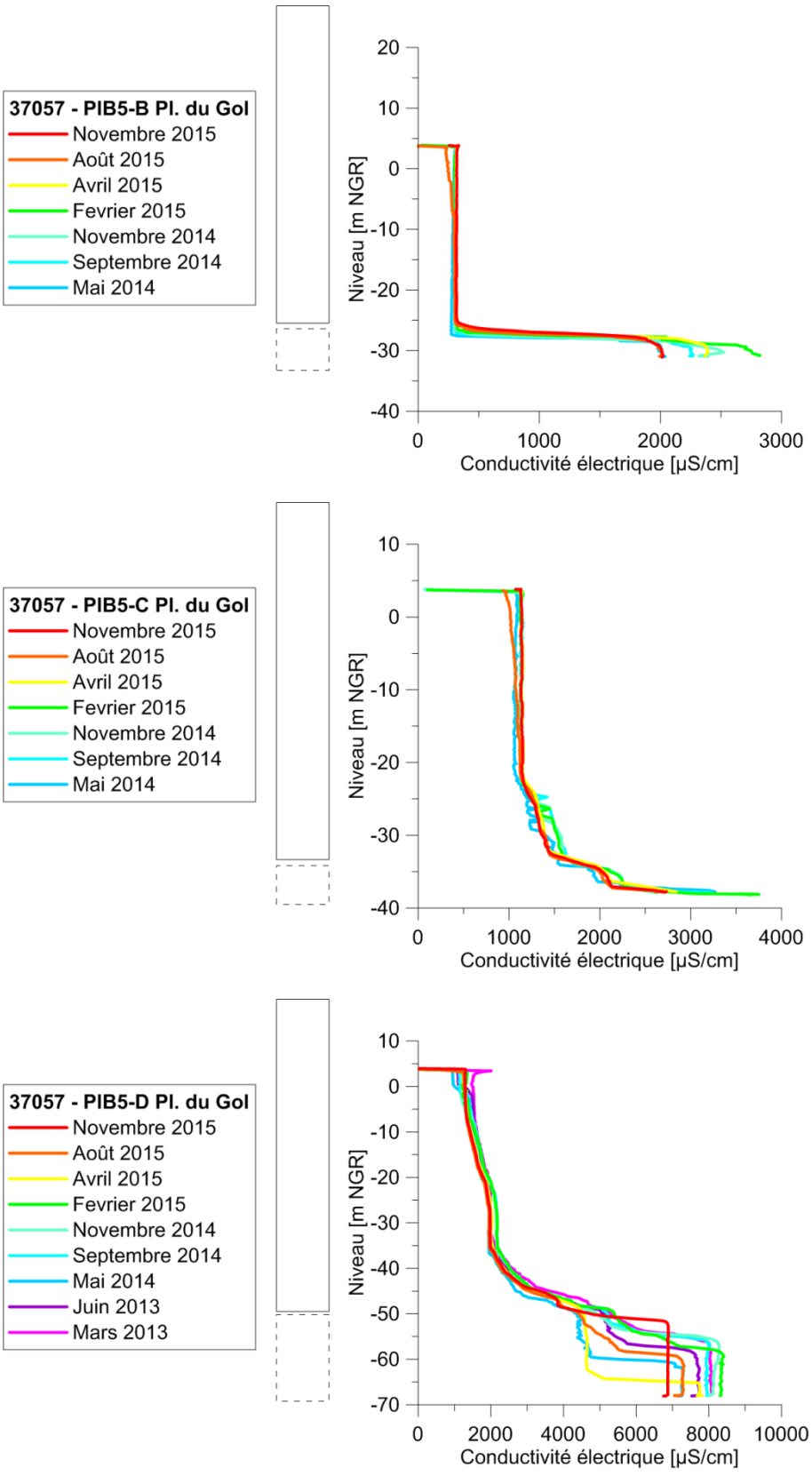


Figure 4.42 : Logs de conductivité électrique sur 37057 PIB5-B-C-D Plaine du Gol

4.5.3 Piézomètre 37056 PIB4-C Plaine du Gol

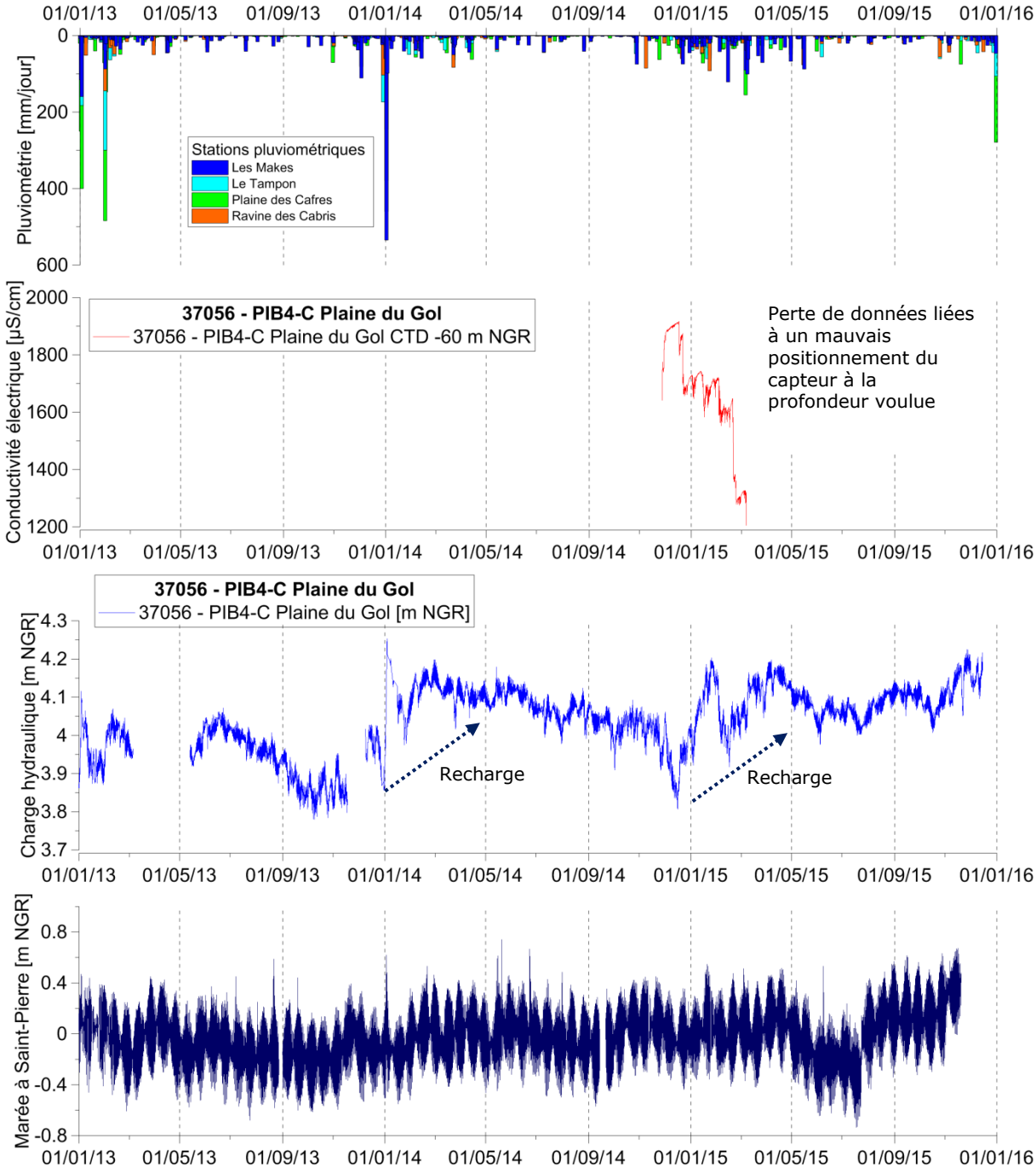


Figure 4.43 : Suivi en continu au piézomètre 37056 PIB4-C Plaine du Gol

La chronique de conductivité enregistrée sur PIB4-C est n'est pas suffisamment longue pour déceler une éventuelle influence de la recharge sur la salinité, même si une baisse de la minéralisation se dessine depuis le début de la saison pluvieuse de 2015.

En revanche, à la fréquence journalière, un impact de la marée peut être mis en évidence sur le signal de conductivité électrique.

Les logs de conductivité électrique laissent voir une colonne d'eau de salinité homogène sur toute sa hauteur au niveau des crépines et fluctuant dans le temps entre 2000 et 2500 µS/cm (Figure 4.44).

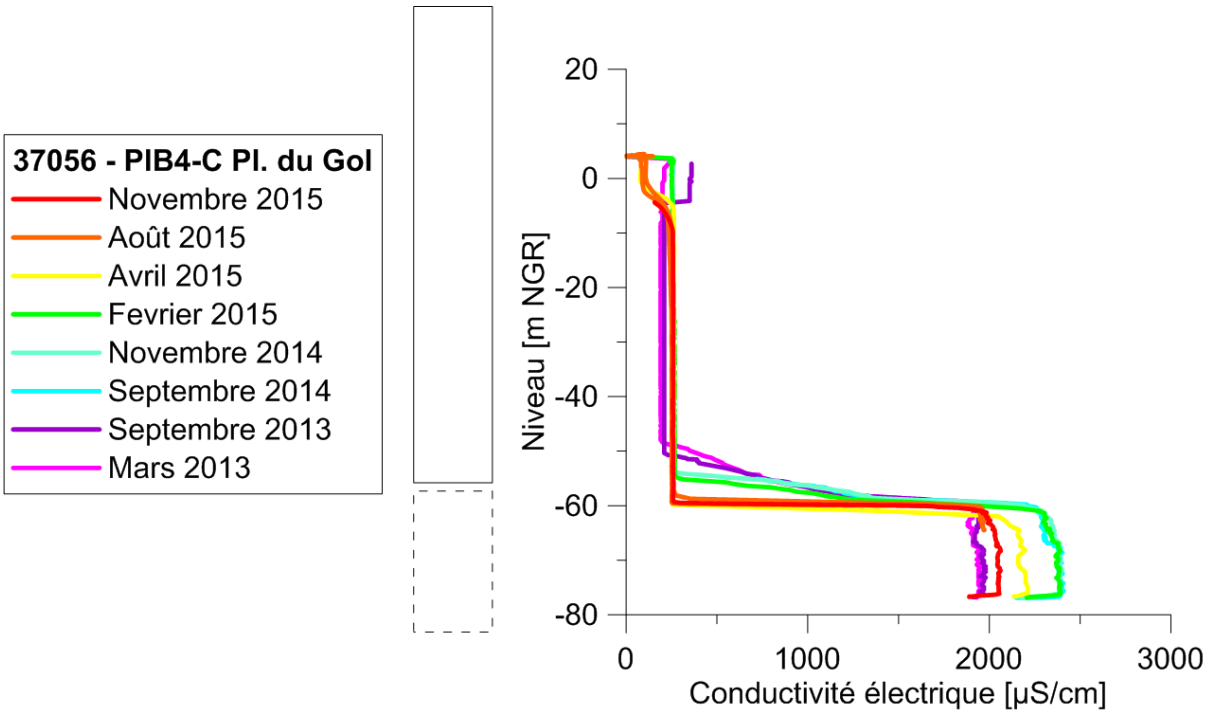


Figure 4.44 : Logs de conductivité électrique sur 37056 PIB4-C Plaine du Gol

4.5.4 Synthèse des résultats dans le secteur de l'Etang Salé et du Gol

Les chroniques de conductivité électrique obtenues dans ce secteur n'ont pas permis la mise en évidence d'une influence de la recharge sur la salinité. En revanche, il apparait sur l'ensemble des ouvrages instrumentés que l'évolution à fréquence journalière de la salinité semble être assujettie aux mouvements de la marée.

Par ailleurs, l'étude Hydrogol démontre que les prélèvements par pompages influencent l'évolution de la salinité à moyen et long terme (Lanini et al. 2013; BRGM/RP-62893-FR).

Enfin, l'analyse des logs de conductivité réalisés sur l'ouvrage PIB5 suggère que ce dernier recoupe une seule masse d'eau côtière. Bien que compartimentée au niveau des forages par des horizons imperméables, les masses d'eau définies ici seraient connectées à différents endroits, ce qui expliquerait la continuité verticale des salinités mesurées.

4.6 Secteur de Saint-Pierre

La géologie du secteur de Pierrefonds et de Saint-Pierre est caractérisée par des dépôts alluvionnaires de la Rivière Saint-Etienne, recouvrant des formations basaltiques du Piton des Neiges. Des lentilles de tufs pyroclastiques et de coulées boueuses plus ou moins indurées ont été observées de façon sporadique à différents endroits de la plaine côtière.

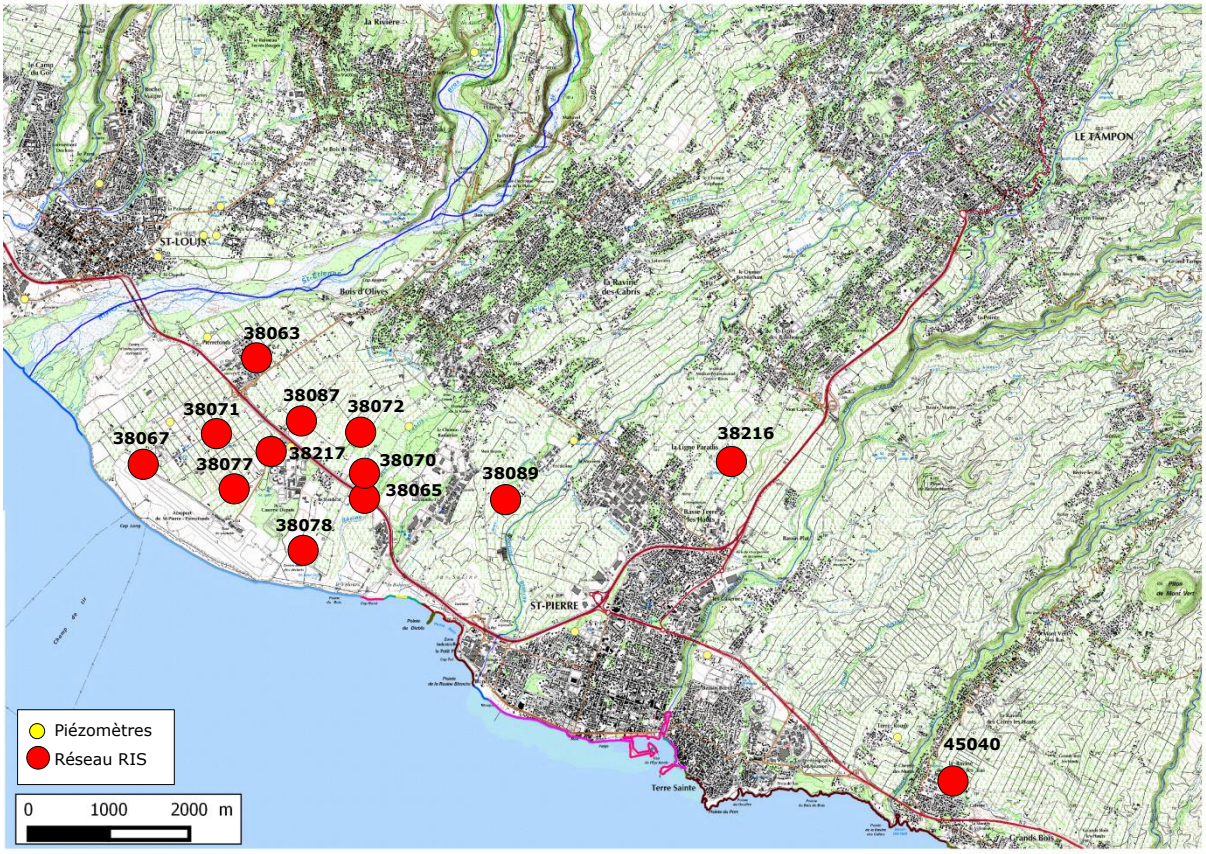


Figure 4.45 : Localisation des piézomètres du réseau RIS à Saint-Pierre

13 ouvrages sont instrumentés dans ce secteur :

- 38063 PIB7 Pierrefonds Village,
- 38065 F15 La Vallée,
- 38067 F12 Aérodrome,
- 38070 F10 Ravine des Cabris,
- 38071 F7 Pierrefonds,
- 38072 F9 Pierrefonds,
- 38077 P12 Aérogare,
- 38078 P11 Syndicat,
- 38087 Dupuis 3,
- 38089 Ravine Blanche,
- 38216 Chemin Salette,
- 38217 S2 Caserne,
- 45040 P1 La Cafrine.

4.6.1 Piézomètre 38063 PIB7 Pierrefonds Village

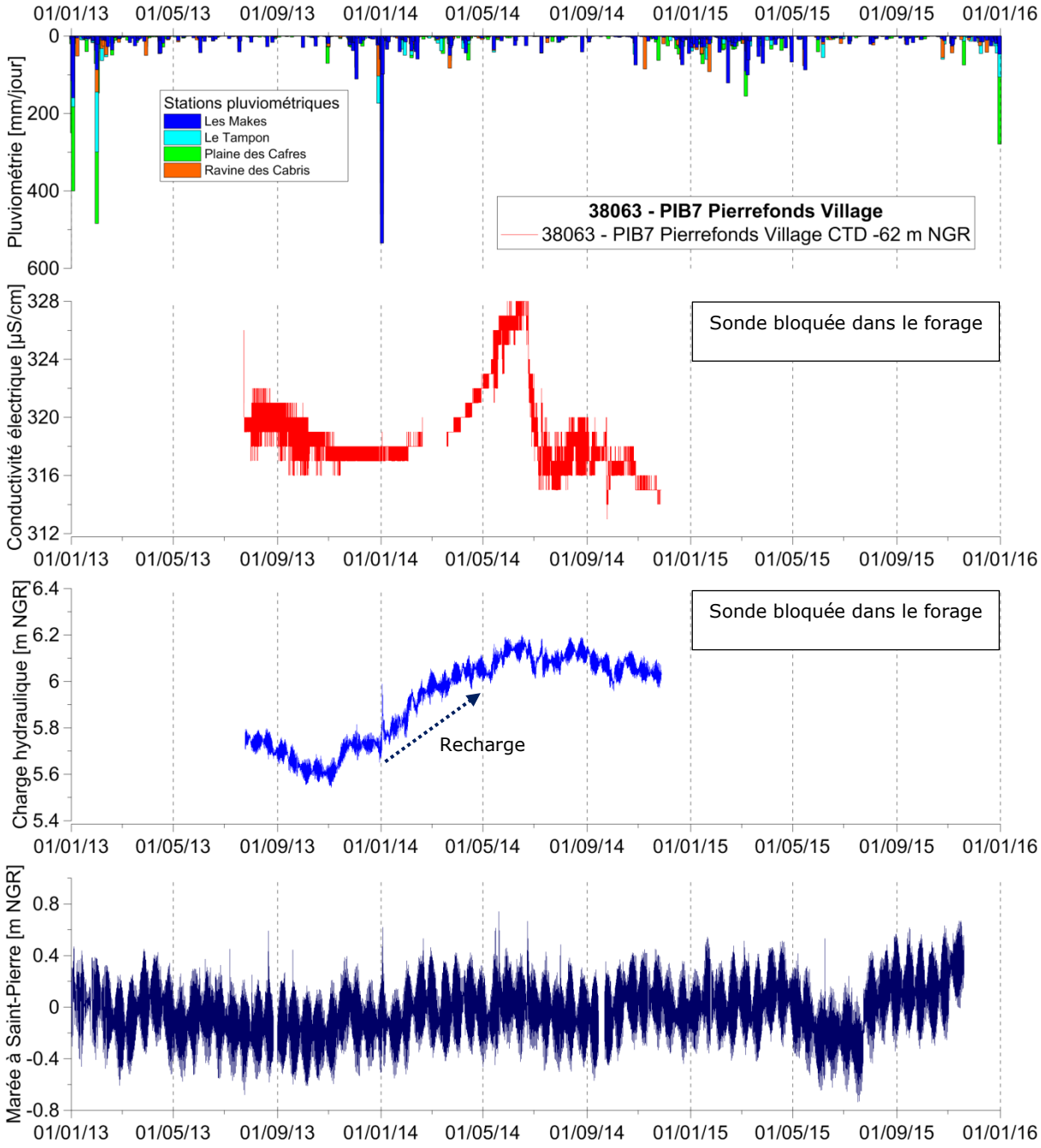


Figure 4.46 : Suivi en continu au piézomètre 38063 PIB7 Pierrefonds Village

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage révèle une certaine inertie des niveaux de salinité qui fluctuent seulement entre 316 et 328 µS/cm. Ces valeurs relativement faibles pourraient s'expliquer par une alimentation provenant des pertes de La Rivière Saint-Etienne.

La chronique enregistrée n'est pas suffisamment longue pour détecter une variation de salinité associée à un épisode de recharge particulier. Enfin, l'impact de la marée semble négligeable sur l'évolution des salinités observée ici.

Les logs de conductivité électrique confirment l'inertie observée au niveau de la salinité, avec des conductivités électriques homogènes sur toute la colonne d'eau et fluctuant très peu dans le temps entre 300 et 340 µS/cm (Figure 4.47).

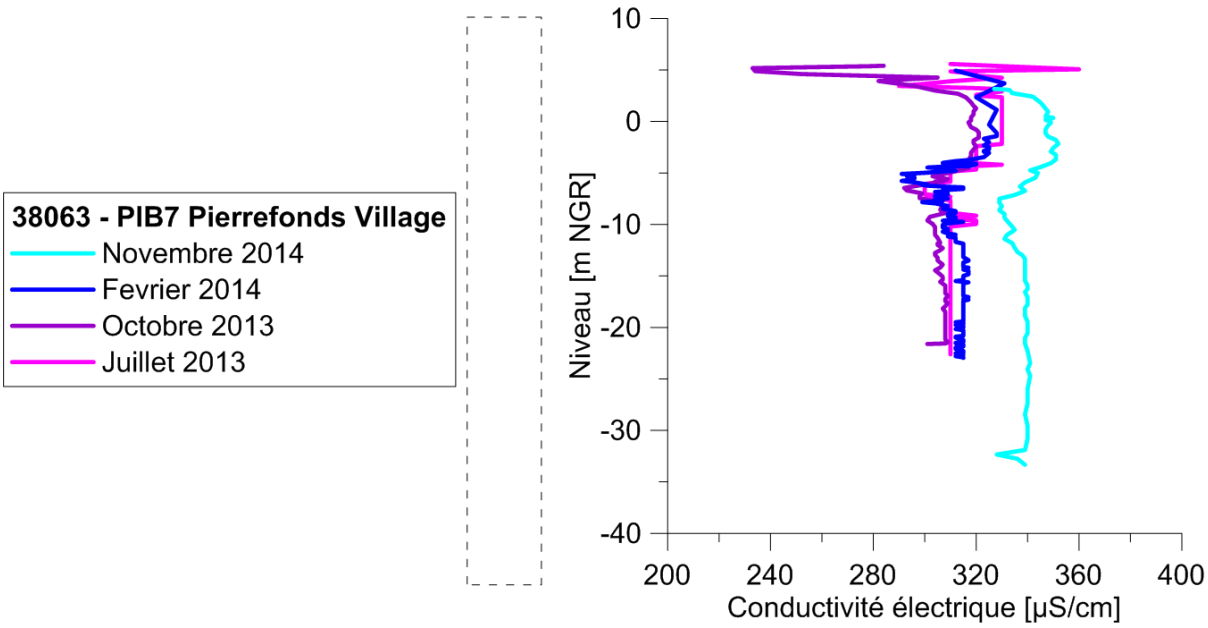


Figure 4.47 : Logs de conductivité électrique sur 38063 PIB7 Pierrefonds Village

4.6.2 Piézomètre 38067 F12 Aérodrome

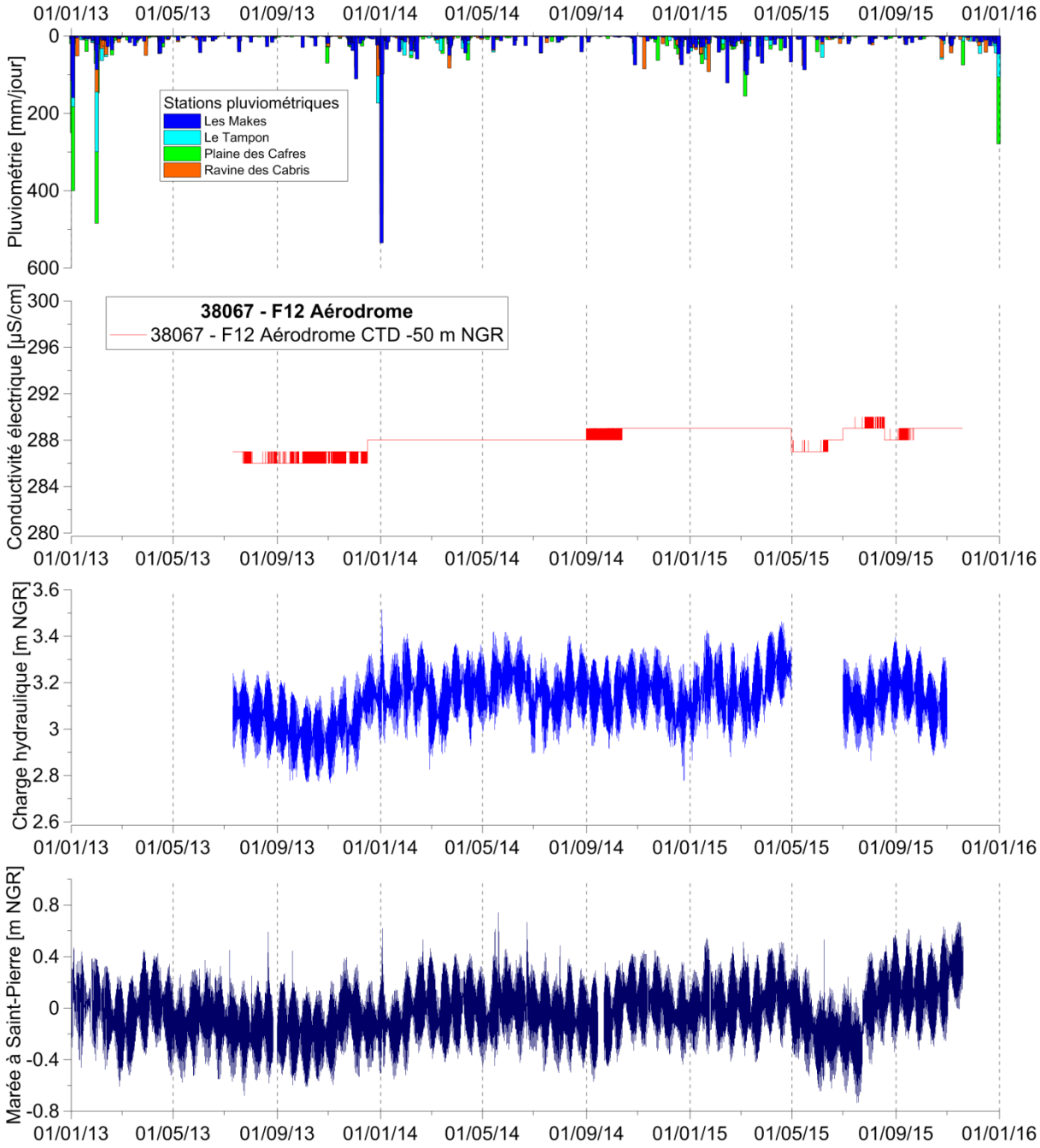


Figure 4.48 : Suivi en continu au piézomètre 38067 F12 Aérodrome

A l'instar du signal issu du forage PIB7 Pierrefonds Village décrit précédemment, le signal de conductivité électrique du forage F12 Aérodrome suggère une influence des apports d'eau douce provenant de La Rivière Saint-Etienne permettant le maintien d'un niveau de salinité relativement faible, caractérisée par des conductivités oscillant entre 286 et 290 µS/cm sur toute la période des mesures. Cette hypothèse est corroborée par les résultats de la géophysique héliportée (Aunay et al. 2016; BRGM/RP-65621)

Ces très faibles variations correspondant à la gamme d'incertitude des sondes, la valeur de conductivité peut être considérée constante. Malgré la proximité de la côte, l'impact de la marée sur l'évolution de la salinité dans cet ouvrage est négligeable.

Par ailleurs, la chronique enregistrée montre un impact de la recharge sur la piézométrie, mais ne permet pas de visualiser une influence majeure sur la salinité.

Enfin, les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage confirment l'inertie des niveaux de salinité qui restent constants sur toute la colonne d'eau interceptée et qui peuvent fluctuer dans le temps entre 280 et 300 µS/cm seulement (Figure 4.49).

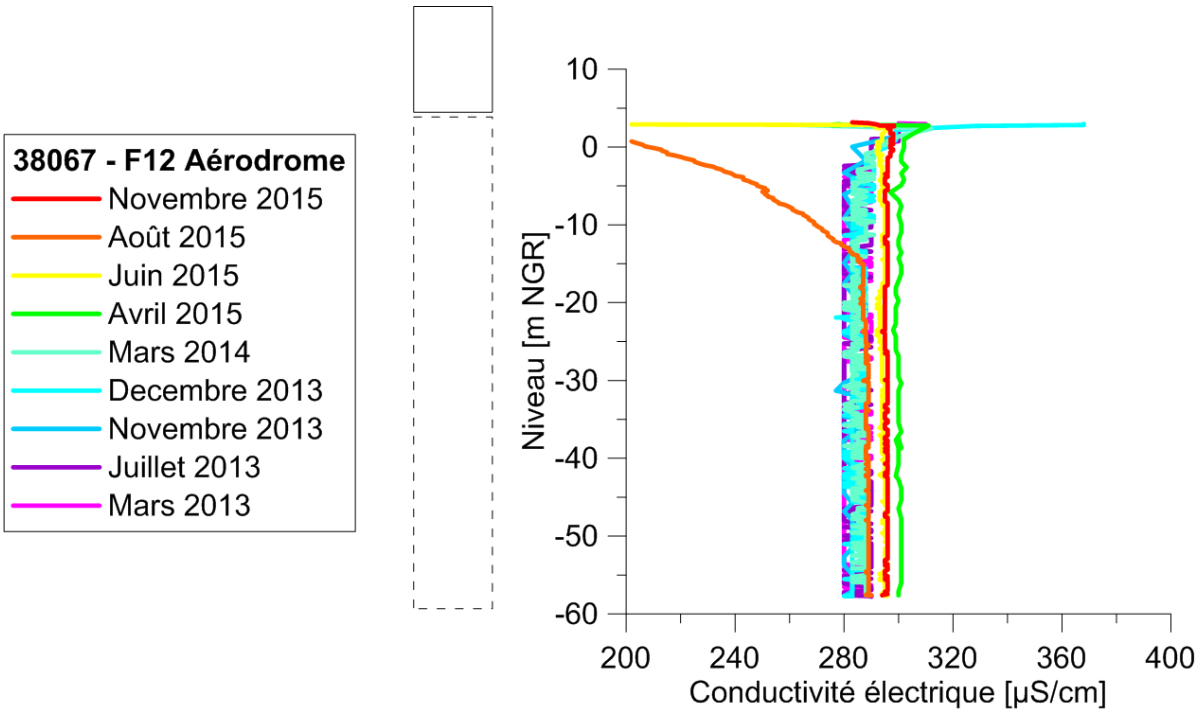


Figure 4.49 : Logs de conductivité électrique sur 38067 F12 Aérodrome

4.6.3 Piézomètre 38065 F15 La Vallée

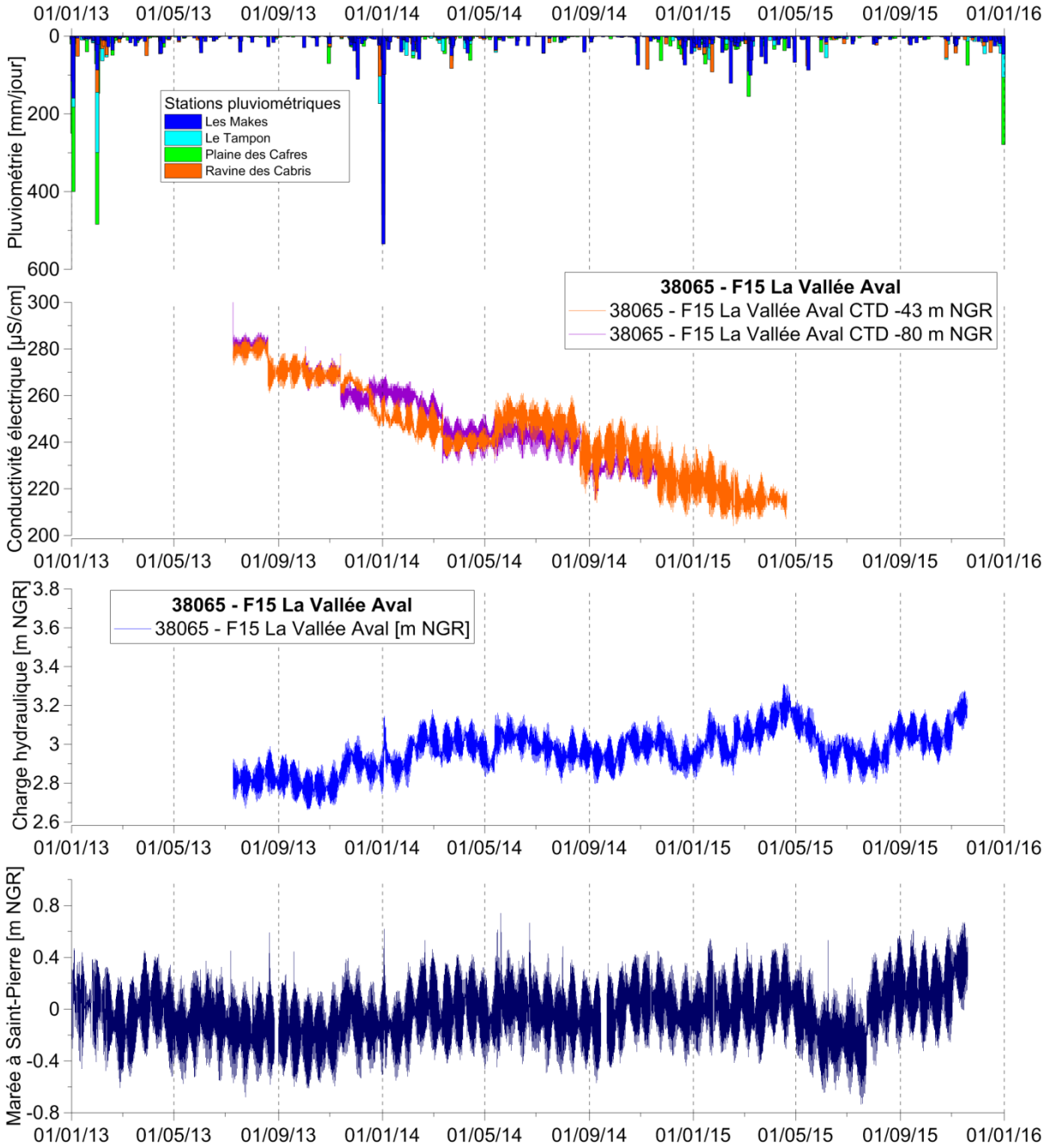


Figure 4.50 : Suivi en continu au piézomètre 38065 F15 La Vallée

Les signaux de conductivité électrique enregistrée à -43 et -80 m NGR permettent de bien mettre en évidence :

- Un rôle prépondérant de la marée sur l'évolution de la conductivité électrique, selon la fréquence journalière et suivant les phases lunaires (cycles vives eaux/mortes eaux de période 14 jours),
- Une tendance à la baisse des salinités dans ce secteur depuis l'instrumentation de l'ouvrage au mois de juillet 2013, concomitante à une légère hausse du niveau d'eau

- Une absence d'influence directe des principaux épisodes de recharge associés aux évènements hydro-climatiques les plus marquants sur la salinité.

Le maintien d'un suivi par diagraphies de conductivité électrique à fréquence trimestrielle sur cet ouvrage permettra de confirmer cette tendance à la baisse de la salinité révélée par le suivi en continu.

4.6.4 Piézomètre 38070 F10 Ravine des Cabris

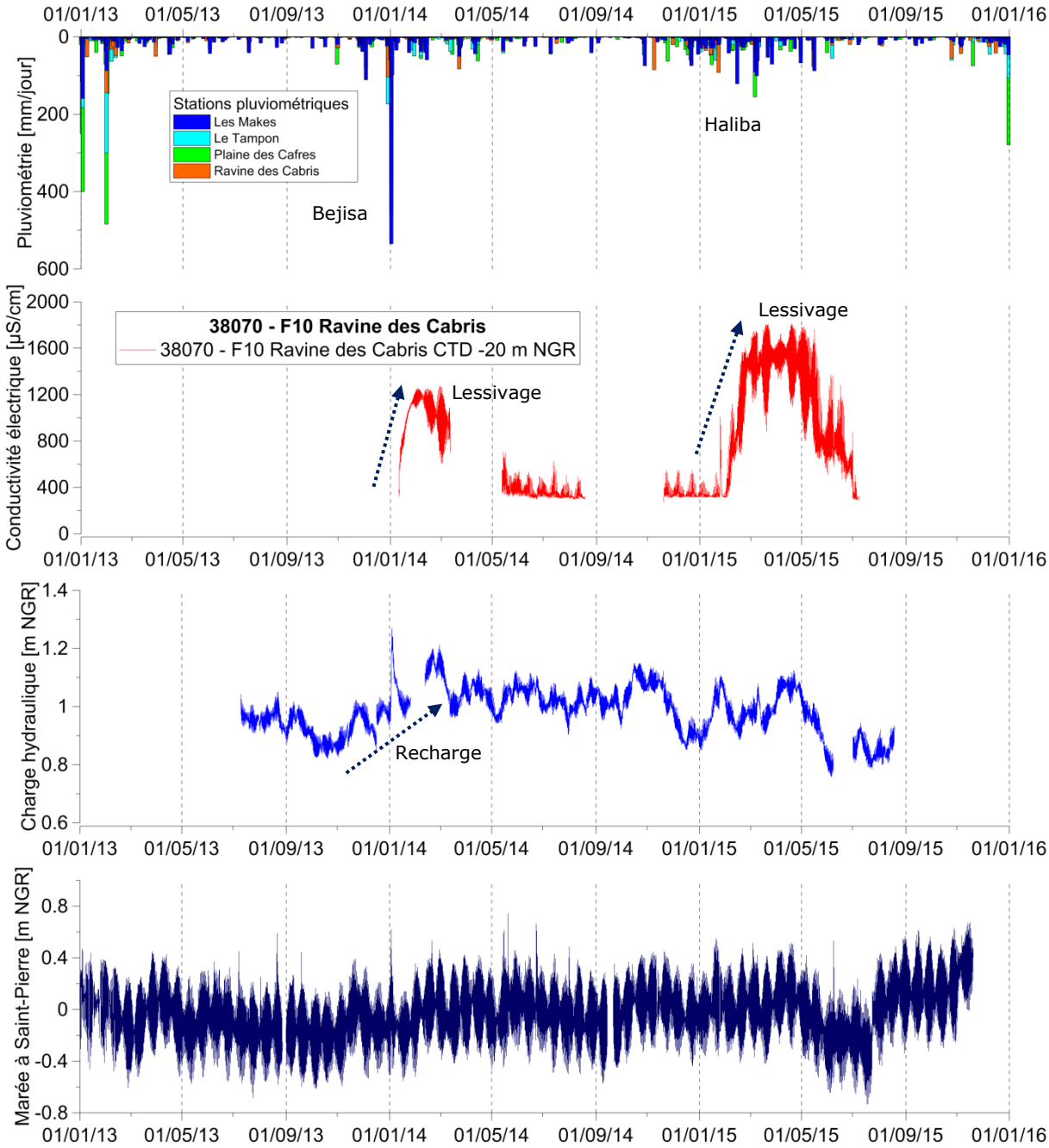


Figure 4.51 : Suivi en continu au piézomètre 38070 F10 Ravine des Cabris

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage révèle, comme sur le précédent, un impact des fluctuations océaniques sur l'évolution de la salinité, selon différentes fréquences (marée journalière et phases lunaires).

Les épisodes de recharge induisent des infiltrations d'eaux plus minéralisées qui se manifestent par les fortes hausses visibles sur le suivi en continu : de 400 à 1 200 µS/cm en 2014, ensuite de 400 à 1 600 µS/cm en 2015. Cette salinisation d'origine superficielle traduit un lessivage des terrains situés en amont de l'ouvrage.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage mettent en évidence cette contamination d'origine anthropique caractérisée par une eau plus minéralisée dans la partie superficielle de la nappe (Figure 4.52).

L'impact de cette pollution est particulièrement visible sur les logs de février, mars et mai 2014, quelques mois après les précipitations intenses du cyclone Béjisa en janvier 2014.

Le maintien d'un suivi par diagraphies de conductivité électrique à fréquence trimestrielle pourra éclairer sur le rôle des épisodes hydro-climatiques saisonniers sur la salinité de la colonne d'eau recoupée par cet ouvrage.

Une autre hypothèse susceptible d'expliquer les tendances de salinité observées est liée à l'hétérogénéité de l'aquifère stratifié. Cette stratification peut induire des zones fortement salinisées en connexion préférentielle avec l'Océan et situées entre deux compartiments faiblement connectés à la mer et donc moins minéralisés.

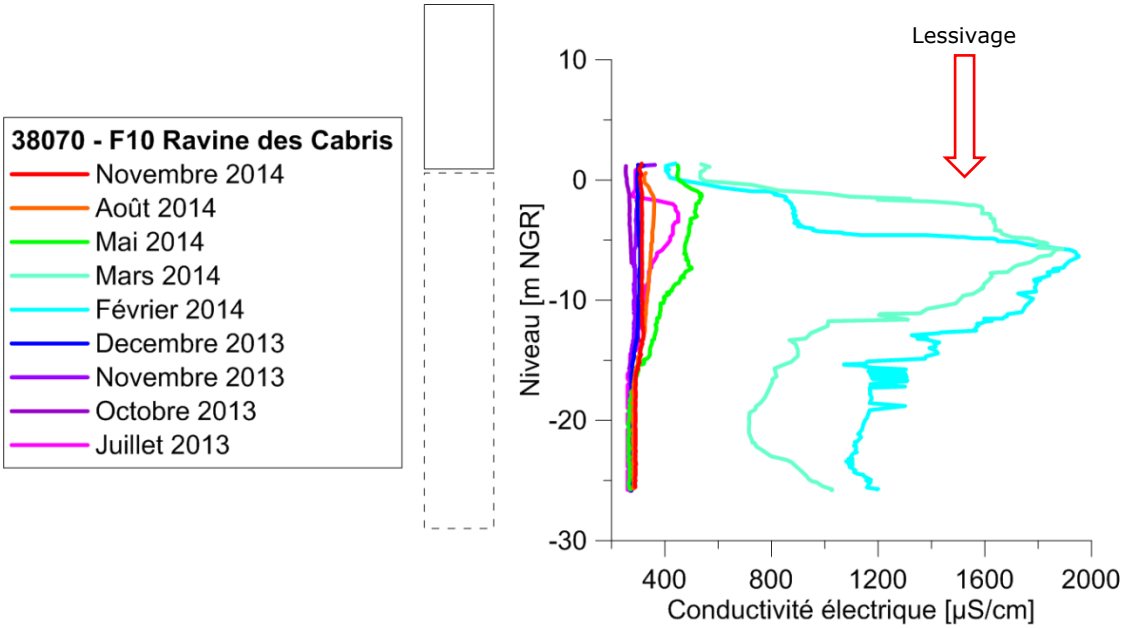


Figure 4.52 : Logs de conductivité électrique sur 38070 F10 Ravine des Cabris

4.6.5 Piézomètre 38071 F7 Pierrefonds

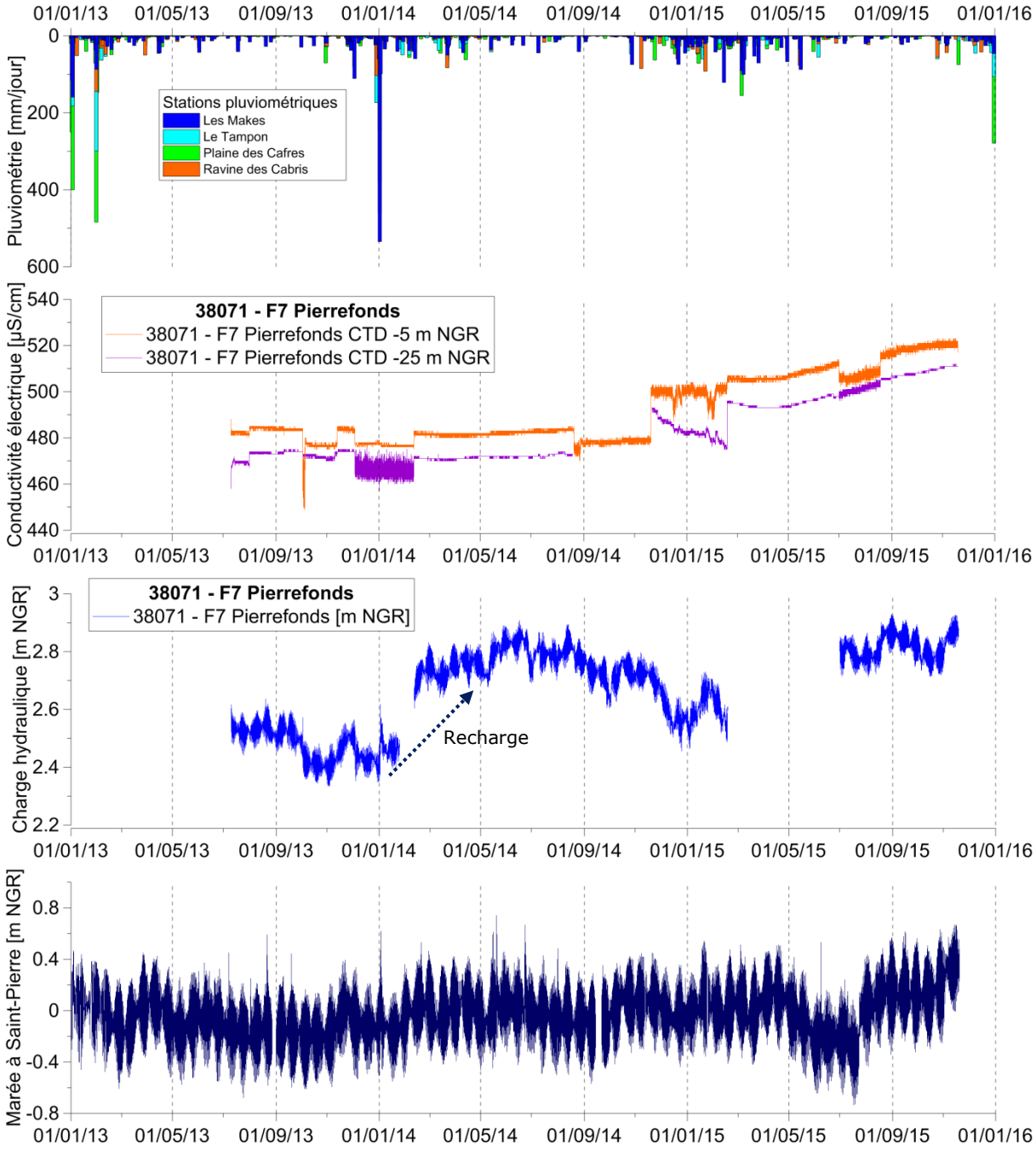


Figure 4.53 : Suivi en continu au piézomètre 38071 F7 Pierrefonds

Les deux signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage indiquent :

- Une tendance à la hausse de salinité au niveau de F7 Pierrefonds,
- Un impact de la marée sur les variations journalières de la salinité. Cet impact est plus ou moins prononcé en fonction de la profondeur du capteur qui est légèrement décalé après l'intervention des opérateurs sur le site,

- Un niveau de salinité plus élevé mesuré par le capteur superficiel placé à -5 m NGR. Ce résultat peut s'expliquer par un phénomène de lessivage chronique des horizons superficiels qui entraine une arrivée permanente d'eau plus minéralisée dans la nappe. Cette hypothèse parait plausible compte tenu de l'emprise des activités agricoles et de l'urbanisation croissante observée dans ce secteur. En effet, des études menées sur la côte ouest de l'île ont déjà permis de mettre en évidence des exemples de contamination de la nappe par des effluents d'origine agricole (Rogers et al. 2012; Aunay and Gourcy 2007).

Les logs de conductivités réalisés sur cet ouvrage révèlent une colonne d'eau de salinité relativement homogène, dont les conductivités électriques ne varient qu'entre 400 et 500 µS/cm. Il apparait que les conductivités restent légèrement plus élevées dans la partie superficielle de la nappe ; ce résultat confirmerait l'hypothèse d'un lessivage chronique des terrains superficiels (Figure 4.54).

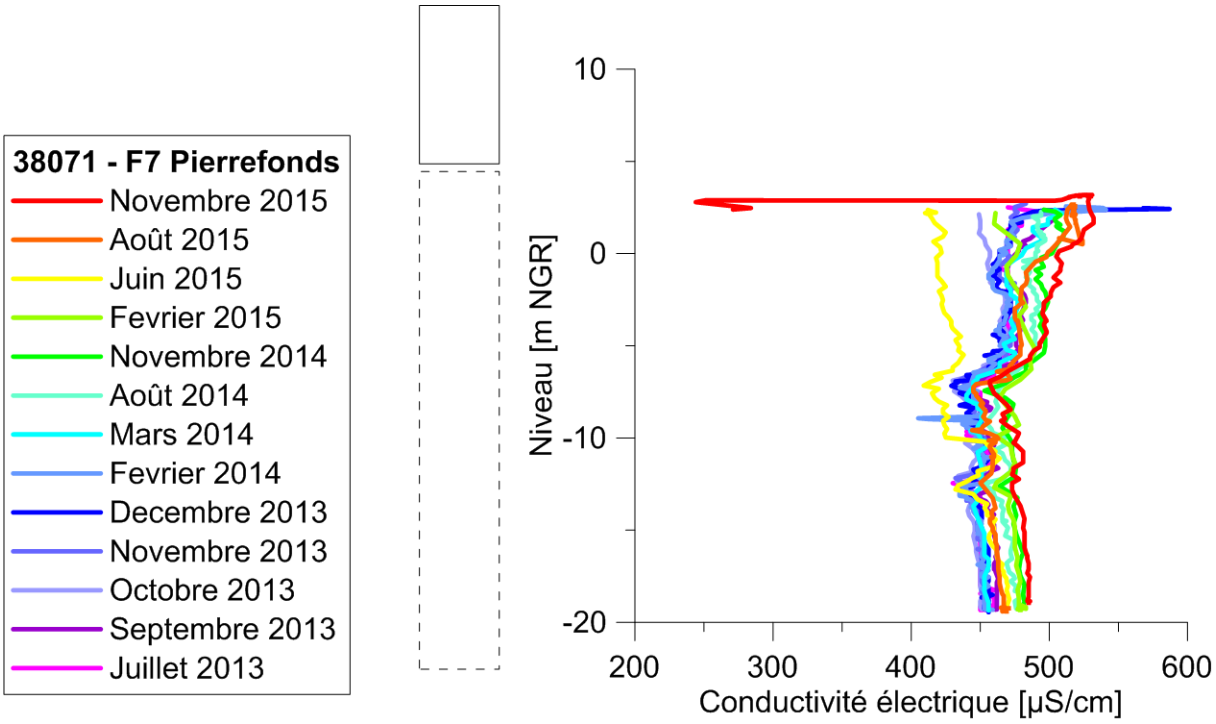


Figure 4.54 : Logs de conductivité électrique sur 38071 F7 Pierrefonds

4.6.6 Piézomètre 38072 F9 Pierrefonds

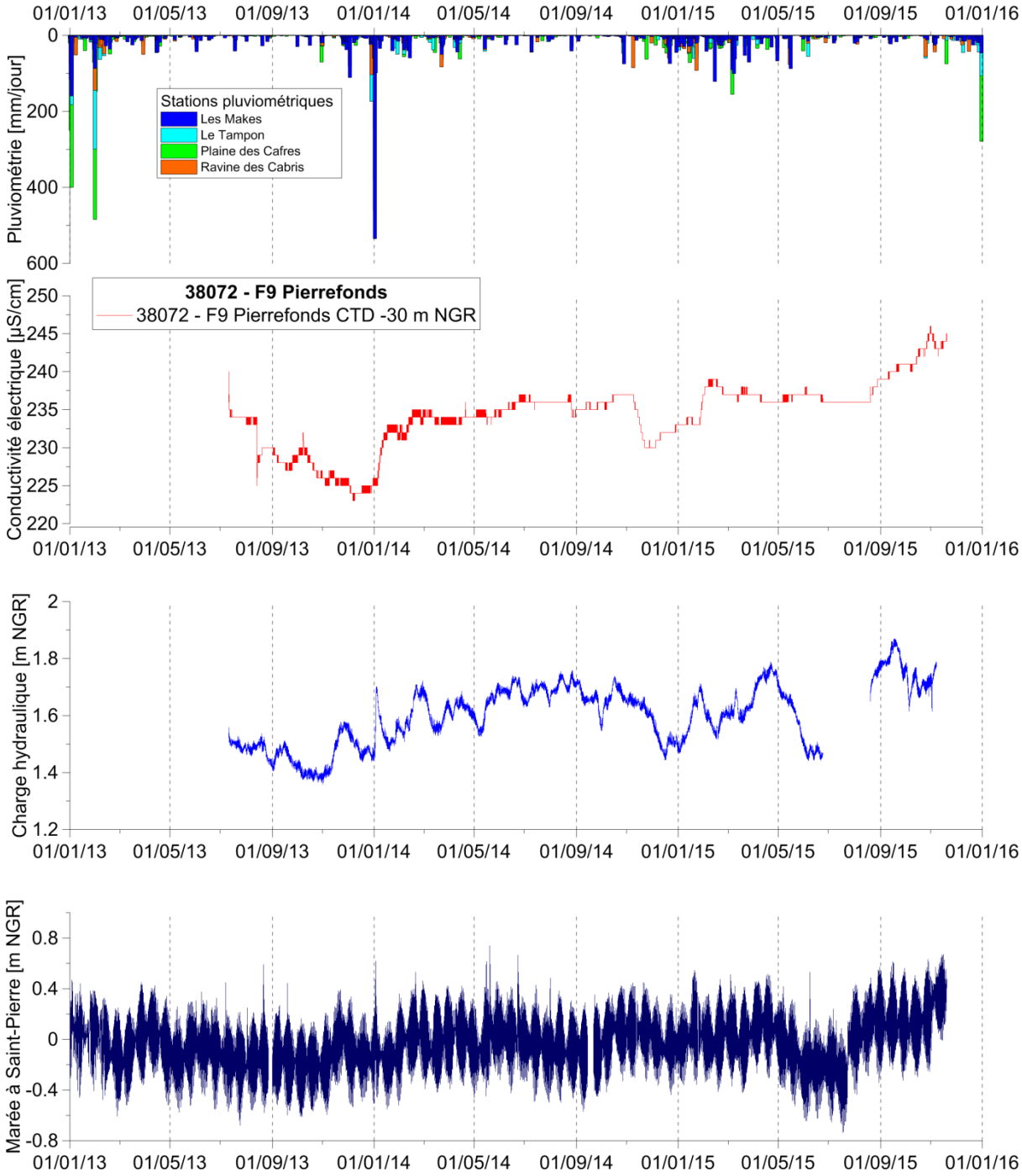


Figure 4.55 : Suivi en continu au piézomètre 38072 F9 Pierrefonds

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage révèle une certaine stabilité des niveaux de conductivité électrique qui fluctuent entre 225 et 245 µS/cm sur toute la période des mesures. Les évènements hydro-climatiques majeurs ne semblent pas avoir une influence significative sur la salinité et l'impact des forçages océaniques peut être considéré comme négligeable à ce niveau.

La poursuite de la surveillance de la conductivité électrique sur ce point d'observation est préconisée afin de pouvoir anticiper une éventuelle dégradation de la ressource.

4.6.7 Piézomètre 38077 P12 Aérogare

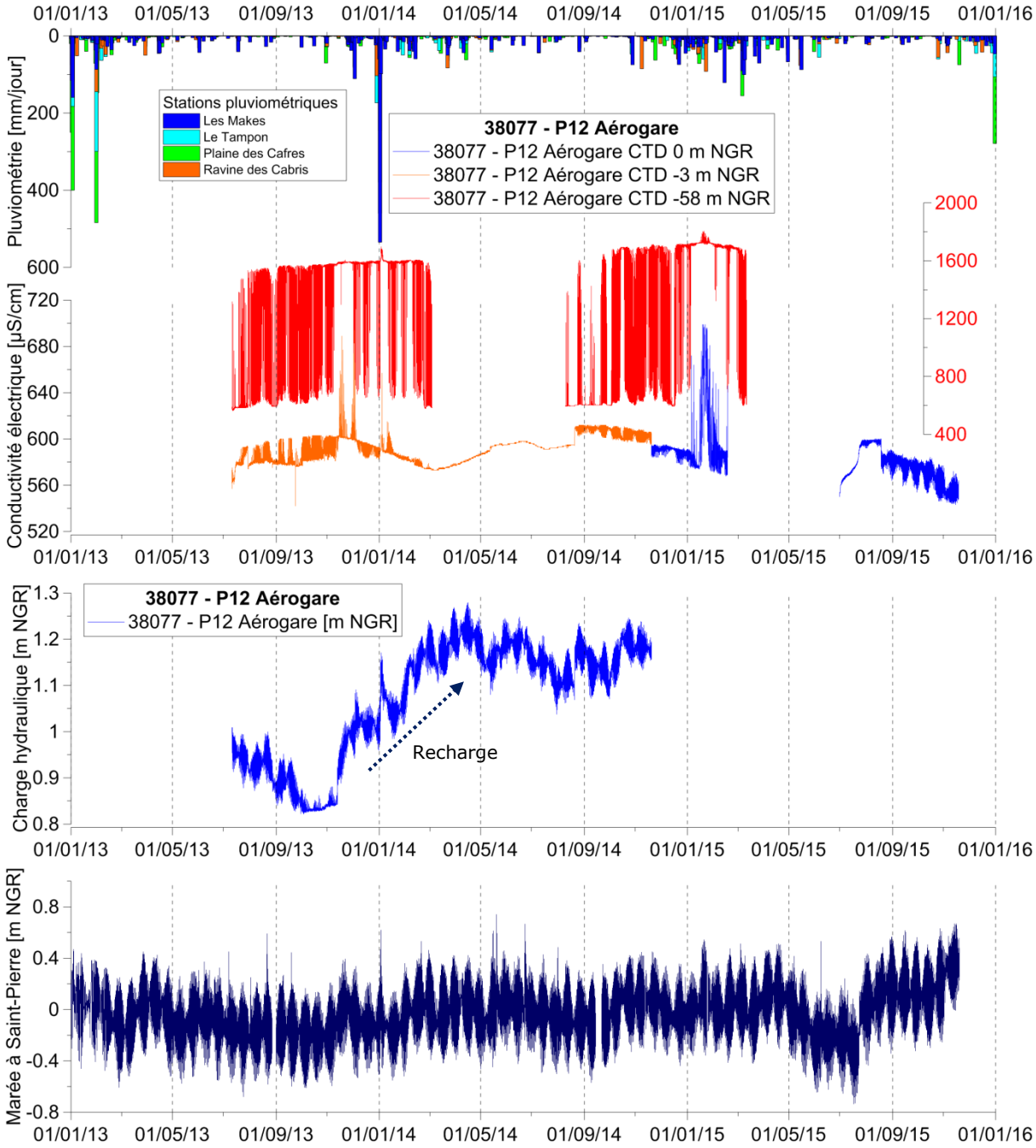


Figure 4.56 : Suivi en continu au piézomètre 38077 P12 Aérogare

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage indiquent un impact de la marée sur les variations des niveaux de salinité. Cette influence des variations marégraphiques augmente évidemment avec la profondeur : le capteur profond affiche des fluctuations des conductivités électriques oscillant entre 600 et 1800 µS/cm.

Les évènements pluvieux les plus intenses semblent provoquer une baisse de la minéralisation entre janvier et mars 2014 à -3 m NGR. Il apparait que l'impact de la recharge sur l'évolution de la salinité n'est pas le même en fonction de la profondeur des capteurs.

Les logs de conductivités réalisés sur cet ouvrage confirment l'emprise de la marée sur les salinités mesurées dans la colonne d'eau. Il apparait que les niveaux de conductivité électrique mesurés dépendent directement de l'état de la marée au moment de la réalisation de la diagraphie : les logs réalisés en période de marée basse indiquent des conductivités électriques n'excédant pas 1 200 µS/cm sur toute la colonne d'eau, tandis que les logs réalisés en période de marée haute affichent des conductivités dépassant les 1 600 µS/cm. Cette situation est confirmée par le suivi en continu réalisé au niveau du capteur profond qui enregistre des variations de conductivités électriques journalières oscillant entre 600 et 1 800 µS/cm (Figure 4.57).

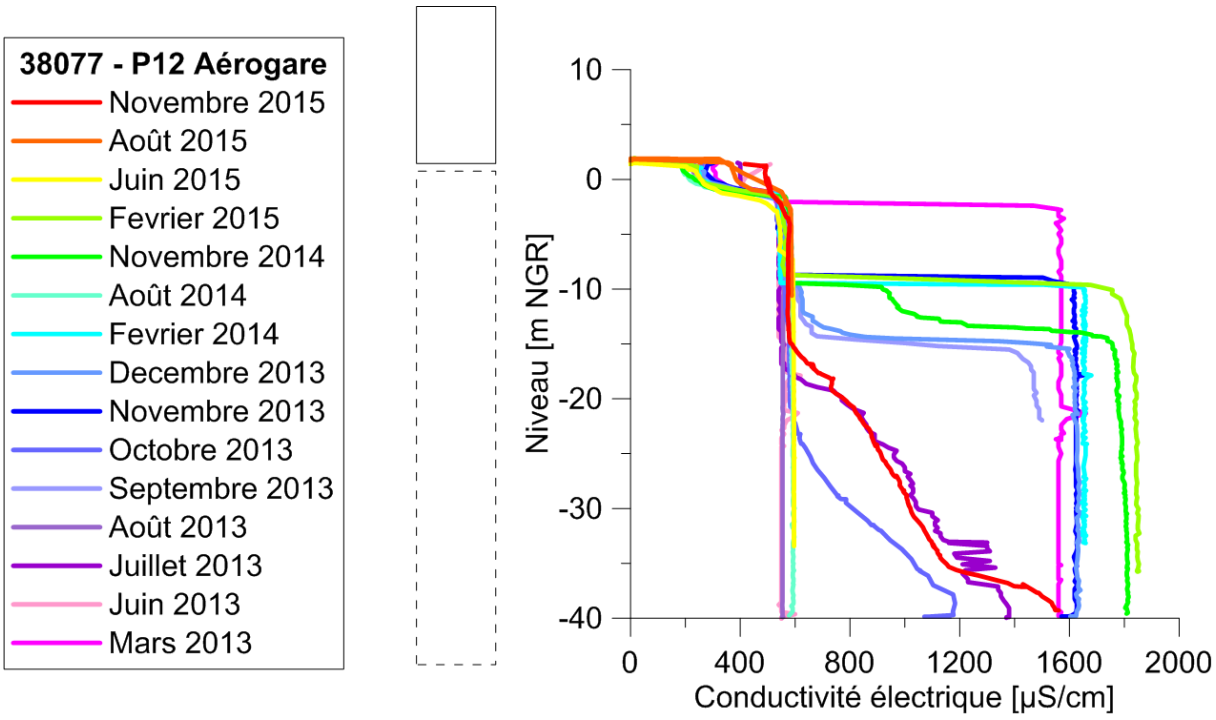


Figure 4.57 : Logs de conductivité électrique sur 38077 P12 Aérogare

4.6.8 Piézomètre 38078 P11 Syndicat

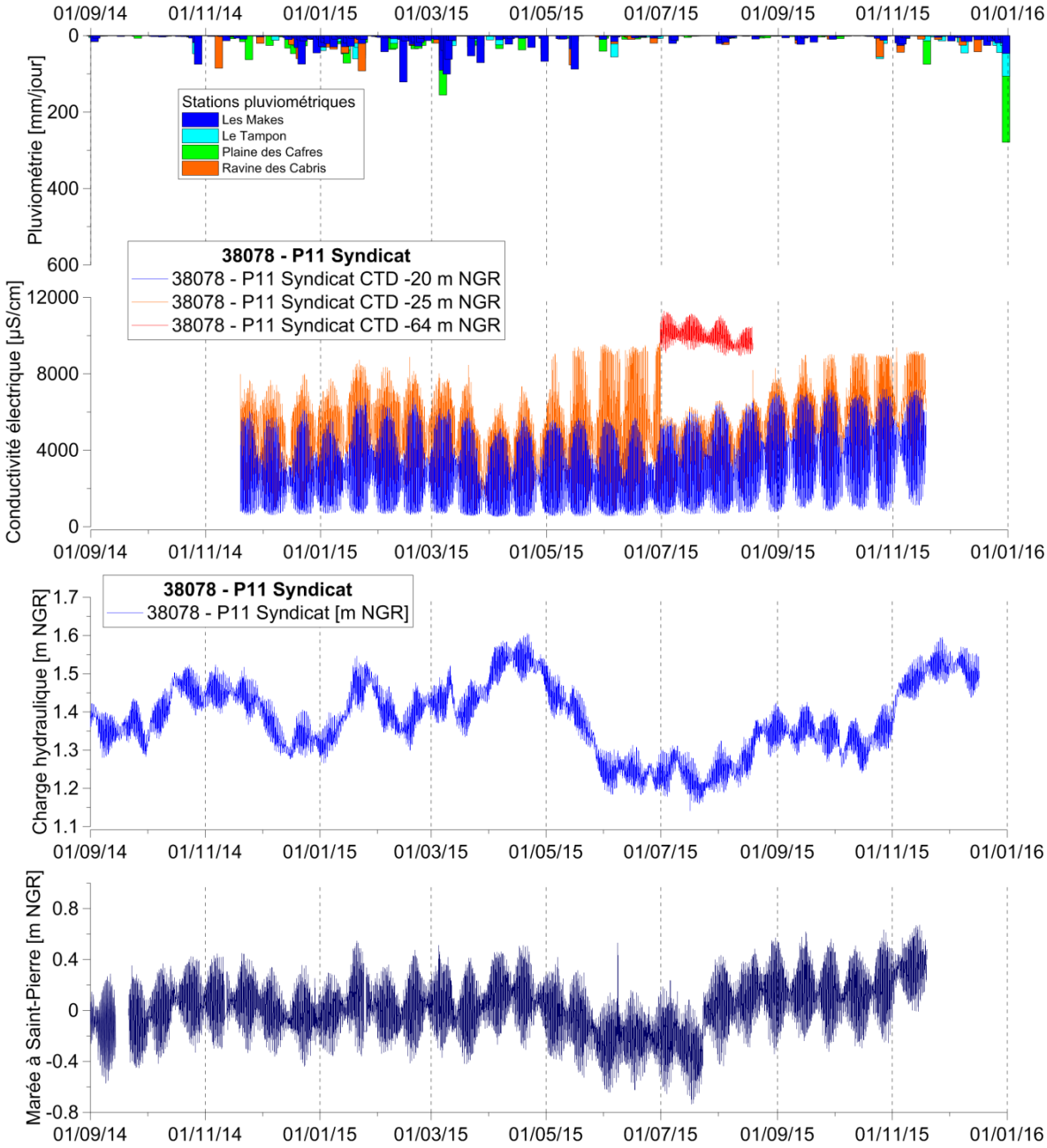


Figure 4.58 : Suivi en continu au piézomètre 38078 P11 Syndicat

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage indiquent une évolution des salinités entièrement contrôlée par les fluctuations marégraphiques au pas de temps journalier, avec des niveaux moyens des conductivités électriques variant entre 2 000 µS/cm vers -20 m NGR à 10 000 µS/cm vers -64 m NGR.

Les résultats du suivi en continu sont confirmés par les logs de conductivité électrique qui recoupe un biseau salé dont la limite supérieure est positionnée à -25 m NGR (comme sur P6 Ermitage et P5 Grande Ravine). L'interface saline est plus ou moins diffuse en fonction des saisons, et les niveaux de conductivité électrique passent de 2 000 µS/cm à plus de 10 000 µS/cm à -60 m NGR (Figure 4.59).

Le point intéressant est que la zone saumâtre/saline semble limitée entre -25 et -60 m, ce qui illustre bien que le biseau salé est un concept obsolète pour le contexte volcanique du fait d'une compartimentation de l'aquifère et des connexions avec l'océan.

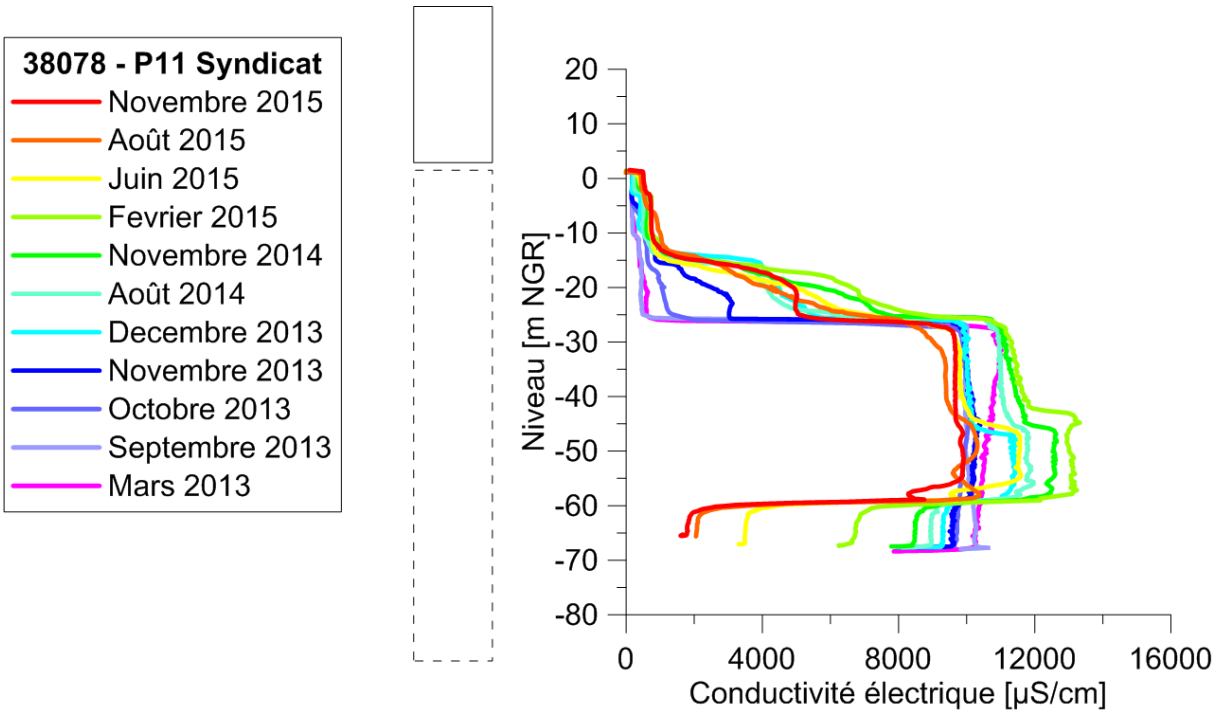


Figure 4.59 : Logs de conductivité électrique sur 38078 P11 Syndicat

4.6.9 Piézomètre 38087 Dupuis 3

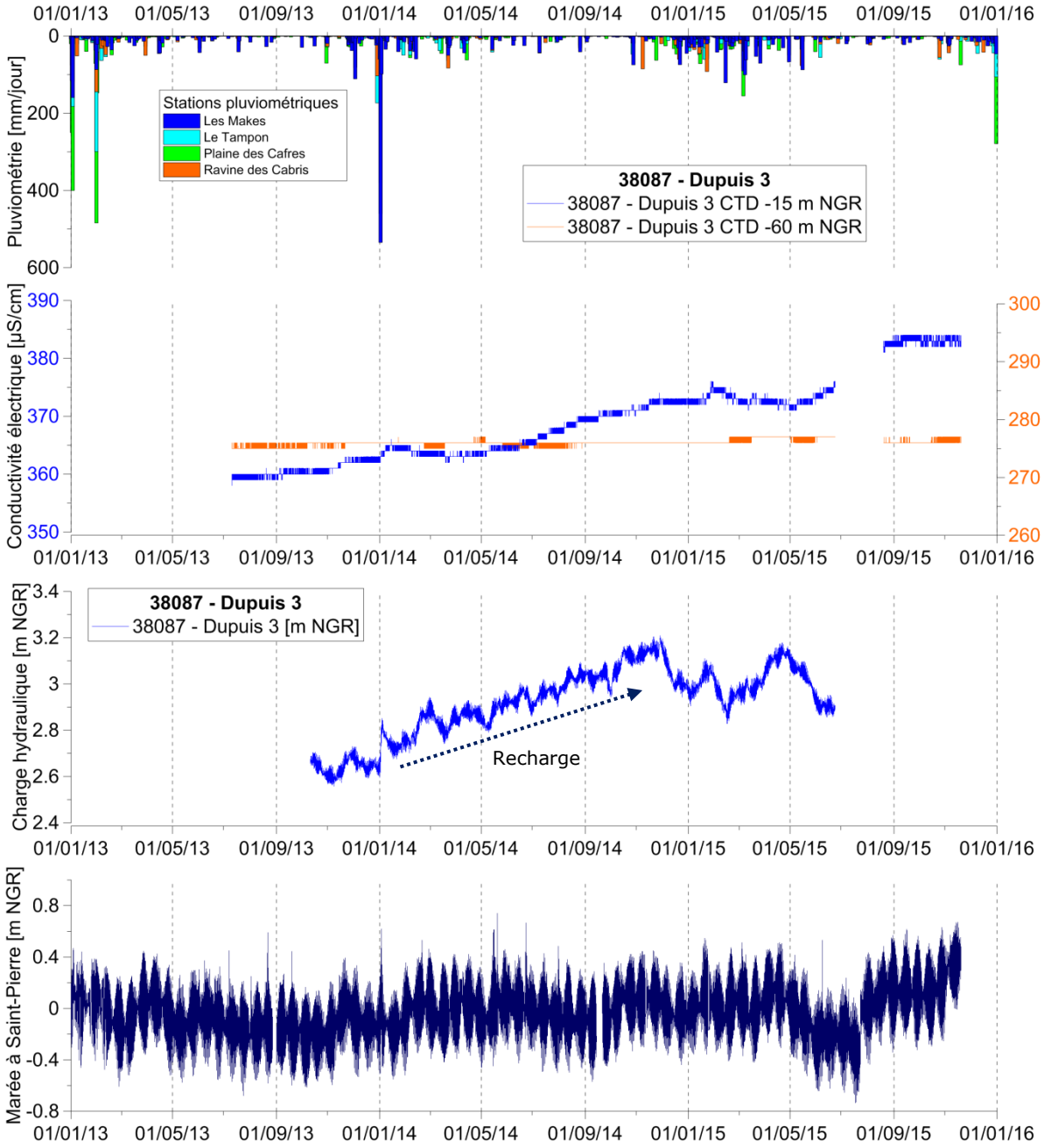


Figure 4.60 : Suivi en continu au piézomètre 38087 Dupuis 3

Le signal de conductivité électrique enregistré par le capteur profond placé à -60 m NGR indique un niveau de salinité très faible et constant qui se situe à 276 µS/cm sur toute la période des mesure. En revanche, le capteur superficiel affiche une tendance à la hausse des conductivités électriques sur toute la période des mesures, avec des niveaux de salinité plus élevés (360 à 380 µS/cm). Comme il a été vu précédemment sur le forage F7 par exemple, cette observation suggère la présence d'un processus de lessivage des terrains superficiels qui permet la percolation d'un fluide plus minéralisé contaminant la partie superficielle de la nappe. Cette hypothèse se justifie par la situation de l'ouvrage au droit de terrains agricoles et de plusieurs zones industrialisées.

Une autre hypothèse pour expliquer cette tendance particulière consisterait à admettre que l'augmentation progressive de la piézométrie vient lessiver un aquifère minéralisé.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage mettent en évidence la présence d'un panache d'eau plus minéralisée dans la partie superficielle de la colonne d'eau et confirment l'idée d'un lessivage régulier des horizons superficiels de l'aquifère, un phénomène consécutif aux évènements pluvieux (Figure 4.61).

Les conductivités électriques de la partie non contaminée de la nappe (située au-delà de -25 m NGR) n'excèdent pas 300 µS/cm. Ainsi, l'analyse par diagraphies de conductivité électrique révèle également l'impact des activités anthropiques sur la qualité de la nappe côtière.

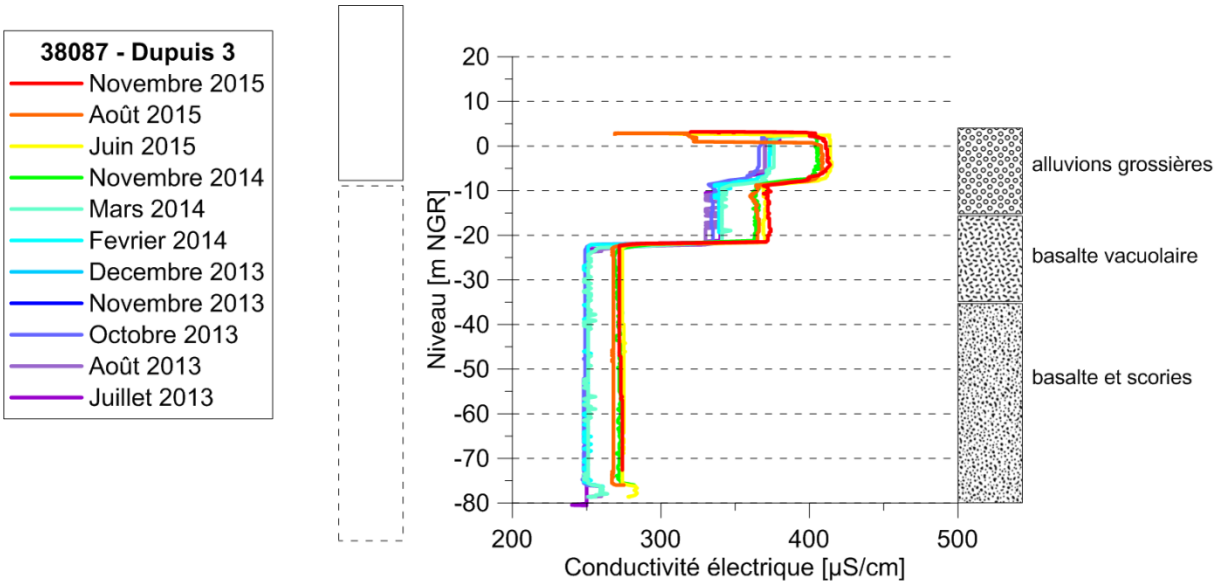


Figure 4.61 : Logs de conductivité électrique sur 38087 Dupuis 3

4.6.10 Piézomètre 38089 Ravine Blanche

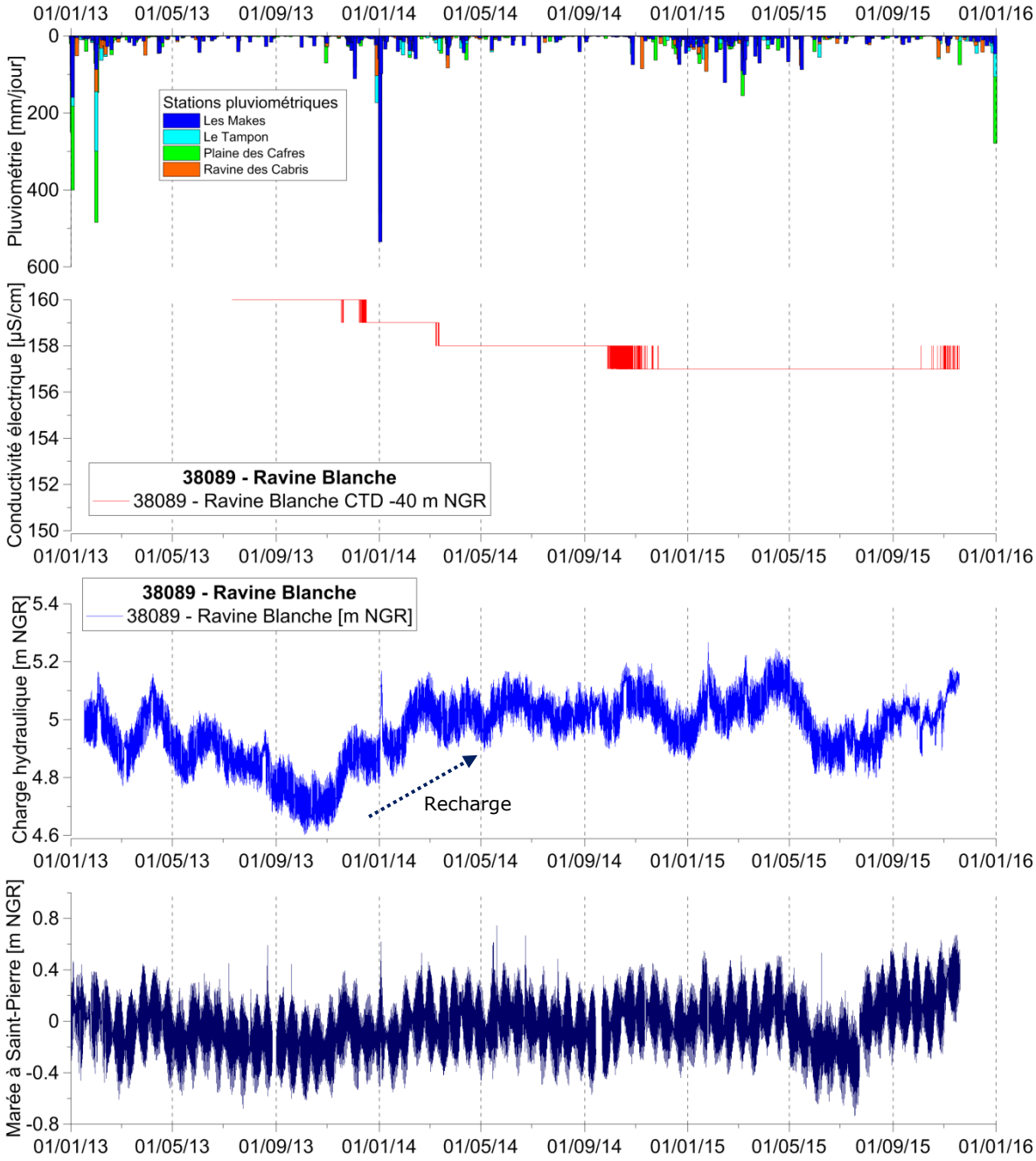


Figure 4.62 : Suivi en continu au piézomètre 38089 Ravine Blanche

Le signal de conductivité enregistré au niveau de cet ouvrage révèle les valeurs de salinité les plus faibles du secteur avec des conductivités électriques qui n'excèdent pas 160 µS/cm sur toute la période des mesures. L'impact des forçages externes océaniques ou pluviométriques sur la salinité semblent négligeable au niveau de ce forage.

Compte tenu de la stabilité des conductivités électriques, la recharge se localise probablement loin en amont du système, car seul le transfert de pression contrôle les signaux de conductivité électrique et de piézométrie. Ce faible niveau de minéralisation suggère la présence d'eaux souterraines caractérisées par un faible temps de résidence.

4.6.11 Piézomètre 38216 Chemin Salette

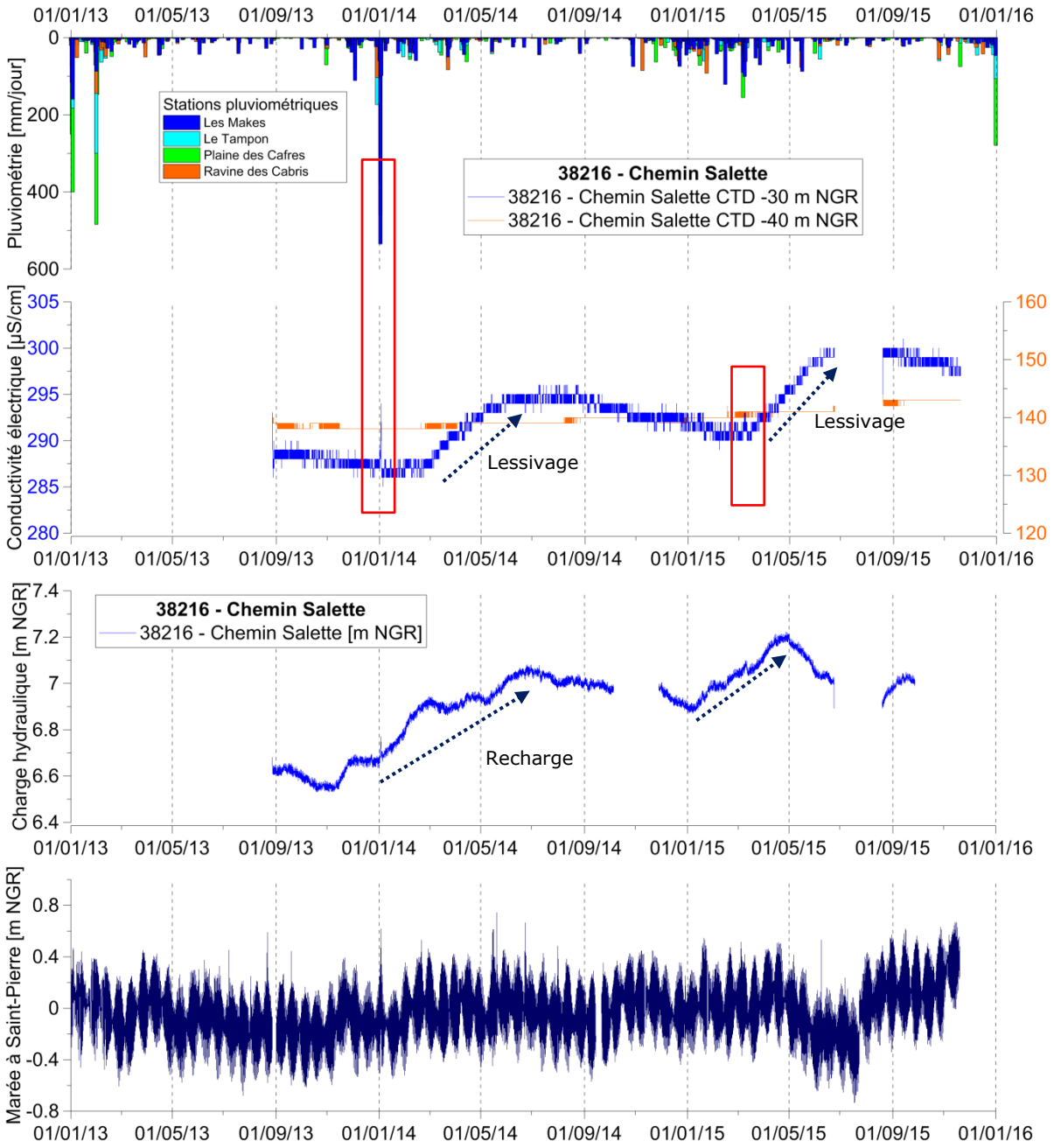


Figure 4.63 : Suivi en continu au piézomètre 38216 Chemin Salette

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage par le capteur profond révèle un niveau de salinité très bas à -40 m NGR, avec des conductivités électriques qui n'excèdent pas 150 µS/cm sur toute la période des mesures.

En revanche, le capteur superficiel placé à -30 m NGR met en évidence une tendance à la hausse de la minéralisation sur toute la période des mesures et affiche des conductivités électriques plus élevées.

A l'instar de la situation du forage Dupuis 3 décrite précédemment, cette observation suggère l'emprise d'un lessivage des terrains superficiels qui se traduit à ce niveau par une infiltration d'eau plus minéralisée.

Ce phénomène d'apport permanent en éléments dissous permet le maintien d'un niveau de minéralisation plus élevé dans la partie superficielle de la nappe et supporte l'idée d'une concentration progressive mise en évidence par le capteur superficiel.

Le lessivage important des horizons superficiels de l'aquifère génère un pic de la minéralisation observé par le capteur superficiel au passage du cyclone Béjisa en 2014, et ensuite, dans une moindre mesure, au passage de la dépression tropicale Haliba en 2015.

4.6.12 Piézomètre 38217 S2 Caserne Pierrefonds

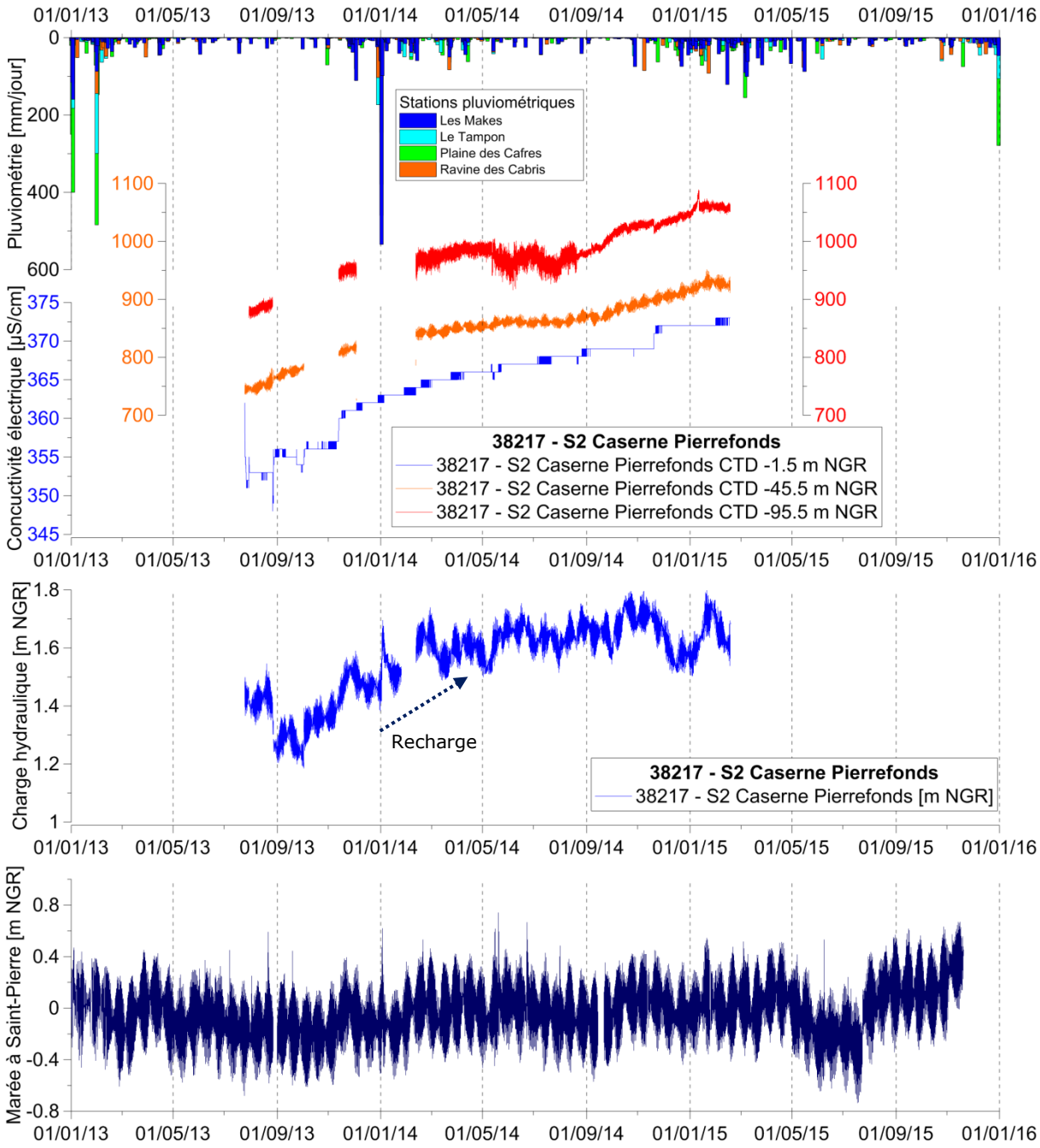


Figure 4.64 : Suivi en continu au piézomètre 38217 S2 Caserne Pierrefonds

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage indiquent :

- Une tendance à la hausse des salinités sur toute la période des mesures,
- Un impact de la marée sur les variations journalières de salinité, en particulier en-dessous de -45 m NGR. Le capteur intermédiaire placé à -45.5 m NGR restitue assez fidèlement les variations mensuelles associées aux phases lunaires,
- Une absence d'influence des épisodes de recharge sur l'évolution de la salinité.

Les logs de conductivités réalisés sur cet ouvrage confirment la tendance à la hausse des salinités révélée par le suivi en continu, avec une salinisation progressive qui fait passer les conductivités électriques de la colonne d'eau de 500 µS/cm en 2012 à 1 000 µS/cm en 2015 (Figure 4.65).

Il est préconisé de maintenir l'analyse par diagraphies de conductivité électrique sur cet ouvrage afin de contrôler l'évolution temporelle de la salinité dans la nappe côtière au niveau de ce point d'observation.

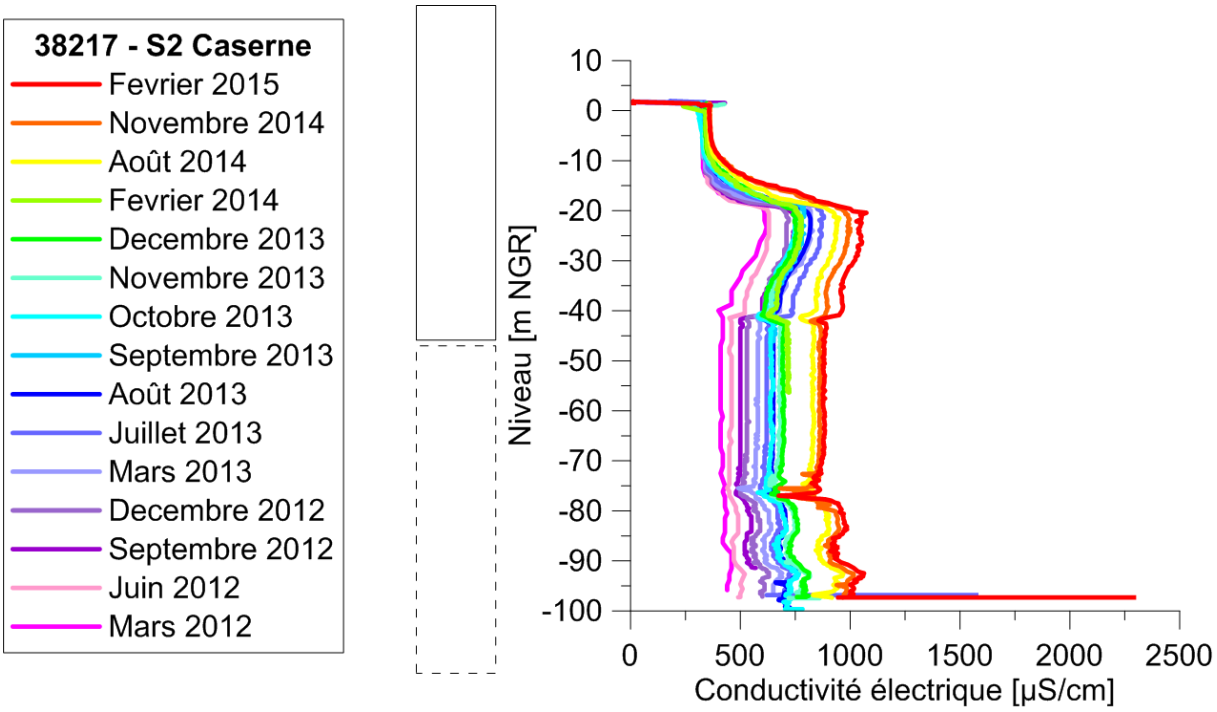


Figure 4.65 : Logs de conductivité électrique sur 38217 S2 Caserne Pierrefonds

4.6.13 Piézomètre 45040 P1 La Cafrine

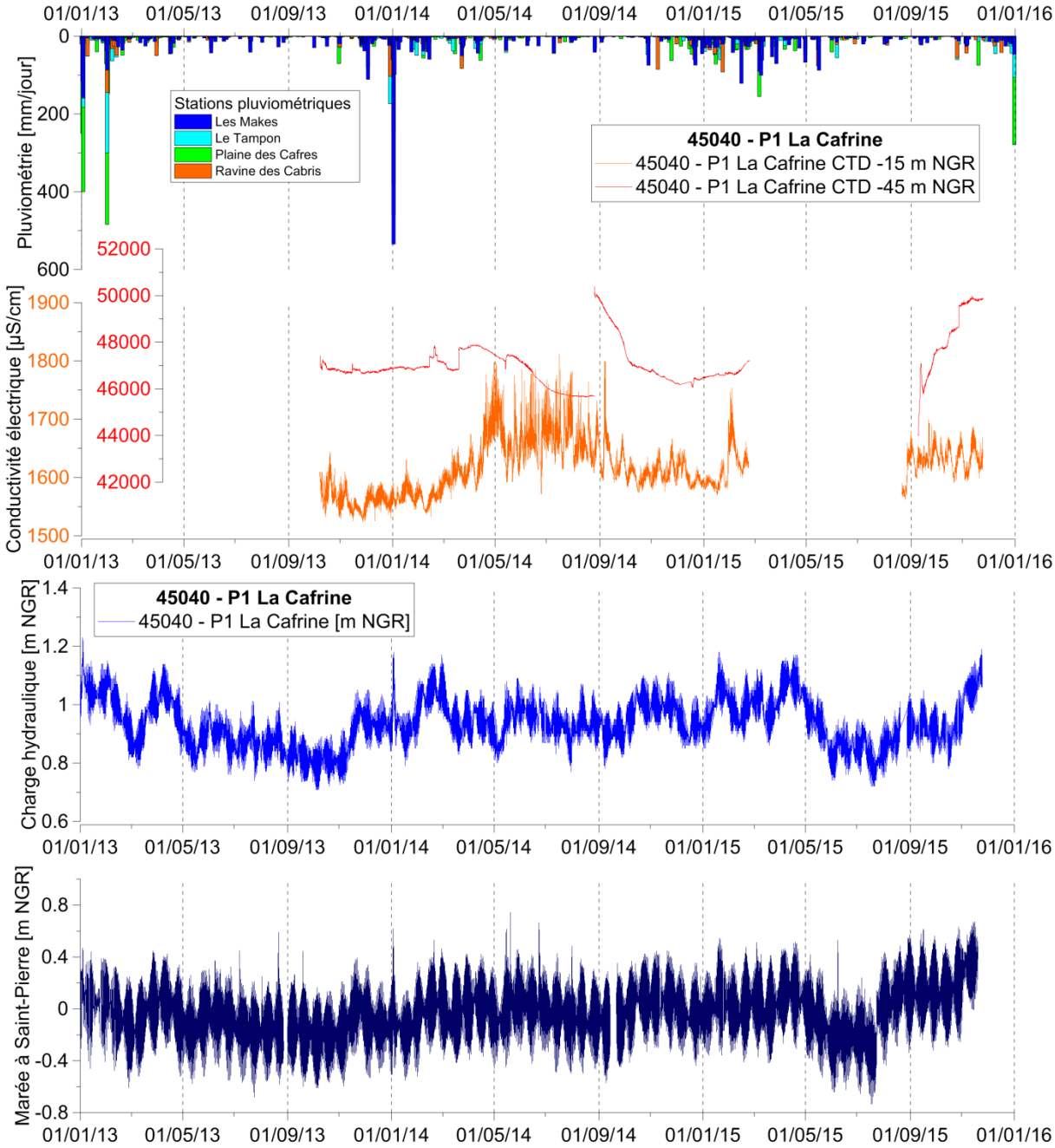


Figure 4.66 : Suivi en continu au piézomètre 45040 P1 La Cafrine

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage confirment un impact très marqué du milieu marin sur la salinité dans ce forage. Les variations diurnes de la marée et l'effet des phases lunaires restent visibles dans le signal du capteur superficiel, tandis que le capteur profond affiche des niveaux de salinité très proches de ceux de l'Océan (entre 46 000 et 50 000 µS/cm). Les pics de conductivité électrique enregistrés entre les mois de mai et septembre 2014 par les différents capteurs peuvent être associés à des pics de houle australe. L'impact de cette houle est plus marqué sur la partie superficielle de la nappe constituée par l'eau saumâtre.

Les logs de conductivité électriques réalisés sur cet ouvrage révèlent une stratification de la nappe côtière avec une interface saline caractérisée par des conductivités électriques qui évoluent par paliers successifs, passant de 1 000 µS/cm vers -10 m NGR à 40 000 µS/cm à -50 m NGR (Figure 4.67). Cette allure particulière semble contrôlée par la géologie qui indique une salinisation préférentielle dans les niveaux scoriacés.

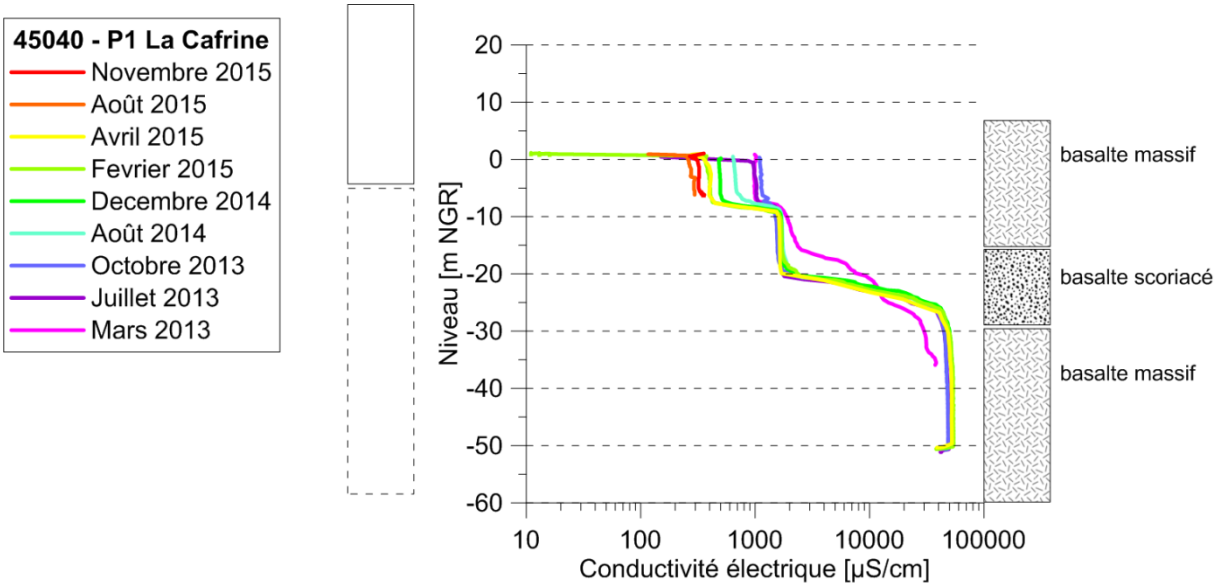


Figure 4.67 : Logs de conductivité électrique sur 45040 P1 La Cafrine

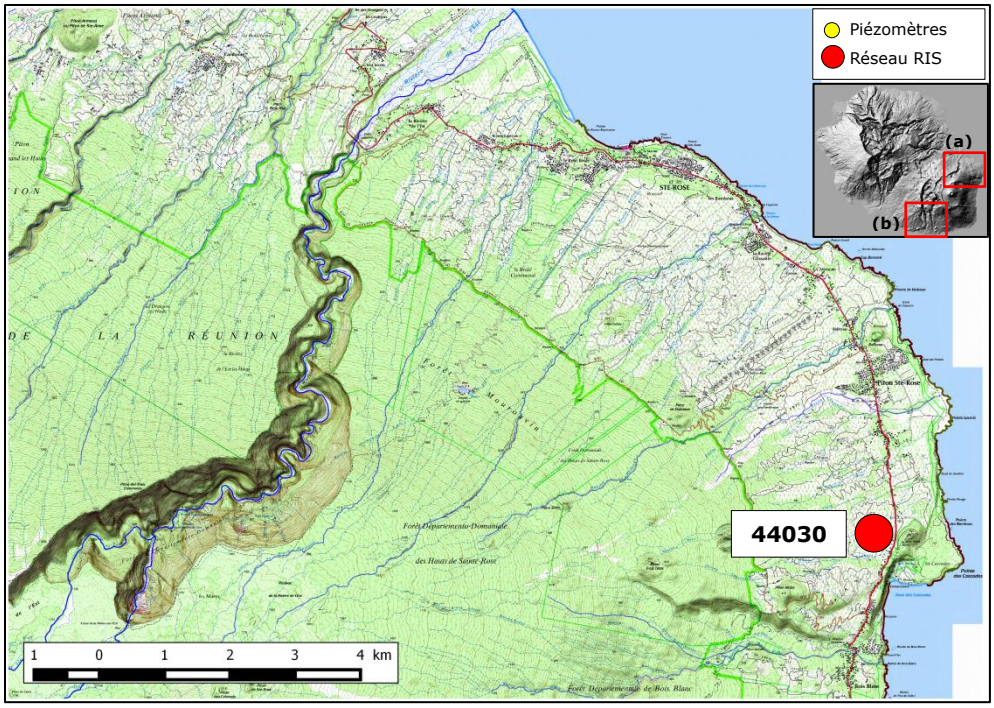
4.6.14 Synthèse des résultats dans le secteur de Saint-Pierre

Les chroniques de conductivité électriques enregistrées dans le secteur de Pierrefonds permettent de distinguer 3 comportements hydrogéologiques :

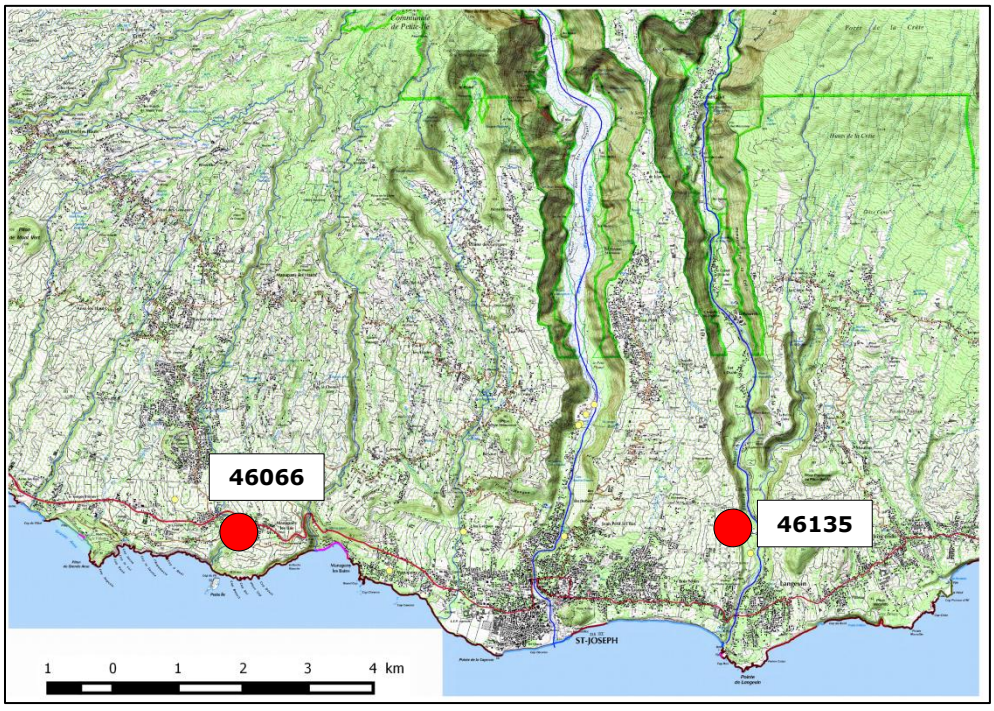
- Les forages situés en rive gauche de La Rivière Saint-Etienne (comme par exemple PIB7 Pierrefonds Village et F12 Aérodrome) et dans le lit de la Ravine Blanche semblent recevoir une recharge favorisée par la présence d'un contexte d'alimentation préférentielle. Cette situation permet le maintien de niveau de salinité très faible et une protection vis-à-vis de l'impact des forçages océaniques. Ces ouvrages affichent des niveaux de conductivités électriques faibles (entre 100 et 300 µS/cm) et stables sur toute la période des mesures.
- Les forages situés dans la zone sud de Pierrefonds, à moins de 1 000 m de la côte (comme par exemple P12 Aérogare et P11 Syndicat) affichent une évolution de la salinité entièrement contrôlée par les forçages océaniques, l'impact du milieu marin augmentant avec la profondeur.
- Les forages situés dans la zone centrale de Pierrefonds et relativement éloignés de la côte affichent des salinités faibles mais caractérisée par une tendance à la hausse. Malgré l'impact négligeable des forçages marégraphiques, la ressource en eau souterraine interceptée par ces forages parait néanmoins vulnérable vis-à-vis des activités anthropiques à l'origine d'un apport en élément dissous dans la nappe. Cet apport semble se faire de manière chronique par lessivage des terrains superficiels ou drainage par remontée piézométrique. Les situations les plus significatives sont observées sur les ouvrages F7, Dupuis 3 et Chemin Salette.

4.7 Secteur du Piton de La Fournaise

La géologie du secteur du Piton de La Fournaise est caractérisée par des formations basaltiques récentes et très perméables. Cette situation est susceptible de générer des milieux souvent plus vulnérables vis-à-vis des intrusions salines (Pryet et al. 2012). Cependant, les premiers résultats obtenus montrent que la présence d'une pluviométrie conséquente favorise le maintien d'une épaisseur d'eau douce importante capable de limiter l'avancée de l'interface saline dans ce secteur.



(a)



(b)

Figure 4.68 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur du Piton de La Fournaise

3 ouvrages sont instrumentés dans ce secteur :

- 46066 F1 Manapany Les Bains,
- 46135 Forage Kerveguen,
- 44030 Piton Sainte-Rose.

4.7.1 Piézomètre 46066 F1 Manapany-Les-Bains

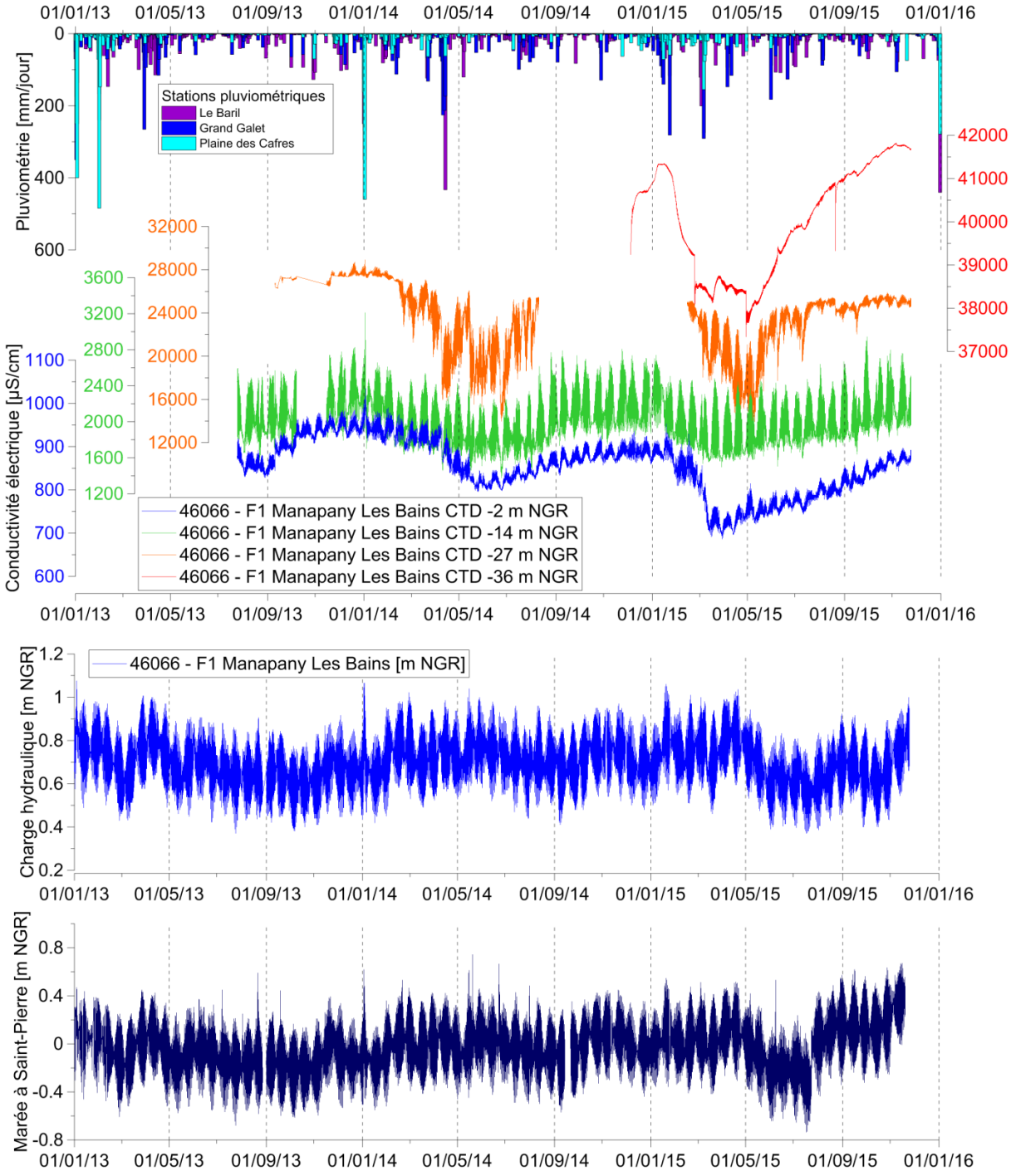


Figure 4.69 : Suivi en continu au piézomètre 46066 F1 Manapany-Les-Bains

Les signaux de conductivité électrique enregistrés sur cet ouvrage au niveau de tous les capteurs affichent un contrôle de la marée sur l'évolution de la conductivité électrique à fréquences journalière et mensuelle. L'ensemble des capteurs affichent une même tendance saisonnière caractérisée par une augmentation des salinités en saison sèche et une baisse de celles-ci en saison pluvieuse, à la faveur d'une recharge plus importante. Ainsi, les signaux enregistrés mettent en évidence i) une influence de la recharge sur la salinité à l'échelle annuelle et ii) un impact de la marée sur l'évolution de la salinité à l'échelle journalière.

Le signal de conductivité électrique enregistré à -27 m NGR montre des amplitudes plus importantes entre les mois de mars et septembre, ce qui correspond à la période où les houles d'alizés sont plus fréquentes sur la façade sud de l'île (Lézé 2012).

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage confirment une interface saline diffuse, mise en évidence par une étude antérieure (Bonnier 2012). Ce type d'interface est caractéristique i) des aquifères stratifiés et ii) des milieux à écoulement préférentiel dans lesquels les mélanges sont favorisés par des circulations d'eau plus rapides. Les conductivités électriques mesurées passent progressivement de 1 000 à 40 000 µS/cm (Figure 4.70).

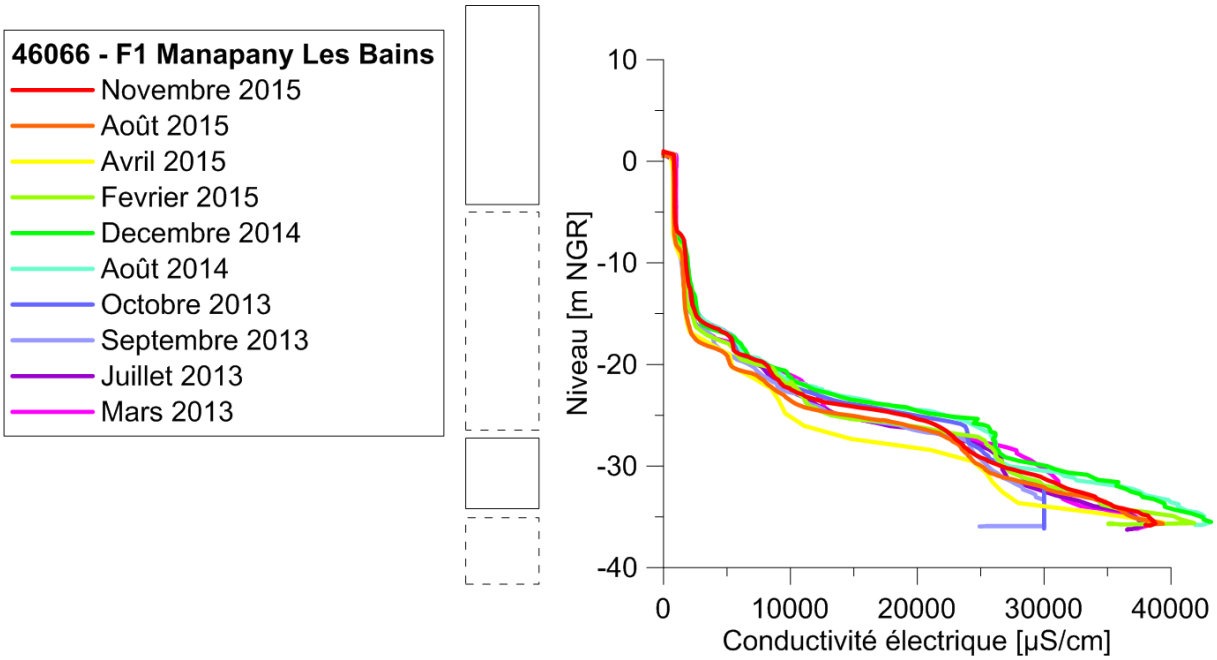


Figure 4.70 : Logs de conductivité électrique sur 46066 F1 Manapany-Les-Bains

4.7.2 Piézomètre 46135 Forage Kerveguen

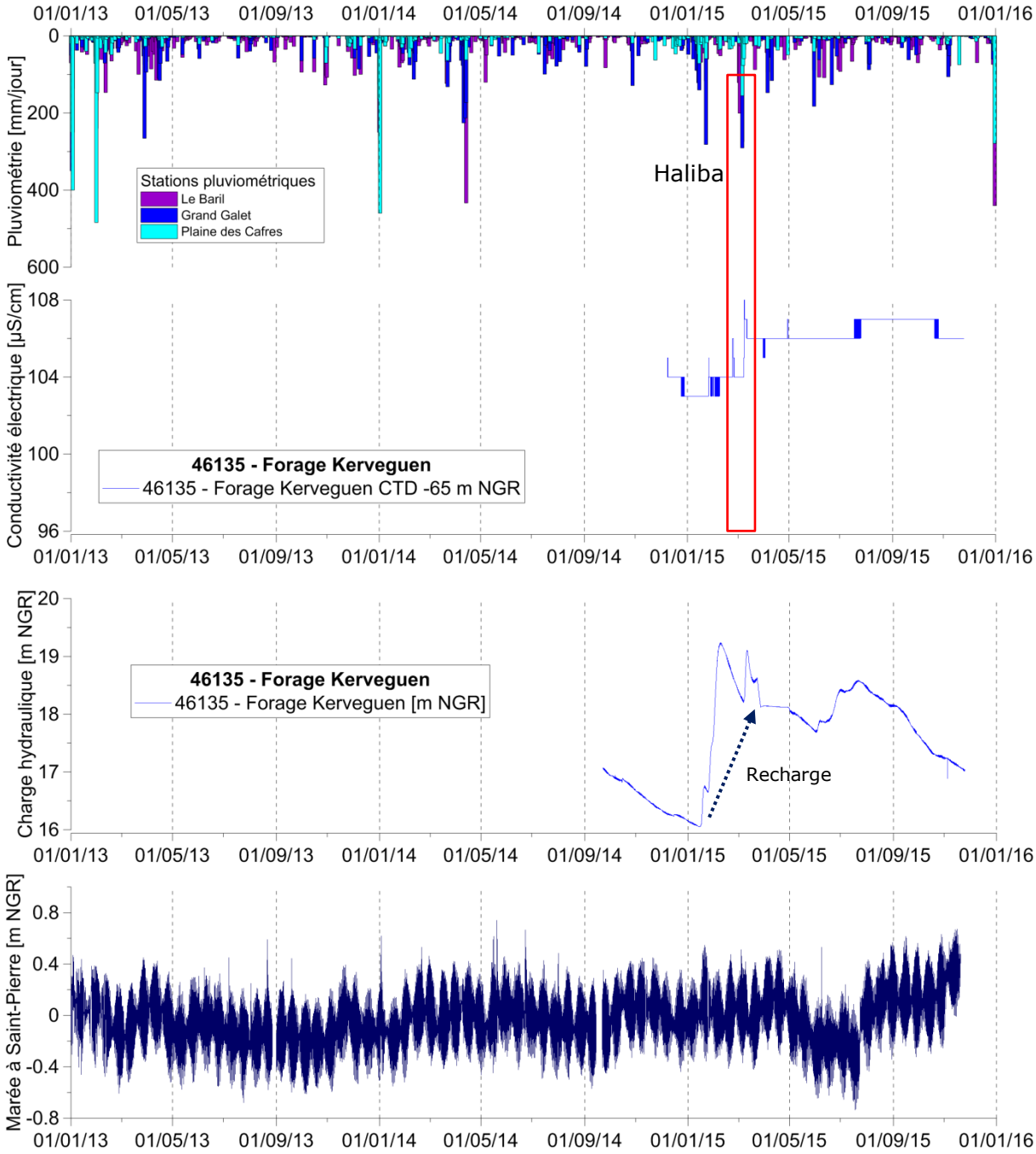


Figure 4.71 : Suivi en continu au piézomètre 46135 Forage Kerveguen

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage indique une relative stabilité sur 9 mois de suivi dans l'évolution de la salinité, avec des niveaux de conductivité électrique oscillant entre 104 et 108 µS/cm. La faible minéralisation observée ici suggère une alimentation régulière en provenance des pertes de La Rivière Langevin. Enfin, un pic de minéralisation, probablement lié à un lessivage des horizons superficiels peut être observé au passage de la dépression tropicale Haliba.

L'impact des forçages océaniques sur la salinité de ce forage semble négligeable.

4.7.3 Piézomètre 44030 Piton Sainte-Rose

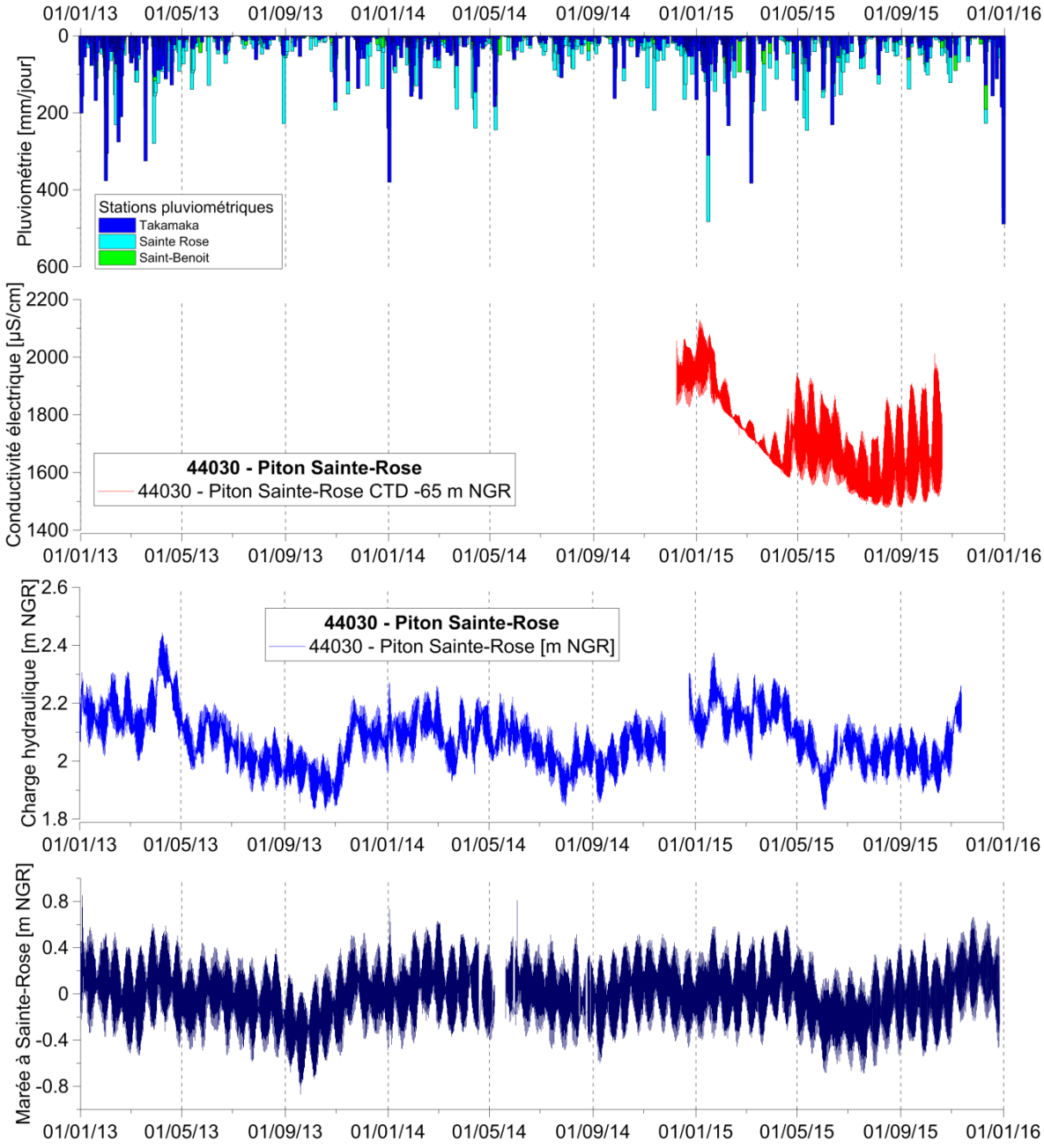


Figure 4.72 : Suivi en continu au piézomètre 44030 Piton Sainte-Rose

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage indique un impact très marqué des fluctuations océaniques à différentes fréquences sur l'évolution de la salinité. La recharge associée aux précipitations de la saison pluvieuse de 2015 semble initier une baisse des salinités qui se prolonge jusqu'en juillet 2015. Une chronique plus longue permettra de confirmer l'effet de la recharge saisonnière sur l'évolution des salinités sur cet ouvrage.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage révèlent :

- une interface saline diffuse,
- un approfondissement important de l'interface saline qui se situe ici vers -50 m NGR (contre -25 m NGR sur toute la côte ouest).

En-dessous de -50 m NGR, les conductivités électriques passent progressivement de 300 µS/cm à 3 000 µS/cm vers -65 m NGR (Figure 4.73).

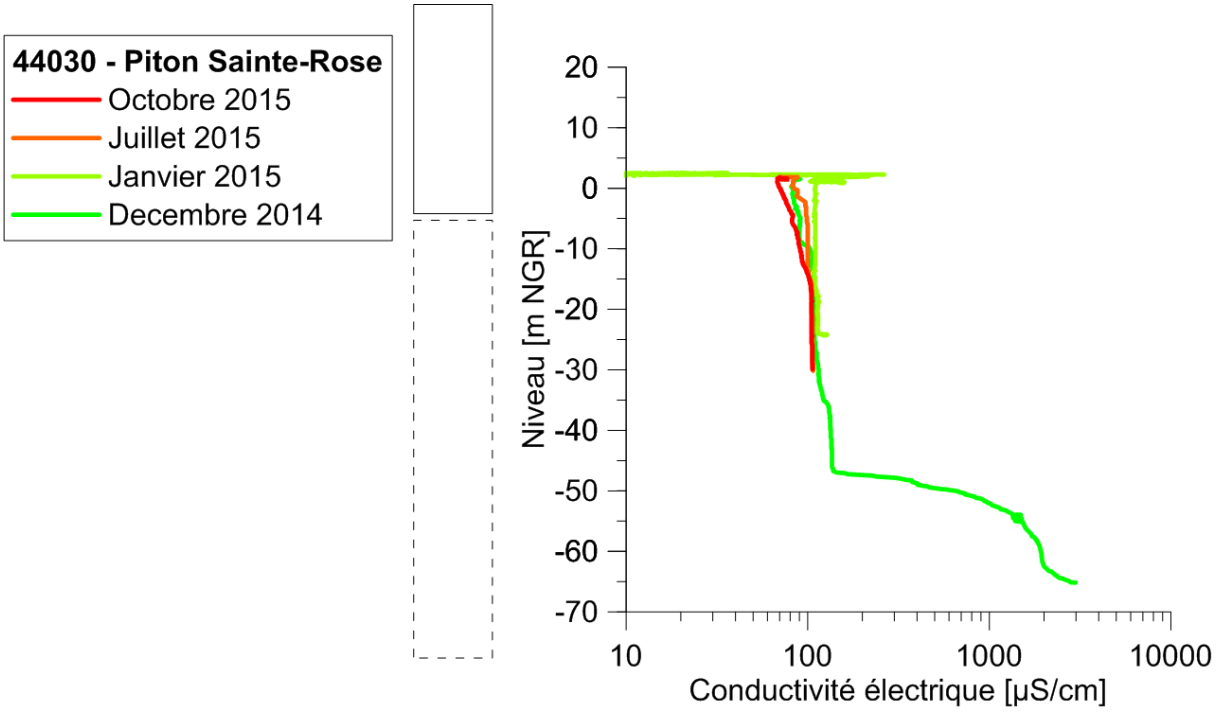


Figure 4.73 : Logs de conductivité électrique sur 44030 Piton Sainte-Rose

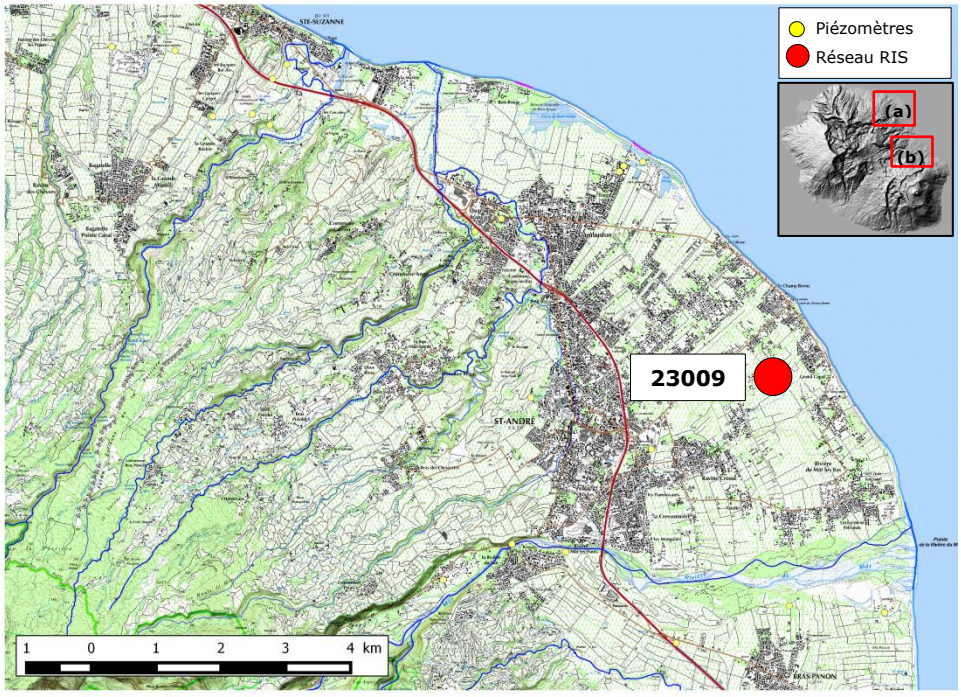
4.7.4 Synthèse des résultats dans le secteur du Piton de La Fournaise

Les chroniques enregistrées dans ce secteur montrent que :

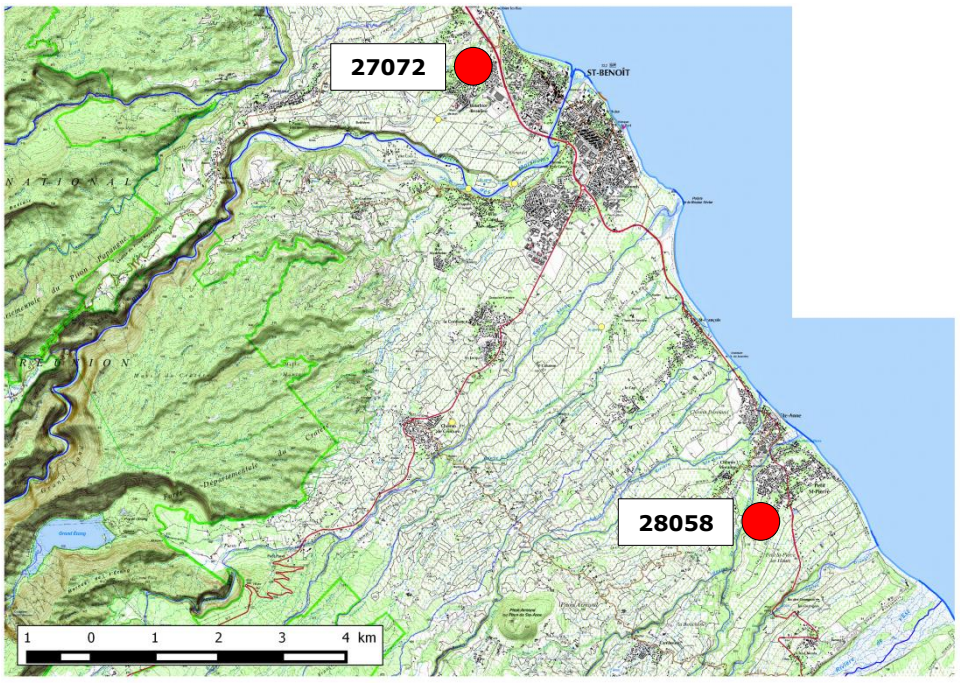
- le contexte géologique caractérisé par des coulées récentes très perméables explique une forte interaction entre les fluctuations océaniques et la salinité dans les forages de Manapany-Les-Bains et de Piton Sainte-Rose.
- le contexte climatique très arrosé limite l'impact du milieu marin, notamment sur le Forage Kerveguen. La pluviométrie abondante enregistrée dans ce secteur semble être la cause de l'absence de l'influence marine.
- la situation du Forage Kerveguen dans un contexte hydrogéologique bénéficiant d'une alimentation en provenance des pertes de La Rivière Langevin pourrait expliquer l'observation des niveaux de salinité les plus faibles du secteur du Piton de La Fournaise.

4.8 Secteur de l'Est

La géologie générale du secteur Est de La Réunion est caractérisée par des dépôts de cônes alluviaux détritiques recouvrant à certains endroits les formations basaltiques du Piton des Neiges ou du Piton de La Fournaise (pour Saint-Benoît). Par ailleurs, les premiers résultats montrent que la présence d'une pluviométrie relativement élevée en amont de Saint-Benoît et de Saint-André favorise le maintien d'une épaisseur d'eau douce importante capable de limiter l'avancée de l'interface saline dans ce secteur et de maintenir des niveaux de salinité très faibles tout au long de l'année.



(a)



(b)

Figure 4.74 : Localisation des piézomètres du réseau RIS du secteur Est

3 ouvrages sont instrumentés dans le secteur Est de l'île:

- 27072 P26 Le Bourbier,
- 28058 F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts,
- 23009 P14 Champ Borne.

4.8.1 Piézomètre 27072 P26 Le Bourbier

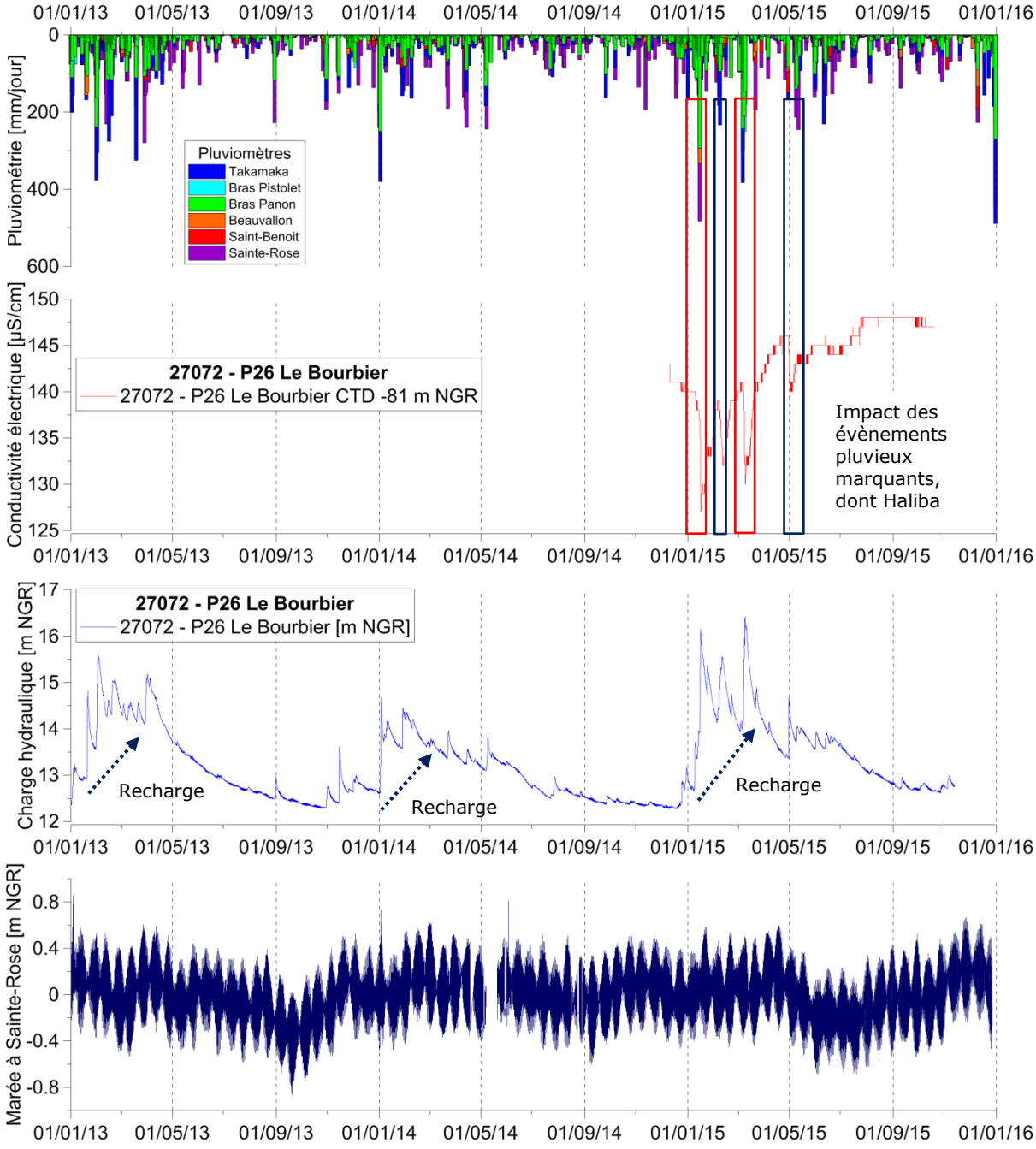


Figure 4.75 : Suivi en continu au piézomètre 27072 P26 Le Bourbier

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage confirme des niveaux de minéralisation très faibles avec des conductivités électriques qui n'excèdent pas 150 µS/cm sur toute la période des mesures, malgré une légère tendance à la hausse.

Les forçages océaniques ne semblent pas avoir d'impact sur la salinité du forage P26 Le Bourbier. En revanche, les évènements pluvieux générateurs de recharge induisent des baisses systématiques de la minéralisation.

4.8.2 Piézomètre 28058 F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts

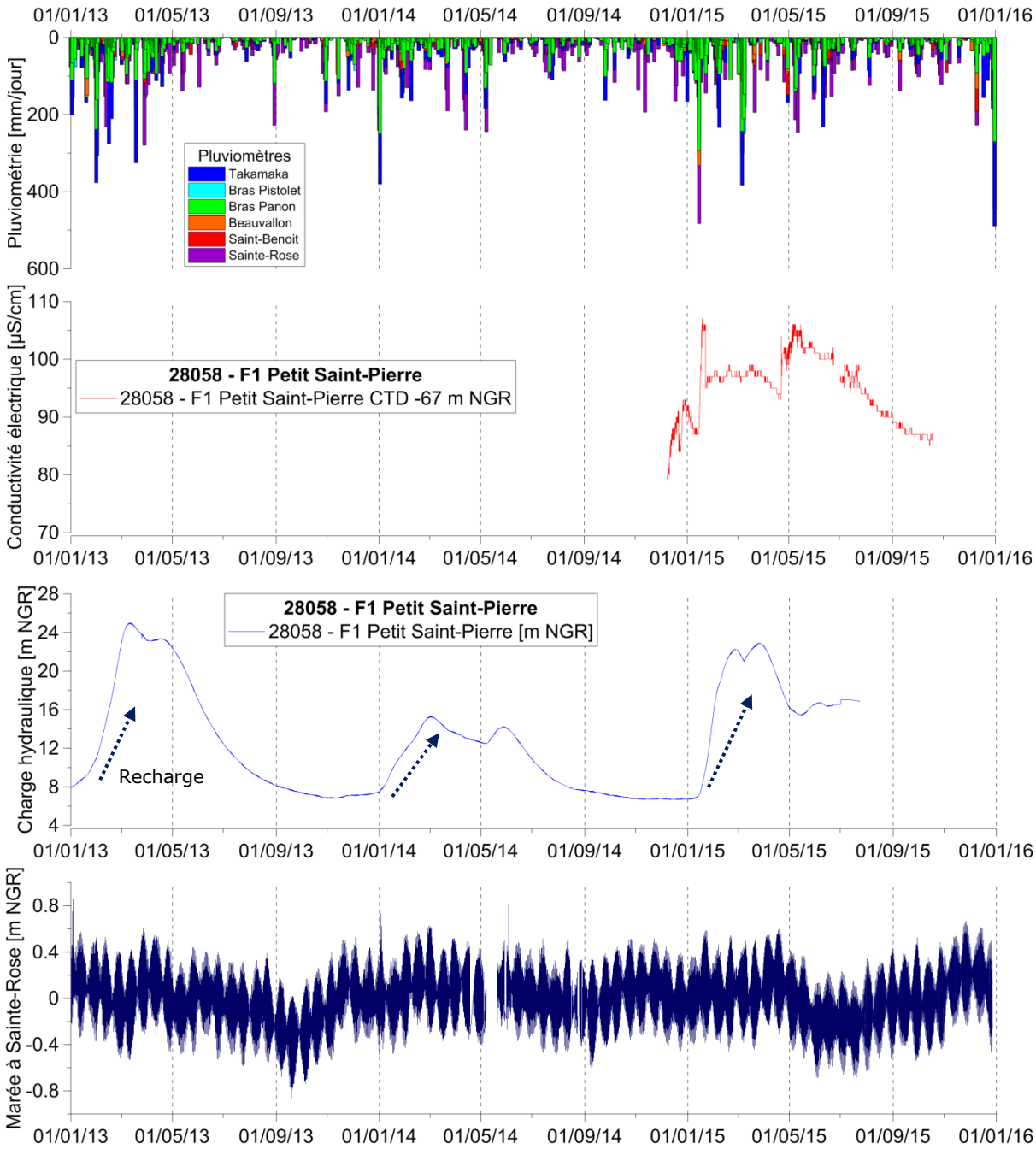


Figure 4.76 : Suivi en continu au piézomètre 28058 F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage confirme la très faible minéralisation de la nappe côtière interceptée au forage F1 Petit Saint-Pierre Les Hauts, avec des conductivités électriques qui n'excèdent pas 110 µS/cm sur toute la période des mesures.

Par ailleurs, les précipitations de la saison pluvieuse de 2015 semblent avoir initié une baisse de la minéralisation, avec des conductivités électriques qui passent de 105 µS/cm au mois de mai à 85 µS/cm en fin de mois d'octobre.

4.8.3 Piézomètre 23009 P14 Champ Borne

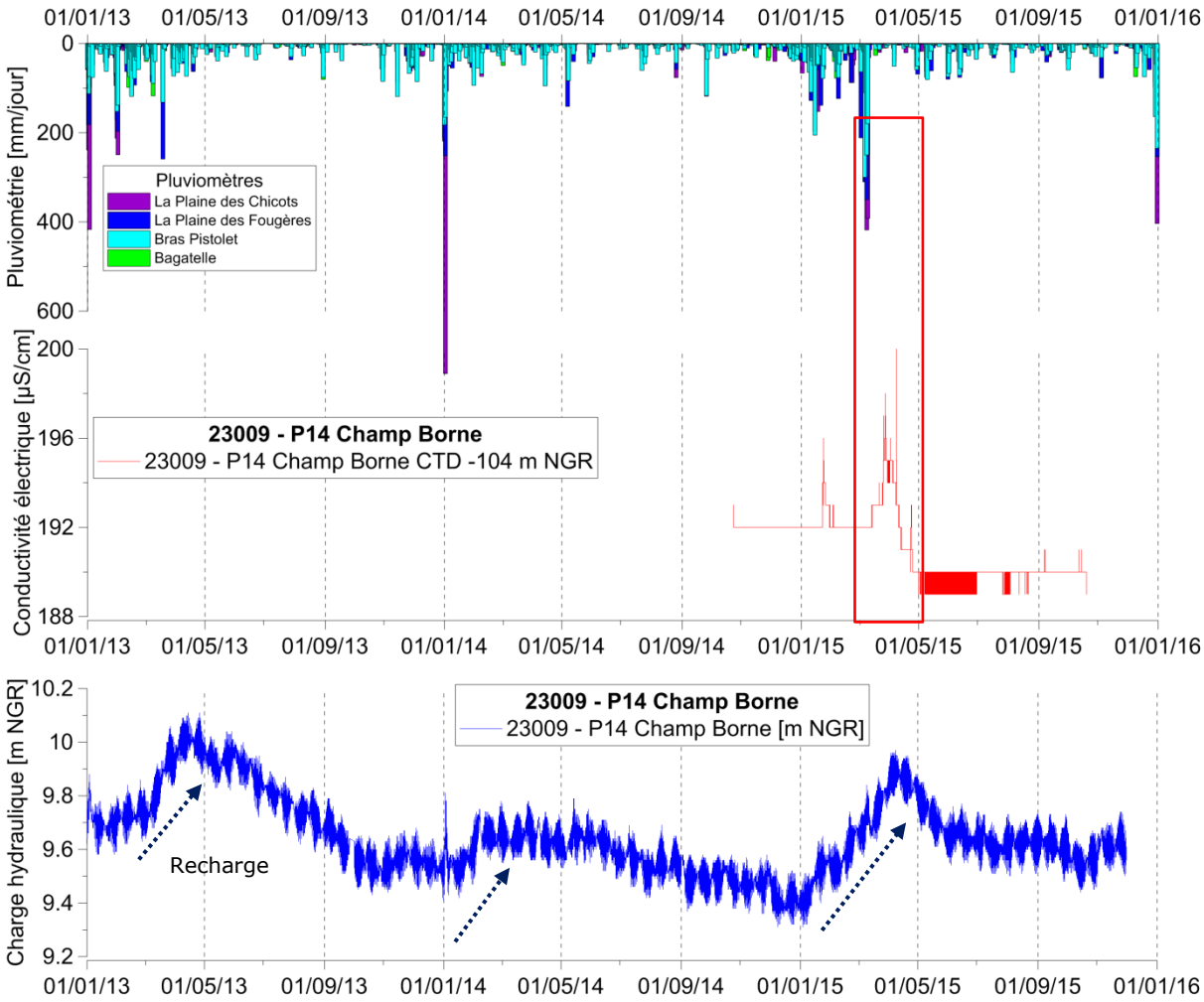


Figure 4.77 : Suivi en continu au piézomètre 23009 P14 Champ Borne

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage indique des niveaux de minéralisation relativement faibles, avec des conductivités électriques qui n'excèdent pas 200 µS/cm sur toute la période des mesures.

Par ailleurs, les précipitations intenses associées à la dépression tropicale Haliba semblent avoir enclenché un petit pic (de 192 à 200 µS/cm), suivi d'une légère baisse des conductivités électriques qui stagnent à 190 µS/cm depuis mai 2015.

4.8.4 Synthèse des résultats obtenus dans le secteur Est

Les chroniques de conductivité électrique enregistrées sur ce secteur révèlent un contexte hydrogéologique favorable à la présence d'une ressource en eau souterraine très peu minéralisée du fait d'une recharge en eau douce abondante et régulière : les nappes côtières recoupées par les forages du secteur de Saint-Benoît et Saint-André affichent des conductivités électriques très faibles qui ne dépassent pas 200 µS/cm sur toute la période des mesures.

4.9 Secteur Nord

La géologie générale du secteur Nord est caractérisée par les formations basaltiques du Piton des Neiges, recouvertes à certains endroits par des formations détritiques.

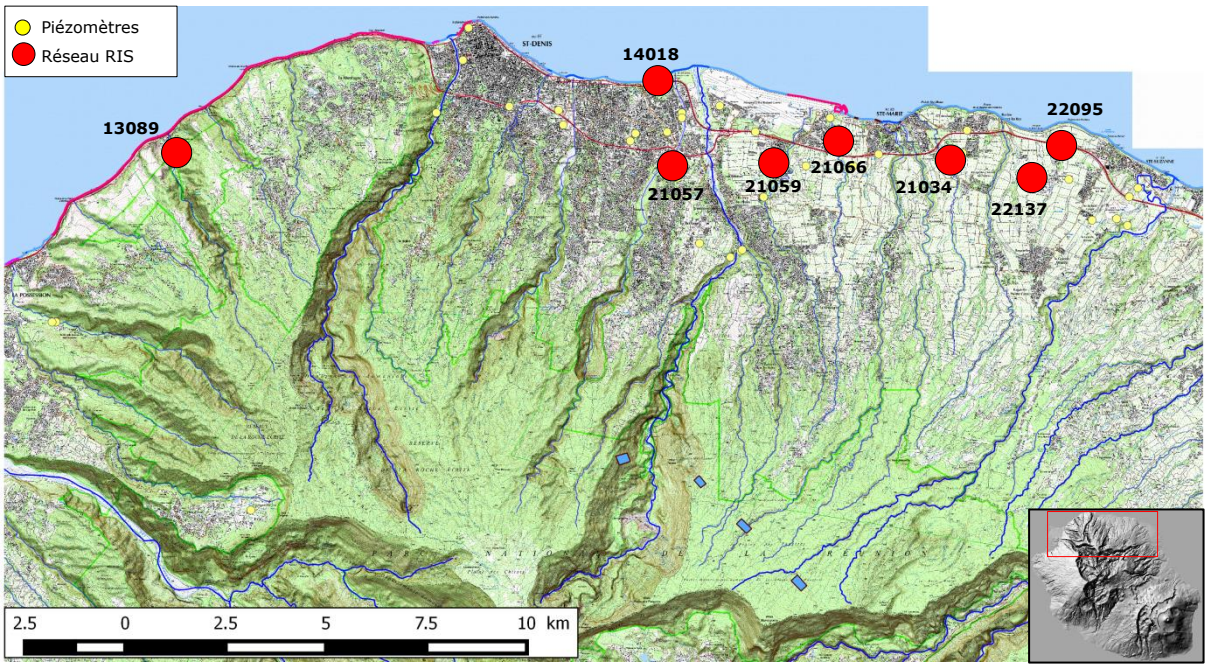


Figure 4.78 : Localisation des piézomètres du réseau RIS dans le secteur Nord

8 ouvrages sont instrumentés dans le secteur Nord de l'île :

- 22137 Chemin Grimm,
- 22095 P27 Belle Eau,
- 21066 P22 Les Cocos,
- 21034 S7 La Convenance,
- 21059 F3 Duparc,
- 21057 F5 Saint-Denis Est,
- 14018 Puits Tomi,
- 13089 Grande Chaloupe.

4.9.1 Piézomètre 22137 Chemin Grimm

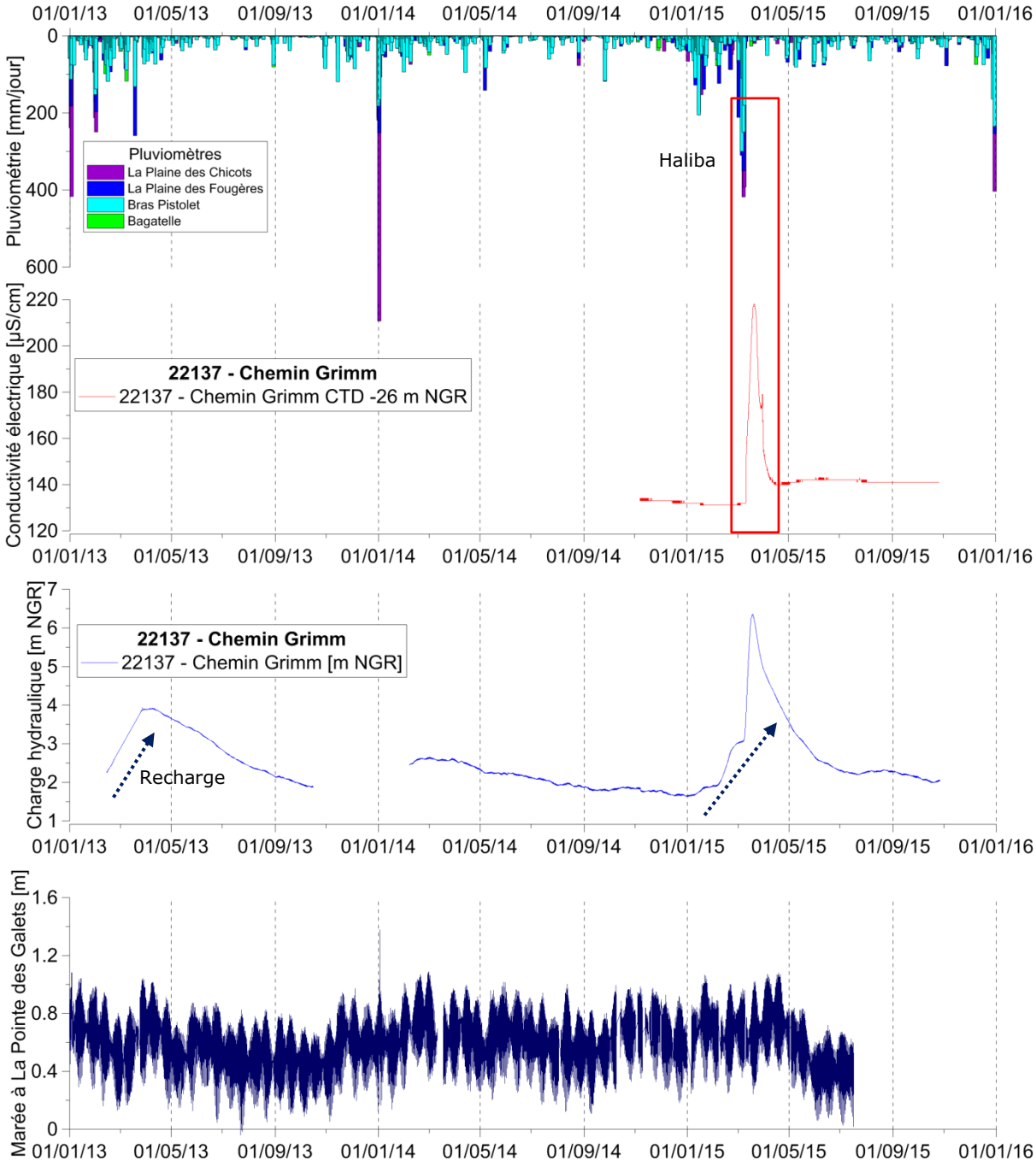


Figure 4.79 : Suivi en continu au piézomètre 22137 Chemin Grimm

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage révèle :

- Un impact négligeable des forçages océaniques sur l'évolution de la salinité,
- Un impact marqué des évènements pluvieux intenses. Les précipitations accompagnant la dépression tropicale Haliba qui génèrent un imposant pic de minéralisation associé i) à un lessivage des terrains superficiels ou ii) à une arrivée d'eau souterraine plus minéralisée. Cette infiltration d'eau plus minéralisée fait passer les conductivités électriques de 130 à 220 µS/cm.

4.9.2 Piézomètre 22095 P27 Belle Eau

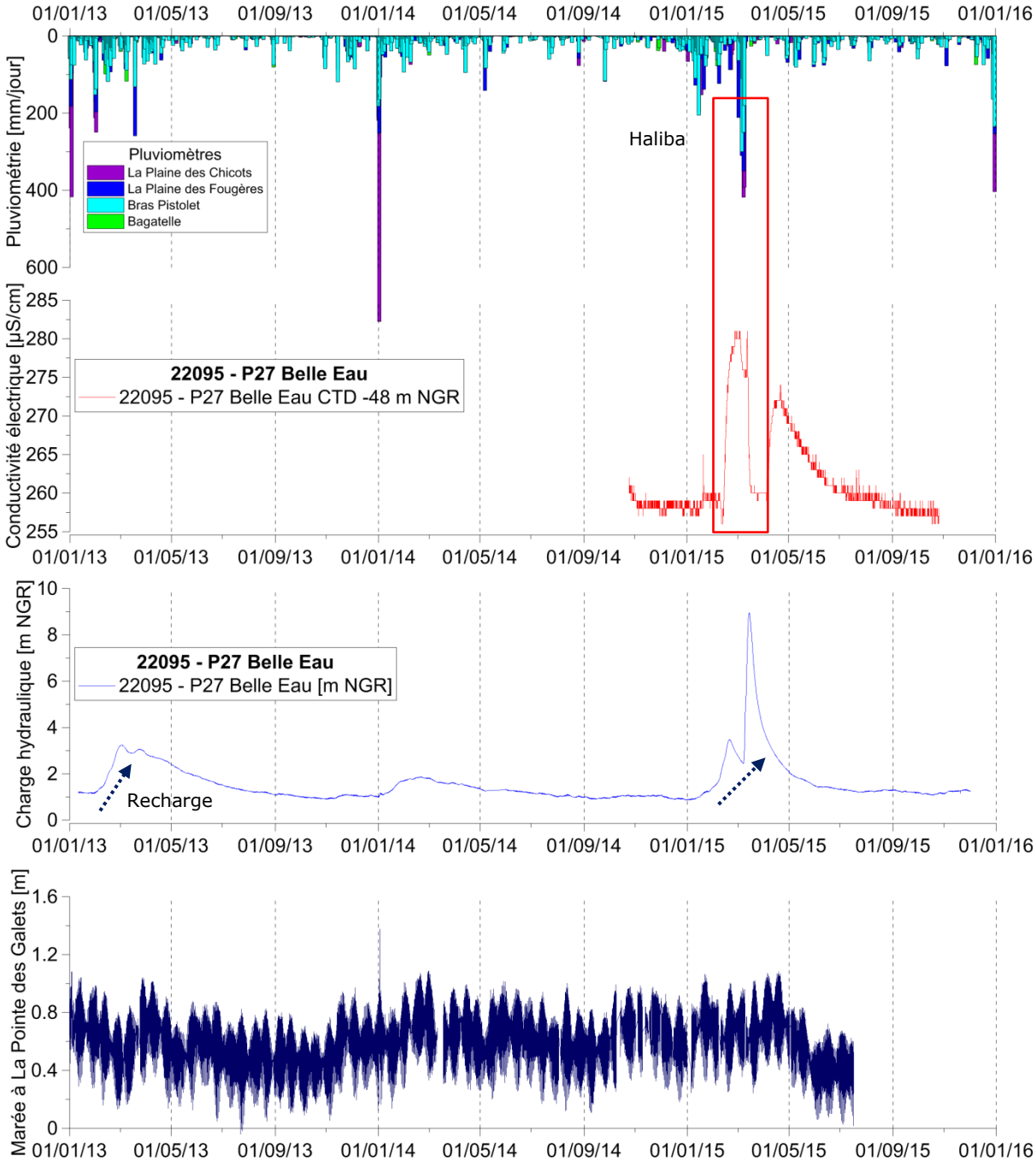


Figure 4.80 : Suivi en continu au piézomètre 22095 P27 Belle Eau

A l'instar du forage précédent, le signal de conductivité électrique réalisé sur cet ouvrage révèle des niveaux de minéralisation relativement faible, avec des valeurs oscillant entre 260 et 280 µS/cm. Les précipitations intenses accompagnant la dépression tropicale Haliba génèrent un léger pic de minéralisation suivi d'une légère baisse des conductivités électriques qui passent de 280 à 260 µS/cm. Après cet évènement marquant, les conductivités continuent à baisser pour stagner à 258 µS/cm à partir de septembre 2015.

4.9.3 Piézomètre 21066 P22 Les Cocos

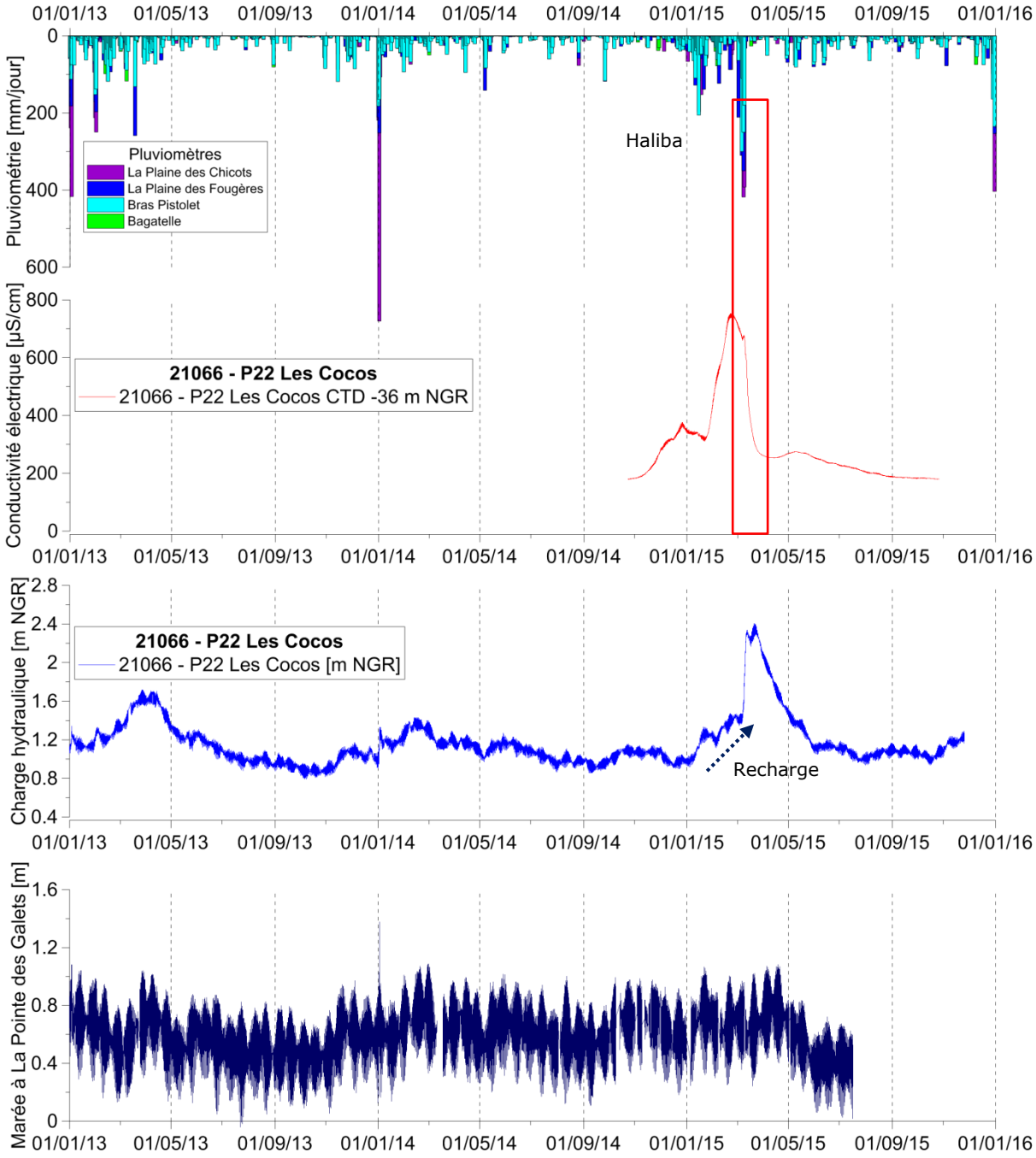


Figure 4.81 : Suivi en continu au piézomètre 21066 P22 Les Cocos

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage affiche une tendance similaire au signal décrit précédemment. Sur les deux chroniques, il est possible d'observer un pic de minéralisation qui est enclenché suite aux précipitations de janvier 2015. Ce pic de conductivité électrique peut être expliqué par i) un lessivage des terrains superficiels ou ii) une mobilisation d'eau souterraine plus minéralisée. La pluviométrie abondante accompagnant la dépression tropicale Haliba engendre une baisse importante des conductivités électriques qui passent de 700 à 200 µS/cm. Suite à cet évènement hydro-climatique majeur, les conductivités électriques continuent à baisser pour stagner autour de 200 µS/cm à partir de septembre 2015.

4.9.4 Piézomètre 21034 S7 La Convenance

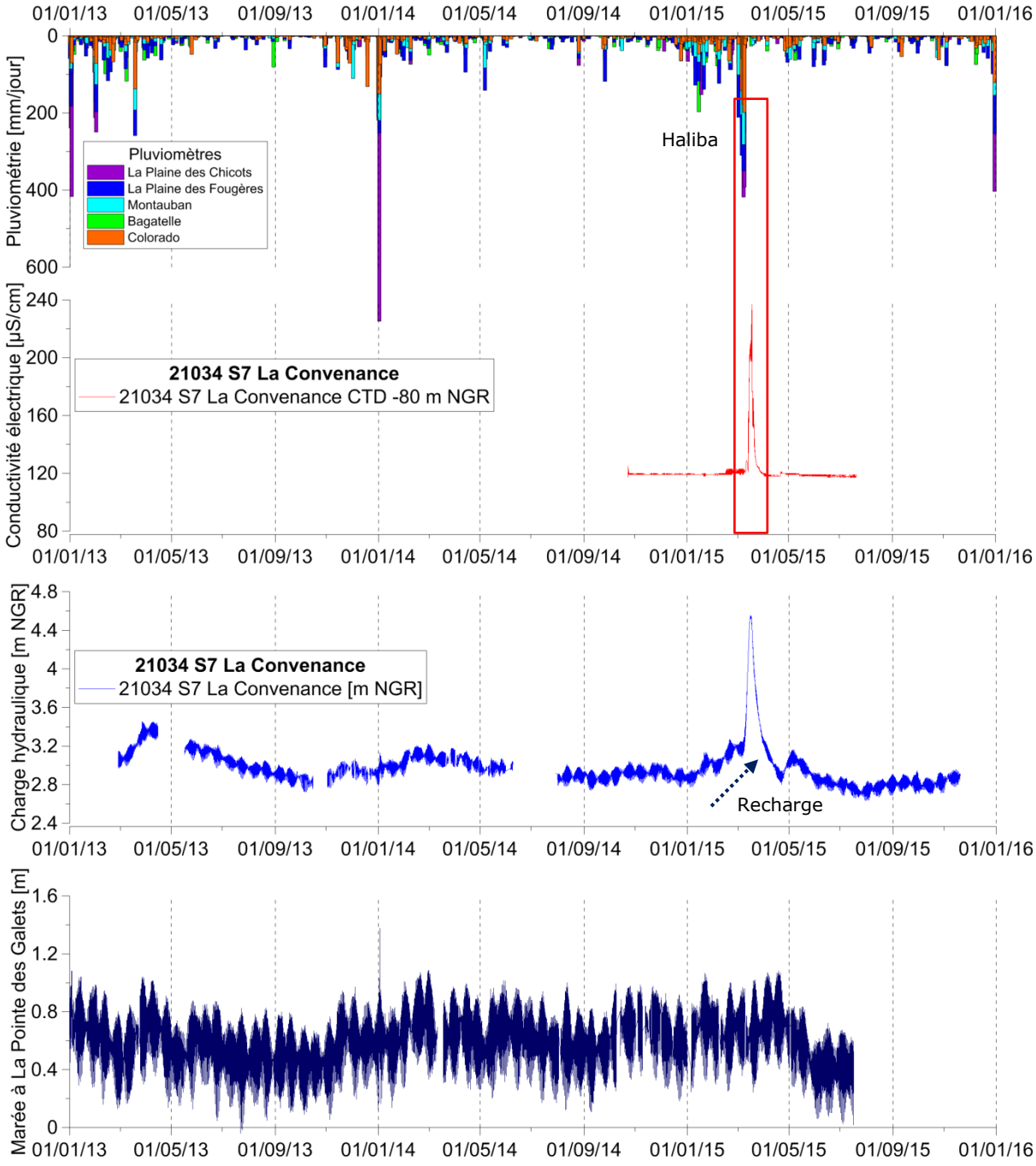


Figure 4.82 : Suivi en continu au piézomètre 21034 S7 La Convenance

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage affiche un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur le forage du Chemin Grimm :

- les précipitations accompagnant la dépression tropicale Haliba engendrent un pic de minéralisation associé à i) un lessivage des terrains superficiels ou ii) une mobilisation d'eau souterraine plus ancienne et donc plus minéralisée ; les conductivités électriques passent de 120 à 237 µS/cm.
- le retour à la normale se fait un mois après cette perturbation.
- l'impact de la marée sur la salinité parait négligeable au niveau de ce forage.

4.9.5 Piézomètre 21059 F3 Duparc

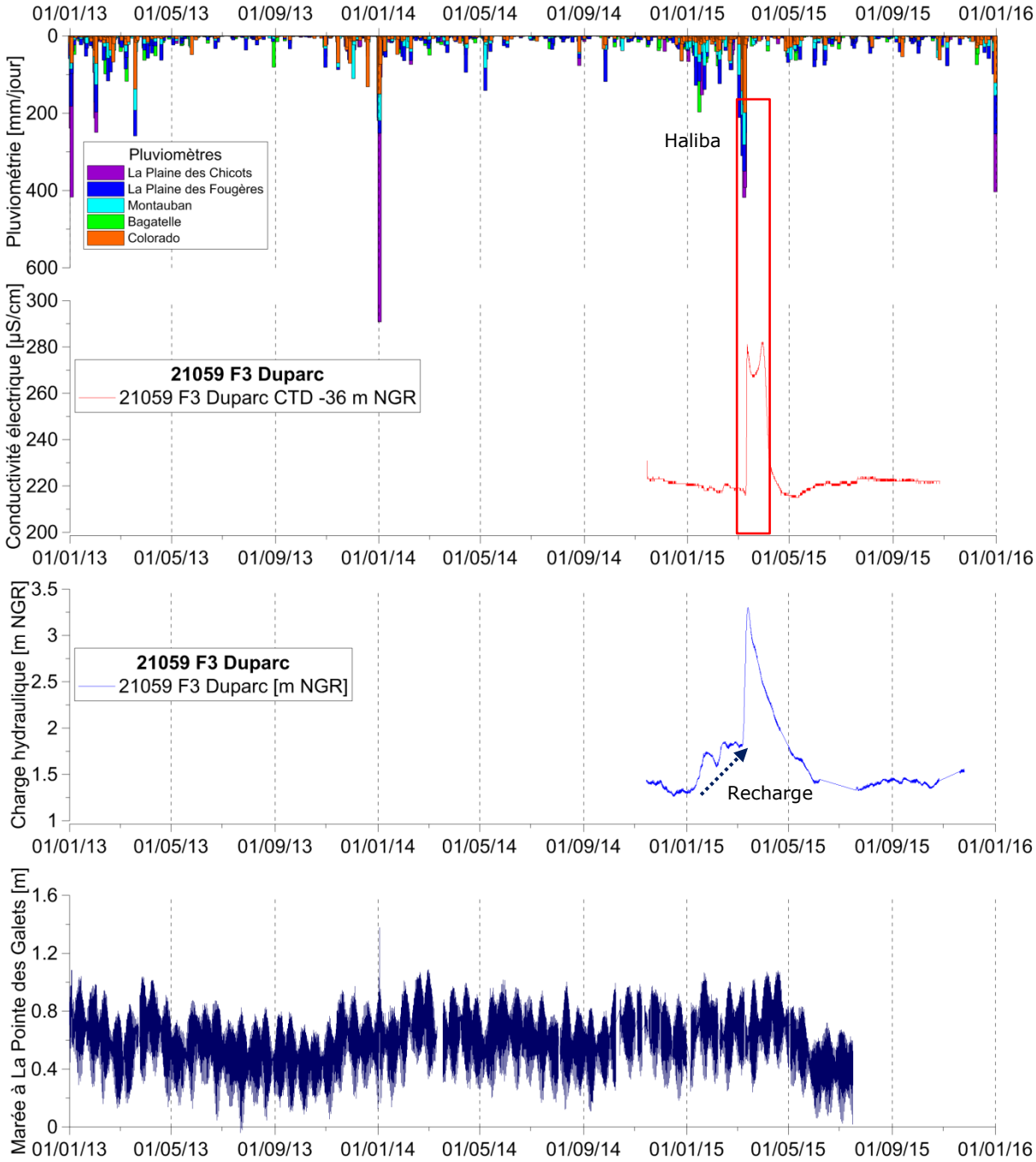


Figure 4.83 : Suivi en continu au piézomètre 21059 F3 Duparc

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage affiche un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur le forage du Chemin Grimm et de S7 La Convenance, malgré des valeurs de conductivité de base qui restent plus élevées sur F3 Duparc (220 µS/cm).

En effet, le signal de conductivité électrique met en évidence deux pics de minéralisation consécutifs aux précipitations intenses accompagnant la dépression tropicale Haliba. Cet évènement fait passer les conductivités électriques de 220 à 280 µS/cm. Le retour à la normale se fait seulement au bout d'un mois après cette perturbation.

A l'instar des autres signaux de conductivité électrique enregistrés dans le secteur Nord, l'impact des forçages océaniques semble négligeable au niveau de ce forage.

4.9.6 Piézomètre 21057 F5 Saint-Denis Est

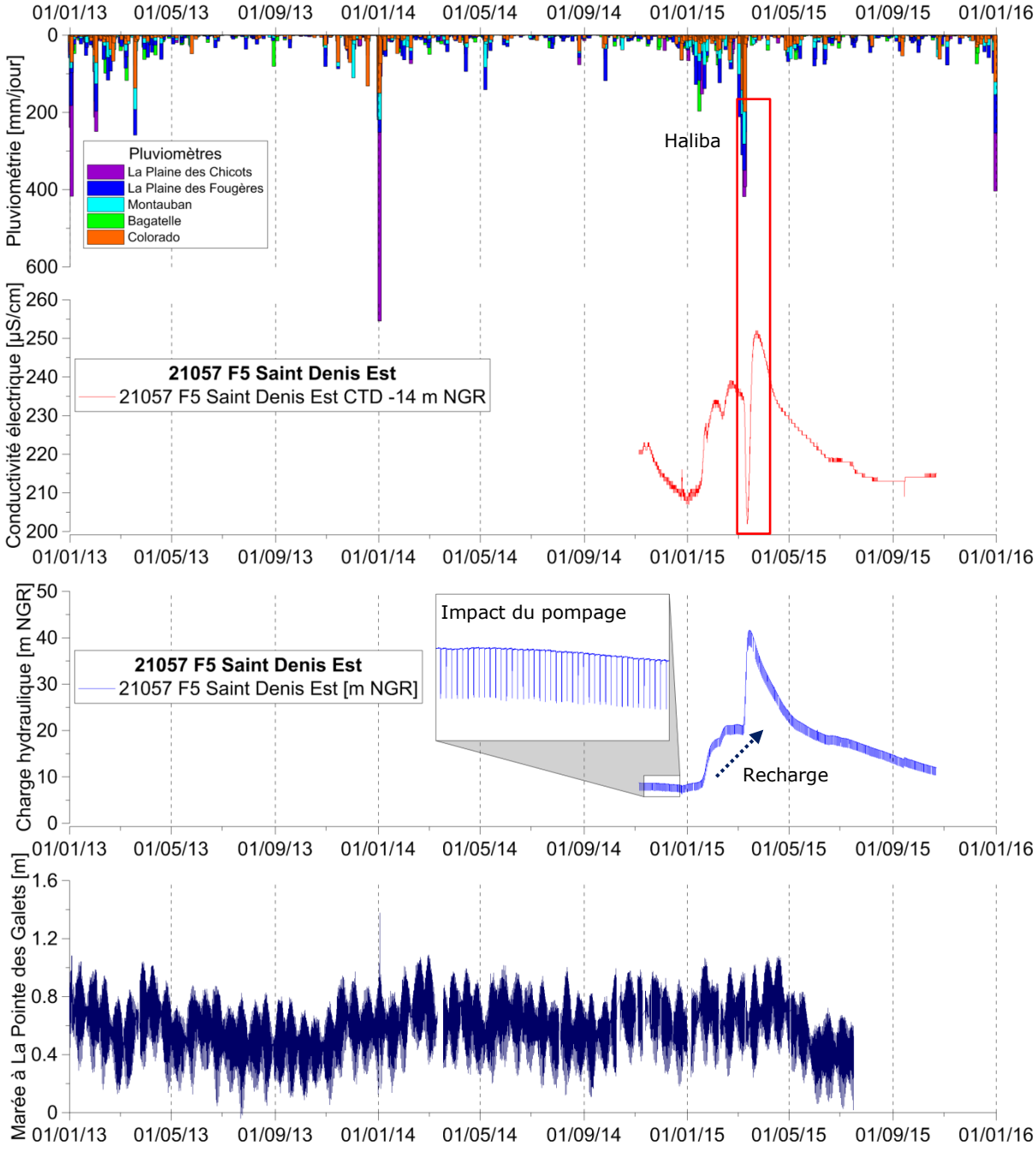


Figure 4.84 : Suivi en continu au piézomètre 21057 F5 Saint-Denis Est

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage restitue le comportement hydrogéologique observé précédemment à P22 Cocos et P27 Belle Eau.

Cependant, au passage des précipitations associées à la dépression tropicale Haliba, il est possible d'observer une baisse des conductivités électriques pouvant être associée aux infiltrations issues de la Ravine du Chaudron passant à seulement 100 m du forage F5 Saint-Denis Est.

Cette baisse des conductivités électriques est suivie d'un pic associé i) au lessivage des terrains superficiels ou ii) à une mobilisation d'eau souterraine plus ancienne et donc plus minéralisée. En d'autres termes, l'allure de ce signal suggère l'arrivée d'une eau douce météorique qui dilue les concentrations dans la nappe, suivie de la percolation d'une eau plus minéralisée par infiltration directe.

Le pic de minéralisation observé fait passer les conductivités électriques de 200 à 250 µS/cm. Cet évènement peut être associé à un écoulement occasionnel de La Ravine du Chaudron susceptible de s'infiltrer au niveau du forage. Le retour à la normale ne sera obtenu que 6 mois plus tard, avec des conductivités électriques qui stagnent à 215 µS/cm en septembre 2015.

Comparé aux signaux précédents, le signal obtenu sur le forage F5 Saint-Denis Est restitue un comportement hybride, combinant dilution des concentrations dans la nappe et minéralisation par lessivage des terrains superficiels ou mobilisation d'eau souterraine plus ancienne, suite à un évènement pluvieux intense.

Enfin, à l'instar des signaux précédents, les fluctuations marégraphiques n'ont pas d'impact significatif sur l'évolution de la salinité au niveau de ce forage.

L'impact des fluctuations océaniques sur les signaux hydrogéologiques enregistrés dans les forages du secteur Nord est fortement atténué grâce à la recharge importante qui permet le maintien d'une épaisseur d'eau douce capable de limiter le transfert de masse en provenance de la mer. A titre de comparaison, les piézomètres situés dans les secteurs Ouest et Sud sont davantage assujettis à l'effet de la marée en étant parfois plus éloignés par rapport à la côte. Cette situation s'explique par une lame d'eau douce plus fine, à l'origine d'une interface saline peu profonde.

Aunay et al. (2010 - BRGMRP-57955-FR) ont montré que la pluviométrie était le facteur principal à l'origine des variations de charges observées sur ce secteur. Une approche hydrogéochimique a mis en évidence l'existence de différents faciès d'eau, dont un faciès d'eau plus évolué au sein de la Galerie Salazie Amont et un faciès moins évolué localisé notamment dans les aquifères littoraux.

4.9.7 Piézomètre 14018 Puits Tomi

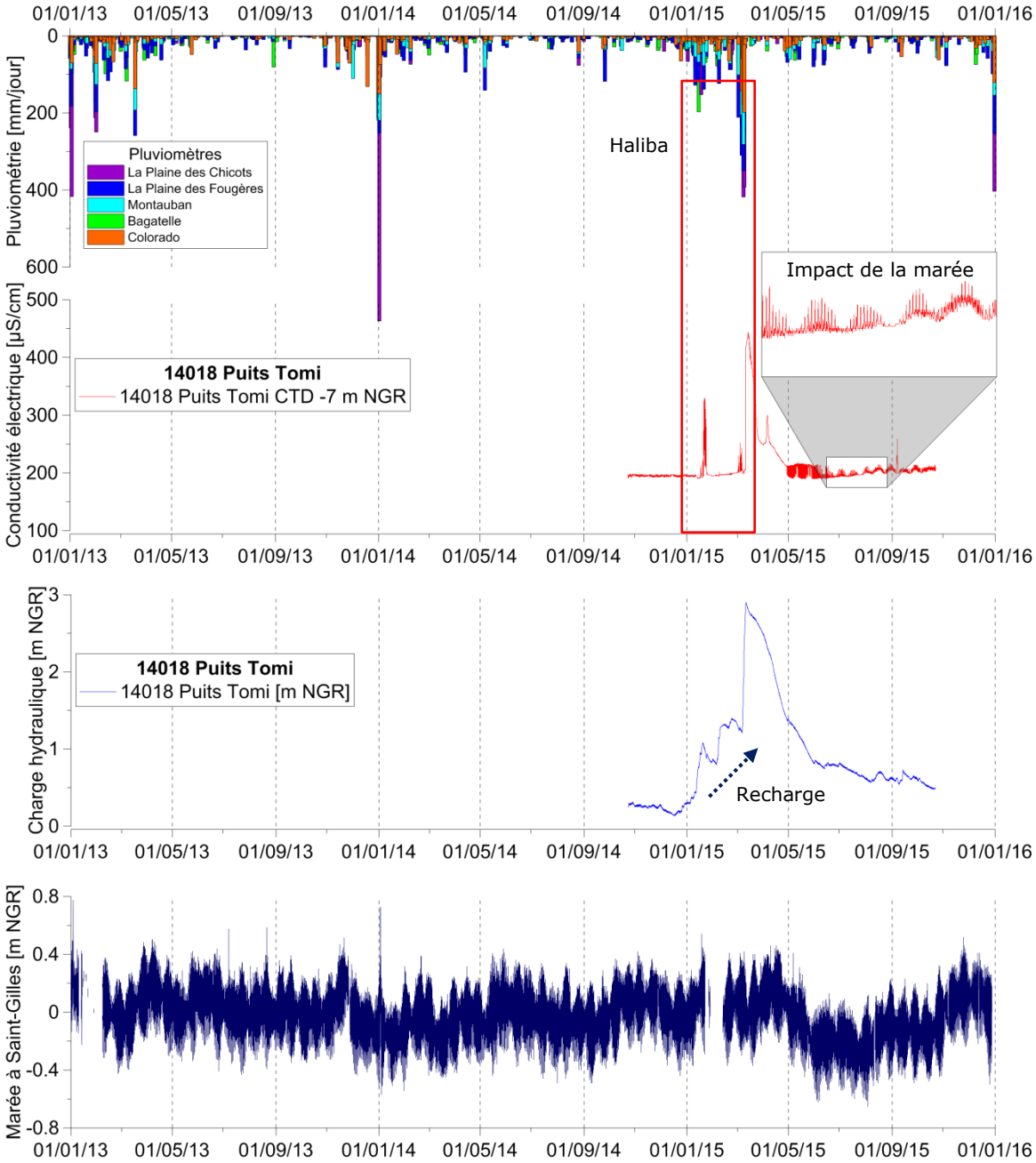


Figure 4.85 : Suivi en continu au piézomètre 14018 Puits Tomi

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage reproduit le comportement hydrogéologique décrit plus haut (Chemin Grimm, F3 Duparc, S7 La Convenance) et caractérisé par l'apparition d'un ou deux pics de minéralisation accompagnant les évènements pluvieux les plus intenses. Ces apports ponctuels en éléments dissous peuvent être associés à des processus de lessivage des terrains superficiels. Cette salinisation transitoire semble se résorber au bout d'un mois après l'évènement pluvieux.

Contrairement aux signaux précédents, la chronique enregistrée sur le Puits Tomi révèle un impact des fluctuations marégraphiques sur l'évolution de la salinité. Ce résultat s'explique par la proximité du Puits Tomi par rapport à la côte (100 m).

4.9.8 Piézomètre 13089 La Grande Chaloupe

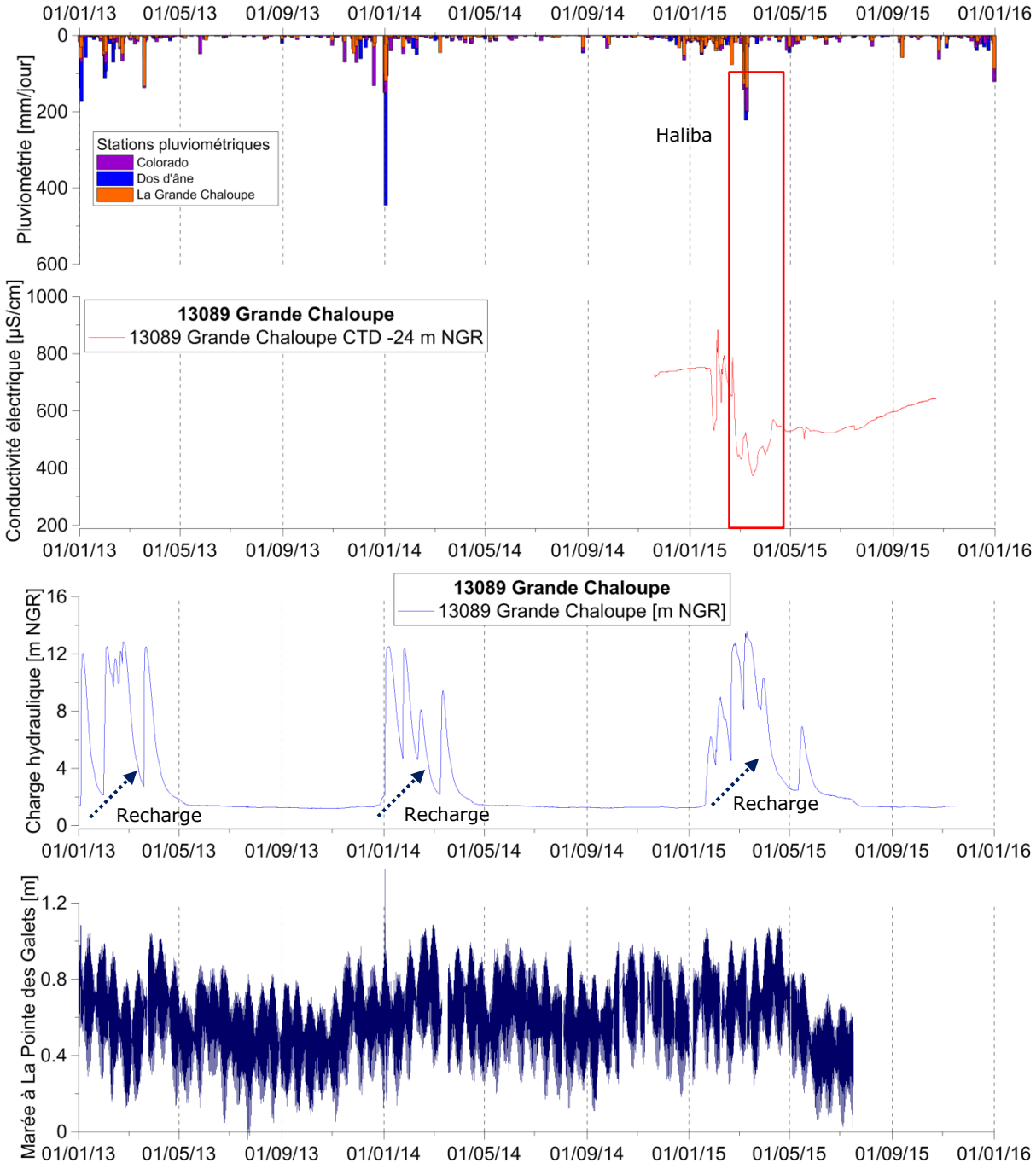


Figure 4.86 : Suivi en continu au piézomètre 13089 La Grande Chaloupe

Le signal de conductivité électrique enregistré sur cet ouvrage indique un impact des évènements pluvieux localisés à La Grande Chaloupe sur l'évolution de la salinité. Cet impact se manifeste par une succession de pics et de baisses de salinité consécutifs à chaque évènement. Les précipitations intenses associées à la dépression tropicale Haliba vont induire une diminution importante de la salinité, faisant passer les conductivités électriques de 800 à 400 µS/cm.

Les logs de conductivité électrique réalisés sur cet ouvrage révèlent une colonne d'eau de salinité relativement homogène sur toute sa hauteur.

L'analyse par des logs de conductivité électrique confirme que les variations temporelles de salinité sont homogènes sur toute la colonne d'eau : les niveaux de conductivités électriques peuvent fluctuer dans le temps entre 400 et 800 µS/cm en fonction des saisons et du contexte hydrométéorologique (Figure 4.87).

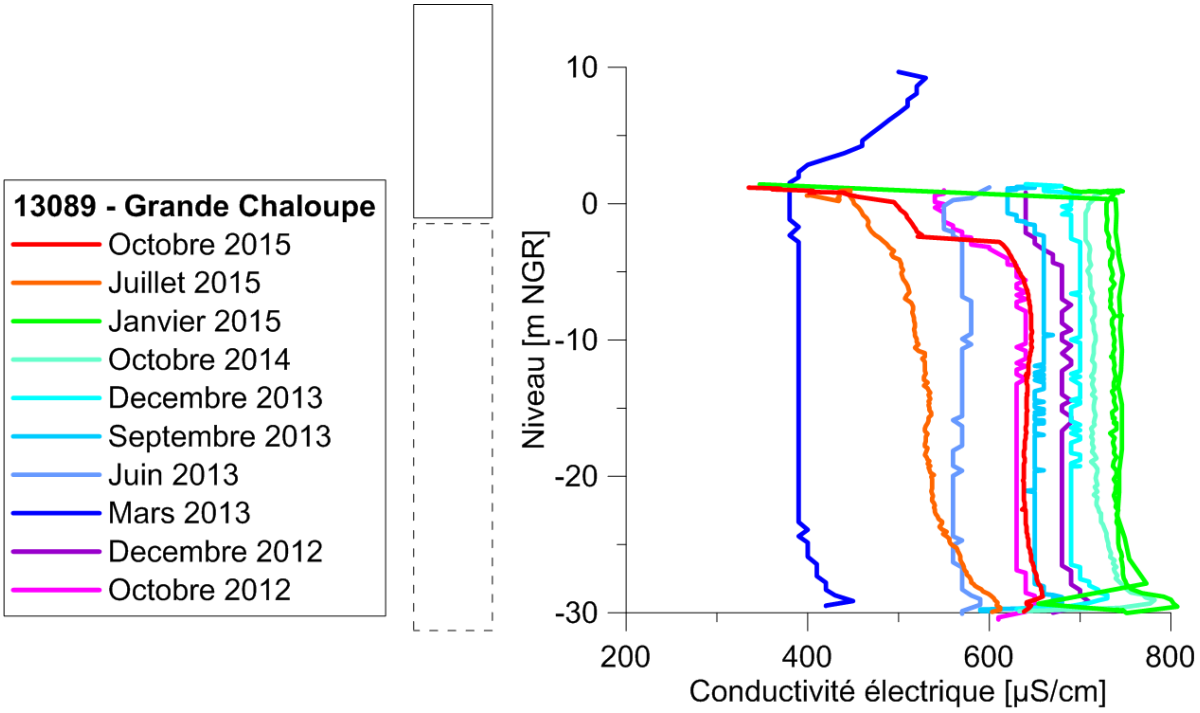


Figure 4.87 : Logs de conductivité électrique sur 13089 La Grande Chaloupe

4.9.9 Synthèse des résultats obtenus dans le secteur Nord

L'analyse des chroniques de conductivité électrique enregistrées sur le secteur Nord de l'île permet de distinguer trois comportements hydrogéologiques :

- Les forages réagissant aux évènements pluvieux intenses par des baisses de salinité associées à une recharge d'eau douce souterraine diluant les concentrations de la nappe côtière. Il s'agit en particulier des ouvrages P27 Belle Eau (Sainte-Suzanne) et P22 Les Cocos (Sainte-Marie).
- Les forages réagissant aux évènements pluvieux intenses par un ou deux pics de salinité associés à un lessivage des terrains superficiels situé en amont ou au droit du site. Ce comportement est observé notamment sur les forages du Chemin Grimm (Sainte-Suzanne), F3 Duparc, S7 La Convenance (Sainte-Marie) et au Puits Tomi (Saint-Denis).
- Les forages comportant une réponse hydrogéologique caractérisée par une baisse de salinité suivie d'un pic ou vis-versa. Ce comportement hybride est observé notamment sur le forage F5 Saint-Denis et sur le forage de La Grande Chaloupe.

4.10 Synthèse générale sur le suivi en continu de la salinité

L'analyse des signaux enregistrés sur les ouvrages du réseau d'observation permet de distinguer différents types de comportements hydrogéologiques associés, en fonction du contexte géographique, à un impact des forçages externes océaniques, hydro-climatiques ou anthropiques sur les nappes côtières.

Cependant, il convient de noter que sur la grande majorité des ouvrages, il est possible d'observer un comportement hydrogéologique hybride qui reflète l'influence marquée de la marée journalière, de la recharge saisonnière et de l'impact des activités anthropiques. Les interprétations de ce rapport ne tiennent pas compte des pompages.

4.10.1 Impact de la recharge

Sur les forages impactés par la recharge, les évènements hydro-climatiques les plus marquants entraînent des apports souterrains en eau douce qui induisent une baisse des salinités dans les nappes concernées en général de façon temporaire (quelques mois).

Les chroniques de conductivité électrique enregistrées dans le secteur du Port indiquent une forte sensibilité des nappes côtières vis-à-vis des épisodes de recharge qui entrainent une baisse des salinités dans les ouvrages interceptant la nappe supérieure au Lotissement Cotur et sur FT5-A Port Nord.

Les chroniques de salinité enregistrées sur les ouvrages de la plaine côtière de Saint-Paul montrent un impact relativement favorable des évènements hydro-climatiques majeurs sur la salinité des nappes côtières caractérisée par une baisse des salinités régulièrement induite par l'arrivée d'eau douce météorique qui recharge les nappes. Les logs de conductivité électrique mettent en évidence une interface saline diffuse et épaisse dans certains cas.

Sur le piézomètre P6 Ermitage, il apparaît qu'une influence significative de la recharge est constatée sur l'évolution de la salinité de la nappe de base sur une période plus longue et à une fréquence saisonnière.

Les données enregistrées sur le piézomètre P5 Grande Ravine confirment l'influence positive de la recharge sur l'évolution de la salinité. Les chutes de conductivité électrique caractéristiques des épisodes pluvieux sont régulièrement observées. Une baisse de la salinité peut être notée également après les fortes précipitations du mois de mars 2015 accompagnant la dépression tropicale Haliba. Après cette période de forte pluviométrie, la conductivité moyenne est passée de 700 à 600 µS/cm.

Dans le secteur de Pierrefonds, les piézomètres situés à proximité de la rive gauche de La Rivière Saint-Etienne (PIB7 Pierrefonds Village et F12 Aérodrome) ou dans le lit de la Ravine Blanche reçoivent une recharge importante qui semble favorisée par la présence d'un contexte d'alimentation préférentielle. Cette situation permet le maintien de niveau de salinité très faible et une protection vis-à-vis de l'impact des forçages océaniques. Ces ouvrages affichent des salinités faibles et stables sur toute la période des mesures.

Le contexte climatique très arrosé de la côte Est limite l'impact du milieu marin, notamment sur les forages P14 Champ Borne, P26 Le Bourbier, F1 Petit Saint-Pierre et Piton Sainte-Rose.

La pluviométrie abondante enregistrée dans le secteur Est génère une recharge d'eau douce importante qui semble tamponner l'influence marine en favorisant des baisses de salinité à fréquence saisonnière.

Enfin, dans le secteur Nord, plusieurs forages réagissent aux évènements pluvieux intenses par des baisses de salinité associées à une recharge d'eau douce souterraine diluant les concentrations de la nappe côtière. Il s'agit en particulier des ouvrages P27 Belle Eau (Sainte-Suzanne) et P22 Les Cocos (Sainte-Marie).

4.10.2 Impact des fluctuations océaniques

L'influence des fluctuations océaniques peut s'observer sur les signaux de salinité enregistrés selon des cycles de fréquences variables : le cycle semi-diurne de la marée journalière (12h), le cycle des phases lunaires (14 jours) et les cycles semestriels.

Il apparaît également que l'intensité de l'impact marin augmente avec la profondeur d'investigation. En effet, les chroniques enregistrées sur le multi-piézomètre P3-A-B-C du Lotissement Cotur montrent que les nappes supérieure et intermédiaire sont plus sensibles aux infiltrations directes et à la recharge provenant de l'amont, tandis que la nappe inférieure est davantage assujettie aux fluctuations marégraphiques.

Par ailleurs, sur la côte ouest, les chroniques de salinité enregistrées sur P6 Ermitage, F8 Stella Le Portail, P3 Pont Neuf, PIB4 et PIB5 montrent un impact très marqué du milieu marin sur l'évolution à une fréquence journalière de la salinité dans la nappe de base.

Enfin, les forages situés dans la zone sud de Pierrefonds (P12 Aérogare et P11 Syndicat) affichent une évolution de la salinité entièrement contrôlée par les forçages océaniques, l'impact du milieu marin augmentant avec la profondeur.

4.10.3 Impact des activités anthropiques

Aucune attention n'est portée sur les activités anthropiques relatives aux prélèvements d'eau souterraine. Il s'agit d'un facteur non négligeable qu'il faudra aborder dans un autre cadre.

Il apparait globalement que les infiltrations directes peuvent provoquer des pics de salinité associés à un lessivage des terrains superficiels. Ce type de contamination touche essentiellement les parties superficielles des nappes comme le montre les données recueillies au niveau des ouvrages P21-B et P18 Oméga N°2 à Saint-Paul.

Par ailleurs, les forages situés dans la zone centrale de Pierrefonds et relativement éloignés de la côte affichent des salinités faibles mais caractérisées par une tendance à la hausse. Malgré l'impact négligeable de la marée, la nappe côtière interceptée par ces forages parait néanmoins vulnérable vis-à-vis des activités anthropiques à l'origine d'une salinisation chronique qui se fait par lessivage des terrains superficiels. Les situations les plus significatives et les plus alarmantes sont observées sur les ouvrages F7 Pierrefonds, Dupuis 3 et Chemin Salette.

Enfin, dans le secteur Nord, certains forages réagissent aux évènements pluvieux intenses par un ou deux pics de salinité associés à un lessivage des terrains superficiels situé en amont ou au droit du site. Ce comportement est observé notamment sur les forages du Chemin Grimm, F3 Duparc, S7 La Convenance et au Puits Tomi.

5 Apport des données géophysiques à l'optimisation du réseau RIS

5.1 Eléments de contexte

Dans le cadre d'un travail de doctorat en cours[3], une analyse des données de géophysique aéroportée pour la représentativité du réseau RIS a été réalisée. Il s'agissait de :

- déterminer le potentiel de détection des intrusions salines par l'approche hydrogéophysique en couplant les données issue de la géophysique héliportée électromagnétique (AEM[4]) et les logs de conductivité électrique (CE) du réseau de suivi RIS de l'Office de l'eau (Réseau Intrusion Saline),
- cartographier à l'échelle régionale l'ensemble des zones critiques vis-à-vis de l'intrusion saline. Cette cartographie permettra aussi de définir la représentativité des points de suivi du réseau RIS de l'Office de l'eau.

Le bilan d'acquisition du levé géophysique héliporté est présenté dans le rapport BRGM/RP-63818-FR (Martelet et al. 2014).

L'approche proposée s'appuie sur l'analyse de la méthode et de ces caractéristiques afin de déterminer les forces et faiblesses de la géophysique héliportée (AEM). Par la suite, l'analyse des résultats géophysiques vis-à-vis des logs de conductivité électrique, mais aussi de la connaissance géologique, a permis de définir le potentiel de détection de l'intrusion saline.

Le travail ponctuel réalisé dans le présent rapport ne constitue qu'une partie du travail de doctorat qui est réalisé sur la thématique des intrusions salines. Ainsi, un atlas sera diffusé dans un prochain rapport BRGM et regroupera i) les cartes de résistivités, ii) les profils de résistivités ainsi que les logs de conductivité électrique.

La présente approche permet néanmoins d'obtenir :

- un tableau d'analyse synthétique de la représentativité des piézomètres suivi dans le réseau RIS de l'Office de l'eau,
- une carte de synthèse qui localise et caractérise les aquifères les plus vulnérables vis-à-vis de l'intrusion saline.

[3] Thèse de Marc DUMONT, encadrée par le BRGM, le LGSR et l'ENSEGID sur le sujet « Caractérisation des structures hydrogéologiques en milieu volcanique (l'île de La Réunion) grâce à une approche hydrogéophysique » et financée par La Région Réunion, le BRGM et l'Office de l'eau Réunion. Durée 3 ans (janvier 2015 – décembre 2017)

[4] Airborne ElectroMagnetics

5.2 Contribution de l'imagerie géophysique à l'étude des intrusions salines

Grâce à la cartographie et l'analyse des nombreux points de suivi du réseau RIS, il est possible de (i) dessiner une carte synthétique des différentes zones d'intrusions salines imagées par géophysique héliportée et (ii) analyser la représentativité du réseau de suivi des intrusions salines [RIS].

L'analyse des cartes de résistivités et des profils présentés a permis d'approcher les géométries des principales intrusions salines à La Réunion. Les géométries étant quelquefois complexes avec la présence d'intrusions salines superposées, de zone particulière affichant d'épaisses zones de diffusion, il paraît difficile de cartographier, uniquement à partir de la géophysique, la profondeur du toit de l'intrusion saline sans analyse hydrogéologique complémentaire.

Le tableau suivant référence les différents secteurs de l'île en fonction des propriétés de l'interface eau douce / eau salée. Les secteurs sont cartographiés selon trois catégories et sont présentés sous forme d'une carte de synthèse (Figure 5.1) :

- (i) les secteurs faiblement ou non contaminés par l'eau salée ;
- (ii) les secteurs concernés par des intrusions salines contrôlées par un fonctionnement hydrogéologique simple, pouvant être assimilées au « principe de Ghyben-Herzberg » ;
- (iii) les secteurs concernés par des intrusions salines contrôlées par un fonctionnement hydrogéologique complexe dépendant des différentes entités géologiques, de la géométrie et de l'architecture des aquifères, des modalités de recharge, des conditions à la limite aval….

Cette cartographie permet de distinguer sur l'île deux parties principales :

- (i) la côte Ouest et Sud (de la Possession à Sainte-Rose) est largement impactée par les intrusions salines ;
- (ii) la côte Nord et Est (de La Montagne à Sainte-Rose) ne présente quasiment aucun cas d'intrusion saline à part dans quelques zones où l'eau salée pénètre faiblement dans les terres (moins de 500 m).

Nota bene : par mesure de simplicité dans le texte du présent chapitre, la notion d'intrusion saline est justifiée (i) par la présence d'anomalie de résistivité électrique inférieures à 10 Ω.m et (ii) par la présence de géométries caractéristiques. Aucune analyse chimique des eaux ne vient étayer les hypothèses émises ci-après.

Tableau 1 : Descriptions des différentes intrusions salines imagées par géophysique électromagnétique héliportée à La Réunion

Secteur	Description de l'intrusion saline imagée par géophysique
Le Port	- Intrusion saline à géométrie complexe. - Nappe côtière alimentée par une recharge importante localisée dans le secteur de Dos d'âne et par les pertes de La Rivière des Galets. - L'intrusion saline semble s'étendre largement au-delà de -80/-100 m NGR. - En raison de l'emprise de l'urbanisation, quasiment aucune donnée géophysique n'est disponible sur le secteur.
Cambaie	- L'intrusion saline pénètre au niveau de l'étang Saint-Paul à partir de -60 m NGR pour se généraliser sur l'ensemble de la zone entre -110 et -200 m NGR. - La géophysique image une géométrie complexe avec une zone de diffusion importante (≈ 50-60 m d'épaisseur) qui semble être contrôlée par une recharge importante et régulière.
Ermitage	- Dans cette zone, les coulées de laves sont recouvertes par des sables coralliens au niveau du littoral. - Cette géologie particulière contrôle une double intrusion dans la nappe des sables (-5/-10m NGR) et dans les basaltes (–20 à –40 m NGR).
Ouest	- La côte ouest, allant de Saint-Gilles aux Avirons, est contaminée par une importante intrusion saline à partir de -40 m NGR, pouvant pénétrer jusqu'à 2 km à l'intérieur des terres. - L'intrusion est contrôlée localement par des structures géologiques (paléo-vallée comblée par des coulées plus récentes) et des régimes de recharge différente (alimentation préférentielle au droit des ravines).
Étang-Salé	- Sous le recouvrement détritique non saturé, une importante intrusion saline pénètre sur l'ensemble de la zone à partir de -40 m NGR.
Le Gol	- Cette zone est caractérisée par une intrusion saline complexe contrôlée par une recharge marquée provenant de la plaine des Makes. - La géophysique semble imager une importante zone de diffusion sur l'ensemble du secteur. - De plus, une intrusion semble se développer sous le recouvrement détritique avec la présence des différents étangs.
Les Cocos	- La zone urbanisée de Saint-Louis n'est pas couverte par la géophysique héliportée en raison de la forte densité de bâtiments. - La zone située en amont ne montre aucun signe de contamination par l'eau salée.
Pierrefonds	- La Rivière Saint-Étienne alimente l'aquifère et repousse l'intrusion saline (nappe d'accompagnement). - Au centre de la plaine côtière, les formations volcano-clastiques contrôlent les conditions aux limites de l'aquifère en mer, créant des écoulements complexes avec par endroit une double intrusion saline à partir de -40m NGR.
Sud	- Sur l'ensemble de la côte Sud, de Saint-Pierre à Sainte-Rose, l'intrusion saline semble correspondre à un fonctionnement hydrogéologique simple, s'approchant du « principe de Ghyben-Herzberg » : une lentille d'eau douce reposant sur l'eau salée. - L'intrusion saline est caractérisée par une zone de diffusion peu épaisse (décamétrique à pluridécamétrique) et une pente faible. - L'intrusion est détectée à partir de -40m NGR et pénètre jusqu'à 1.5 km dans les terres.
Nord / Est	- Sur toute la côte Nord et Est, aucune intrusion saline significative n'a été détectée, la contamination restant concentrée au trait de côte (< 200 m). - Les cônes alluviaux de La Rivière du Mât et de La Rivière des Marsouins peuvent complexifier particulièrement les directions des écoulements d'eau souterraine et la géométrie de l'intrusion saline.

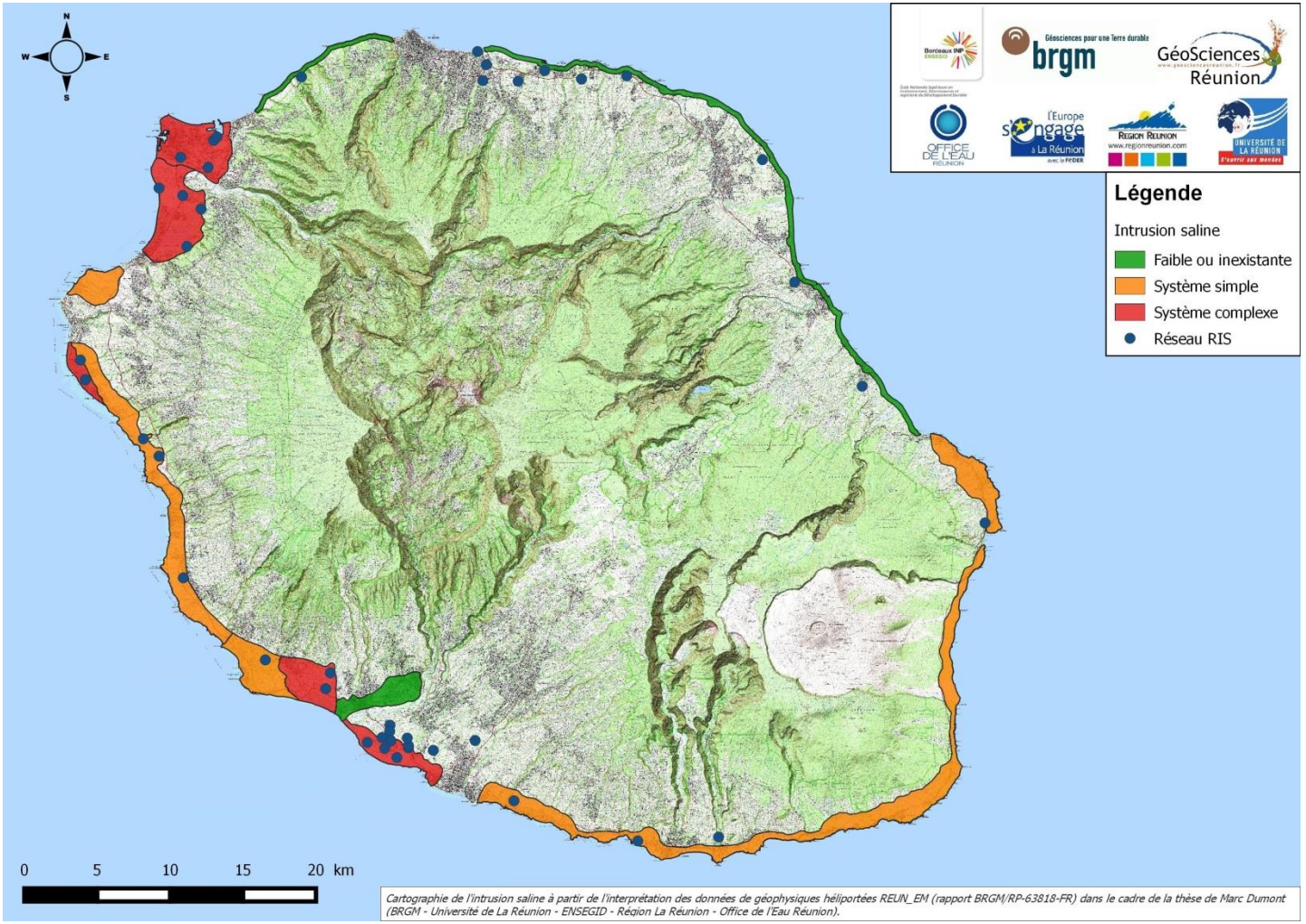


Figure 5.1 : Carte des intrusions salines imagées par la géophysique héliportée [AEM]

5.3 Représentativité spatiale des points suivis

L'intérêt principal de l'exploitation de la géophysique a consisté à définir la représentativité du réseau RIS de l'Office de l'eau dans le cadre du présent rapport. Chaque point de mesure a bénéficié d'une analyse locale. Avec l'analyse cartographique, il est possible de i) déterminer si chacun des points suivis permet d'étudier une intrusion saline, sa géométrie et son type de fonctionnement (i.e. simple ou complexe) et par la suite de ii) proposer des améliorations possible pour optimiser l'acquisition des données.

La figure suivante présente sous forme d'un diagramme décisionnel les différents critères à analyser afin de vérifier l'intérêt de chacun des points suivis dans le réseau RIS.

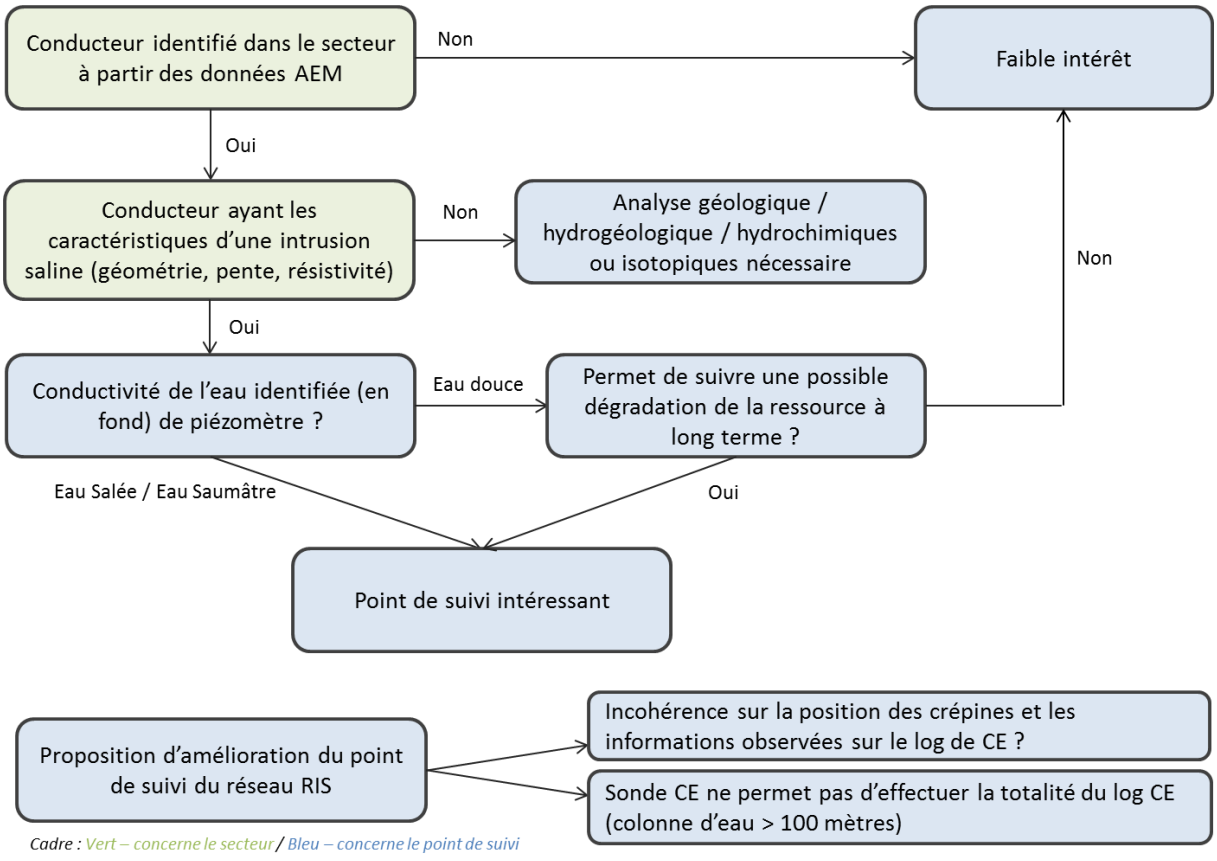


Figure 5.2 : Synoptique de l'analyse de représentativité des points du réseau RIS vis-à-vis des données AEM

La complexité des paramètres de contrôle de l'intrusion, la conductivité électrique de l'eau du piézomètre, la profondeur du forage sont autant de paramètres pour définir si le point de suivi est représentatif de la vulnérabilité de l'aquifère ou pas.

Le tableau suivant synthétise les résultats de l'analyse et résume l'apport de l'imagerie géophysique électromagnétique sur le critère de représentativité du réseau RIS.

Tableau 2 : Tableau de synthèse de l'analyse de représentativité du réseau RIS.

Code OdE	Analyse du point de suivi				Intérêt du point RIS	Amélioration du suivi	
	Intrusion saline	Processus	Profondeur	Dégradation		Sonde CE	Crépine
12056 A-C	1	2	1	1	2	1	1
12064	1	2	2	1	2	2	2
12157	1	2	2	1	2	2	2
12162	1	1	3	1	3	2	2
12170	1	2	2	1	2	2	2
12174	1	2	2	1	2	2	2
12186-2	1	1	2	1	1	1	2
12188-2	1	2	2	1	2	1	2
13089	2	4	3	2	3	2	2
14018	2	4	3	2	3	2	2
15022	1	2	2	1	2	2	2
15027	1	2	1	1	2	2	2
16041	1	1	2	1	1	1	1
16080	1	1	1	1	1	2	2
21034	2	4	3	2	3	2	2
21038	2	4	3	2	3	2	2
21057	2	4	3	2	3	1	2
21059	2	4	3	2	3	2	2
21066	2	4	3	2	3	1	2
22095	2	4	3	2	3	2	2
23009-2	2	4	3	2	3	1	1
27072	2	4	3	2	3	1	2
28058	2	4	3	2	3	2	2
32045	1	1	2	1	1	2	2
33066	1	1	2	1	1	1	2
37056-3	1	2	2	1	2	2	2
37057 B-D	1	2	2	1	2	2	2
38063	1	4	3	2	3	2	2
38065	1	4	3	1	3	2	2
38067	1	4	3	1	3	2	2
38070	1	3	2	2	3	2	2
38071	1	4	3	1	2	2	1
38072	1	4	3	1	2	2	2
38077	1	2	2	1	2	2	2
38078	1	2	2	1	2	1	2
38087	1	2	3	2	3	1	2
38089	1	3	3	1	2	1	2
38216	2	3	3	2	3	2	2
38217	1	2	2	1	2	1	2
44030	1	1	2	1	1	2	2
45040	1	1	1	1	1	2	1
46066	1	1	1	1	1	2	2
46135	1	1	3	2	3	2	2

Descriptif des colonnes			
Dégradation de la ressource	Permet de suivre une dégradation temporelle	Intrusion saline	Détectée dans le secteur du point
	Ne permet pas de suivre la dégradation		Faible ou inexistante dans le secteur
Profondeur du forage	atteint l'eau salée	Processus	Intrusion saline simple
	atteint l'eau saumâtre		Intrusion saline complexe
	atteint uniquement l'eau douce		Doute sur le phénomène de minéralisation
			Minéralisation standard à La Réunion
Intérêt du point RIS	Point de suivi intéressant pour surveiller une intrusion saline simple		
	Point de suivi intéressant pour surveiller une intrusion saline complexe		
	Point de suivi faiblement intéressant - suivi à repenser		
Amélioration des points de suivis			
Sonde CE	La sonde utilisée ne permet pas d'effectuer l'ensemble du log CE dans le forage		
Crépine	La profondeur des logs CE et des crépines ne sont pas cohérentes.		

Une grande partie des points de suivi de l'Office de l'eau permet de surveiller l'évolution de l'intrusion saline et mesure des données primordiales dans la compréhension du phénomène de salinisation à La Réunion. Par contre, certains points semblent mesurer uniquement la conductivité électrique d'une eau douce issue d'un aquifère non concerné par les phénomènes de salinisation.

D'une manière générale, les ouvrages interceptant une ressource d'eau douce :

- i) se situent dans une zone non contaminée par l'eau salée, ou
- ii) ne sont pas assez profonds pour atteindre la zone de mélange et l'interface eau douce / eau salée.

Dans les deux cas, il est nécessaire de déterminer si celui-ci doit continuer à être suivi pour prévenir une éventuelle dégradation de la ressource. Il conviendrait alors de définir des intervalles de mesures plus longs afin de conserver un maximum de points de suivi tout en maintenant des coûts d'intervention et de gestion acceptables (exemple : logs de conductivité électrique à pas de temps trimestriel).

5.4 Proposition d'un réseau de suivi pérenne

A la lumière des résultats issus du suivi en continu in-situ et de l'imagerie géophysique héliportée, il est possible i) de proposer un réseau de surveillance pérenne et consolidé à l'échelle de l'île et ii) de suggérer des améliorations éventuelles susceptibles d'optimiser l'acquisition des données, la fiabilité et la représentativité des informations recueillies.

Tableau 3 : Tableau de synthèse des caractéristiques générales des ouvrages suivis

CE : Conductivité électrique - PDN : Piton des Neiges – PDF : Piton de la Fournaise

Code Office	Nom usuel du point suivi	Z [m NGR]	Prof [m NGR]	Contexte géologique	Impact de la marée sur la salinité	Impact de la recharge sur la salinité	Evolution long terme Qualité ressource	Suite Suivi RIS
12056	P3-A Lotissement Cotur	42.51	-34.99	Alluvions grossières	Faible	Baisse CE	Dégradation	RIS
12056	P3-B Lotissement Cotur	42.51	-83.49	Alluvions grossières	Fort	Hausse CE	Dégradation	RIS
12056	P3-C Lotissement Cotur	42.23	-139.77	Alluvions grossières	Fort	Faible	Stable	RIS
12064	FT-5-A	34.08	-62.63	Alluvions grossières	Fort	Baisse CE	Stable	RIS
12157	F3 Port Nord	26.04	-3.96	Alluvions grossières	Fort	Faible	Dégradation	RIS
12162	S3 Oméga	6.2	-13.8	Alluvions grossières	Fort	Faible	Stable	RIS
12170	P13 Cambaie	67.69	-72.31	Phase IV du PDN	Faible	Baisse CE	Dégradation	RIS
12174	P3 Sacré Cœur	81.12	-73.88	Phase II du PDN	Faible	Non évalué	Dégradation	RIS
12186	P18 Oméga N°2	26.46	-110.54	Alluvions grossières	Faible	Complexe	Stable	RIS
12188	Piézomètre P21-B	4.89	-145.11	Phase II et III du PDN	Fort	Complexe	Dégradation	RIS
13089	Grande Chaloupe	16.04	-32.96	Alluvions + Phase II PDN	Faible	Baisse CE	Stable	RIS
14018	Puits Tomi	7.45	-8.55	Sables et galets	Fort	Pic de CE	Stable	RIS
15022	ZBS5 Lotissement Dayot	2.45	-3.05	Sables coralliens	Faible	Complexe	Dégradation	RIS
15027	P6 Ermitage	3.22	-46.78	Phase IV du PDN	Fort	Baisse CE	Stable	RIS
16041	Petite Ravine Amont	149.84	-21.16	Phase II et III du PDN	Faible	Complexe	Dégradation	RIS
16080	Forage P5 Grande Ravine	22.51	-40.49	Phase III du PDN	Fort	Baisse CE	Stable	RIS
21034	Forage S7 La Convenance	59.29	-144.71	Phase IV et II du PDN	Faible	Pics CE	Stable	RIS
21057	Forage F5 Saint-Denis Est	62.97	-106.03	Phase IV-III et II du PDN	Faible	Complexe	Stable	RIS

21059	Forage F3 Duparc	64.28	-49.72	Phase III et II du PDN	Faible	Complexe	Stable	RIS
21066	P22 Les Cocos	32.89	-67.11	Alluvions et basaltes PDN	Faible	Pics CE	Stable	RIS
22095	P27 Belle Eau	56.88	-63.12	Alluvions + basaltes PDN	Faible	Complexe	Stable	RIS
22137	Forage du Chemin Grimm	83.6	-46.4	Alluvions + basaltes PDN	Faible	Pics CE	Dégradation	RIS
23009	P14 Champ Borne N°2	24.17	-108.83	Alluvions + phase III PDN	Faible	Pics CE	Stable	RIS
27072	Forage P26 Le Bourbier	35.49	-100.51	Alluvions + + scories + basaltes PDN	Faible	Baisse CE	Dégradation	RIS
28058	F1 Petit Saint-Pierre	78.12	-71.88	Scories + basaltes PDF	Faible	Complexe	Stable	RIS
32045	Forage F8 Stella Le Portail	133.86	-16.14	Scories + basaltes PDN	Fort	Baisse CE	Stable	RIS
33066	Piézomètre P3 Pont Neuf	60.5	-59.5	Phase III du PDN	Fort	Faible	Dégradation	RIS
37056	PIB4-C Plaine du Gol	20.71	-79.29	Phase IV et III du PDN	Faible	Baisse CE	Non évalué	RIS
37057	PIB5-B Plaine du Gol	5.8	-30.5	Alluvions + phase IV-III et II du PDN	Fort	Faible	Stable	RIS
37057	PIB5-C Plaine du Gol	5.8	-38.4	Alluvions + phase IV-III et II du PDN	Fort	Faible	Dégradation	RIS
37057	PIB5-D Plaine du Gol	5.8	-84.2	Alluvions + phase IV-III et II du PDN	Fort	Faible	Stable	RIS
38067	F12 Aérodrome Pierrefonds	20.09	-59.91	Alluvions + phase III et II du PDN	Faible	Faible	Stable	RIS
38070	F10 Ravine des Cabris	47.84	-27.16	Alluvions + basaltes du PDN	Fort	Lessivage	Stable	RIS
38071	Forage F7 Pierrefonds 3	45.28	-29.72	Alluvions + basaltes du PDN	Fort	Faible	Dégradation	RIS
38072	Forage F9 Dupuis 1	64.79	-54.21	Alluvions + basaltes du PDN	Faible	Faible	Dégradation	RIS
38077	P12 Aérogare	30.81	-79.19	Alluvions + phase IV et II du PDN	Fort	Faible	Stable	RIS
38078	P11 Syndicat Aval	22.64	-97.36	Phase IV et III du PDN	Fort	Faible	Stable	RIS
38087	DUPUIS N°3	62.1	-127.9	Alluvions + phase IV et III du PDN	Faible	Faible	Dégradation	RIS
38089	Forage Ravine Blanche	60.91	-137.09	Alluvions + basaltes du PDN	Faible	Faible	Stable	RIS
38216	Chemin Salette	194.97	-62.03	Alluvions + basaltes du PDN	Faible	Lessivage	Dégradation	RIS
38217	S2 Caserne Pierrefonds	48.49	-151.16	Alluvions + basaltes du PDN	Fort	Faible	Dégradation	RIS
44030	Piton Sainte Rose	120.77	-129.23	Scories + basaltes du PDF	Fort	Baisse CE	Stable	RIS
45040	Piézomètre P1 La Cafrine	91.85	-57.15	Phase IV et III du PDN	Fort	Faible	Stable	RIS
46066	F1 Manapany Les Bains	41.63	-38.37	Basaltes et océanites du PDF	Fort	Faible	Stable	RIS
46135	Forage Kerveguen	75.2	-74.8	Alluvions et basaltes du PDF	Faible	Faible	Stable	RIS

6 Conclusions et perspectives

6.1 Synthèse générale

L'intrusion saline est un processus complexe qui menace l'exploitation des aquifères littoraux à La Réunion. Le suivi en continu de la salinité dans les nappes côtières révèle la présence de plusieurs sources de contamination saline en zone côtière. Dans les secteurs Ouest et Sud, le principal vecteur de la salinisation reste l'intrusion marine. Cependant, les signaux enregistrés dans le secteur Nord et sur certains ouvrages de la zone de Pierrefonds révèlent la présence d'autres sources de minéralisation des nappes côtières, à savoir ;

- i) la mobilisation d'eau souterraine plus ancienne et/ou
- ii) le lessivage des terrains superficiels dé-saturés (surtout en contexte agricole ou densément anthropisé).

Seule une étude des caractéristiques géochimiques de la nappe au moment de ces pics de minéralisation permettra de déterminer l'origine des éléments apportés dans la nappe lors des évènements hydro-climatiques saisonniers.

Par ailleurs, la géophysique héliportée (Martelet *et al.*, 2014) et le modèle de résistivité interprété dans le cadre d'une thèse en cours permettent ; i) d'imager les intrusions salines à l'échelle de l'île et surtout ii) de comparer les fonctionnements spécifiques d'un massif volcanique à l'autre et d'un versant de l'île à l'autre.

Malgré la baisse de résolution induite par l'inversion des données électromagnétiques à l'échelle régionale avec un modèle 'smooth', les résultats de la géophysique comportent une précision suffisante pour comprendre les intrusions salines à l'échelle d'un secteur. Néanmoins, pour des analyses plus fines de la géométrie et des fonctionnements de l'intrusion saline sur des secteurs précis, il est nécessaire i) de retravailler les données géophysiques et ii) d'utiliser des paramètres d'inversion plus appropriés.

Grâce à l'analyse régionale des résultats de la géophysique électromagnétique, les zones soumises à l'intrusion saline sont détectées et délimitées. Une première analyse des géométries et des logs de conductivité électrique a permis de définir le fonctionnement général de chacun des secteurs afin de pouvoir définir la représentativité du réseau RIS. Il en ressort que le réseau actuel est bien réparti sur l'ensemble de l'île et permet de suivre la majorité des intrusions salines.

Pour finir, les paramètres de contrôle de l'intrusion saline tels que l'altération des coulées de laves, la recharge et les prélèvements par pompage semblent avoir des impacts variables en fonction du secteur de l'île.

En effet, le secteur du Piton de la Fournaise, l'une des zones les plus arrosées de l'île, est pourtant sujette à une importante intrusion saline d'après les données géophysiques. Cette vulnérabilité s'explique par la présence de formations géologiques récentes, peu altérées et très perméables.

Par ailleurs, le massif du Piton des Neiges montre la plus grande variabilité dans sa vulnérabilité face à l'intrusion saline. En effet, dans les formations géologiques du même âge, l'intrusion saline est bien plus développée sur la côte Ouest, sous le vent, que sur la côte Est, exposée aux vents, et ceci malgré les prélèvements plus importants sur ce secteur de l'île. Cette situation s'explique notamment par une recharge plus abondante sur la façade orientale du Piton des Neiges. Cet apport permanent d'eau douce favorise le développement d'une nappe littorale plus épaisse et permet ainsi un approfondissement de l'interface saline dans les secteurs Est et Nord de l'île.

A la lumière de ces observations, un réseau de surveillance pérenne à l'échelle de l'île est proposé sur la base de 46 forages répartis de façon homogène sur toutes les zones littorales et répondant à deux critères principaux :

- l'interception d'une masse d'eau dans laquelle une intrusion saline est constatée,
- l'interception d'une masse d'eau douce non impactée par l'intrusion saline, mais pouvant servir à anticiper un éventuel début de dégradation, qu'il soit d'origine océanique ou anthropique.

6.2 Perspectives d'amélioration du réseau

La poursuite de la surveillance des nappes côtières dans les secteurs de la côte Ouest et Sud est préconisée du fait de leur caractère stratégique et hautement vulnérable. Sur les secteurs Nord et Est, moins sensibles vis-à-vis de l'intrusion saline, le suivi sera maintenu pour anticiper une éventuelle modification des équilibres.

Des améliorations sont ponctuellement évoquées :

- La réalisation de logs avec un capteur capable d'atteindre les crépines dans l'ouvrage P3-C du Lotissement Cotur permettra d'améliorer considérablement les connaissances sur le comportement de l'interface saline dans ce secteur.
  En effet, durant l'étude, il a été mis en évidence que certains logs de conductivité électrique n'étaient pas réalisés correctement en raison d'un problème lié au capteur de pression qui est limité à une colonne d'eau maximale de 100 m.

- Il ne semble pas nécessaire de maintenir un réseau RIS aussi dense dans le secteur de Pierrefonds. Aussi, il a été proposé dans un premier temps d'arrêter le suivi sur les piézomètres 38063 Pierrefonds Village et 38065 F15 La Vallée, compte tenu du fait que ; i) les logs de conductivité électrique ne recoupent pas le biseau salé, ii) aucune évolution significative des salinités n'a été constatée par le suivi en continu des conductivités électriques, et que iii) les niveaux de salinité mesurés restent très faibles [CE < 350 µS/cm] et affichent un comportement inertiel de l'hydro-système sur toute la période des mesures.

- L'analyse du suivi en continu et des logs de conductivité électrique du piézomètre F10 Ravine des Cabris révèle un impact des infiltrations d'eau minéralisée suite aux évènements pluvieux les plus intenses. Compte tenu de sa vulnérabilité vis-à-vis des activités anthropiques, le maintien des logs de conductivité sur cet ouvrage à fréquence trimestrielle est donc préconisé.

- Compte tenu des fortes concentrations en chlorures (plus de 200 mg/L) mesurées sur le forage d'exploitation FRH5 de La Saline, l'intégration du piézomètre 16038 S2 Trou d'eau dans le réseau de suivi est envisagée afin de suivre l'évolution temporelle des salinités en aval de l'ouvrage exploité et de pouvoir anticiper une éventuelle intrusion marine dans ce secteur.

6.3 Perspectives d'amélioration de l'analyse

Une analyse plus précise et plus exhaustive permettra de mieux comprendre l'impact couplé de l'ensemble des paramètres de contrôle et leur hiérarchie. Cette étude devra coupler les données de la géophysique, le traitement des séries temporelles enregistrées in-situ (piézométrie et conductivité électrique) et l'hydrochimie de l'eau souterraine.

La suite de ce travail d'interprétation des signaux de salinité prévoit la mise en œuvre de différentes méthodes de traitement et d'analyse du signal, comprenant i) une investigation hydrogéologique détaillée sur les différents sites d'étude, ii) une analyse des harmoniques des signaux hydrogéologiques, iii) une caractérisation hydrodynamique par calcul des diffusivités hydrauliques et vi) une analyse en composantes principales à partir des paramètres hydrogéologiques des forages côtiers.

- Analyse hydrogéologique détaillée

Ce travail consistera à analyser de la façon la plus précise le contexte géologique et hydrogéologique sur chaque secteur afin de pouvoir produire des schémas de synthèse du fonctionnement hydrogéologique et des transects géologiques amont-aval.

- Analyse comparative par rapport aux débits d'exploitation

Ce type d'analyse permettra d'évaluer l'impact sur le long terme des prélèvements par pompage sur l'évolution quantitative et qualitative de la nappe. La réalisation de ce travail nécessitera l'obtention des chroniques de pompages les plus longues possibles de la part des fermiers.

- L'analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle se caractérise par une décomposition en harmoniques des signaux hydrogéologiques enregistrés sur l'ensemble des piézomètres du réseau. Ce type d'analyse permet l'extraction des composantes marégraphiques qui impactent les signaux hydrogéologiques sur chaque site et l'obtention d'un signal résiduel reflétant le bruit de fond associé à la recharge saisonnière et aux prélèvements.

- Calculs des diffusivités hydrauliques

Le calcul des diffusivités hydrauliques permettra de quantifier notamment la sensibilité des nappes côtières vis-à-vis de la composante semi-diurne de marée. Ce paramètre permet en outre d'évaluer le degré de confinement des nappes côtières interceptées par les forages et ainsi leur niveau de vulnérabilité face aux pollutions superficielles.

- Analyse en composantes principales (ACP)

Compte-tenu de la complexité des paramètres pouvant contrôler les différentes réponses hydrogéologiques décrites précédemment, une analyse plus détaillée du signal et des paramètres hydrogéologiques sur l'ensemble des ouvrages s'avère nécessaire pour élucider les facteurs déterminant des différents comportements observés.

Considérant le jeu de données volumineux, une approche statistique par analyse en composantes principales (ACP) pourrait s'avérer pertinente. Cette analyse devra être menée sur l'ensemble des paramètres issus des ouvrages du réseau d'observation pour une caractérisation hydrogéologique de l'ensemble des aquifères côtiers de l'île.

Les résultats de l'ensemble des méthodes d'analyse citées plus haut feront l'objet d'un rapport d'études qui complétera les observations du présent document.

7 Références bibliographiques

Aunay B, Broch d'Autelans R (2011) Montée du niveau marin induite par le changement climatique. Phase 1 - Diagnostic préalable aux conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de La Réunion - Rapport final - BRGM/RP-59049-FR. BRGM, La Réunion

Aunay B, Genevier M, Ladouche B, Marechal J-C (2010) Analyse fonctionnelle par traitement du signal et approche hydrochimique des aquifères du nord de la Réunion - Rapport final - BRGMRP-57955-FR. BRGM, La Réunion

Aunay B, Gourcy L (2007) Approche hydrogéochimique pour la détermination de l'origine de la contamination des eaux souterraines à Antenne 4 - phase 2. Rapport final - BRGM/RP-55535-FR. BRGM, La Réunion

Aunay B, Reninger P-A, Dumont M (2016) Définition des indicateurs de gestion de la masse d'eau de Pierrefonds par l'Office de l'eau de La Réunion - Interprétation hydrogéologique des données de géophysique aéroportée sur le secteur de Pierrefonds - Rapport final - BRGM/RP-65621-FR. BRGM, La Réunion

Barcelo A (1996) Analyse des mécanismes hydrologiques en domaine volcanique insulaire tropical à relief jeune. Apports à la connaissance du bilan hydrique. Massif du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc

Barcelo A, Coudray J (1996) Nouvelle carte des isohyètes annuelles et des maxima pluviométriques sur le massif du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Rev Sci Eau 9:457. doi: 10.7202/705262ar

Bonnier J (2012) Etude de la salinisation des aquifères côtiers en milieu volcanique insulaire : cas de l'île de La Réunion. In: Dix-huitièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. « Ressources et gestion des aquifères littoraux ». IAH, Cassis, France, p p259

Bourhane A (2014) Méthodes d'investigation de l'intrusion marine dans les aquifères volcaniques : La Réunion et La Grande Comore. Thèse de Doctorat, Université de La Réunion

BRGM, LGSR (2006) Carte géologique de La Réunion à l'échelle 1/100 000.

Castany G, Margat J (2010) Dictionnaire français d'hydrogéologie -, Editions du BRGM. BRGM, France

Cordier E, Lézé J, Join J-L (2013) Natural tidal processes modified by the existence of fringing reef on La Reunion Island (Western Indian Ocean): Impact on the relative sea level variations. Cont Shelf Res 55:119–128. doi: 10.1016/j.csr.2013.01.016

Daesslé M, Join J-L (1988) Cliché de salinité des nappes souterraines de la côte ouest de l'île de La Réunion - Rapport BRGM/88-REU-005.

Frissant N, Barthélemy L, Petit V (2006) Synthèse des ressources en eau souterraine potentiellement mobilisables à La Réunion - Rapport BRGM/RP-55035-FR. BRGM, La Réunion

Frissant N, René-Corail C, Bonnier J, De La Torre Y (2005) Le phénomène d'intrusion saline à La Réunion : état des connaissances et synthèse des données disponibles. Rapport BRGM/RP-54330-FR. BRGM, La Réunion

Jacquin F (2015) Suivi hydrogéologique de la nappe de la Plaine des Galets - Port Est Réunion – Extension de la DARSE vers l'Ouest – Phase 2 - Suivi piézométrique et logs de conductivité. ANTEA Group Agence de La Réunion, La Réunion

Join J-L (1991) Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire. Piton des neiges, île de la Réunion = Hydrogeologic characterization of insular volcanic terrains. Piton des neiges, Reunion Island. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc

Join J-L, Pomme J-B, Coudray J, Daesslé M (1988) Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif corallien. Hydrogéologie 107–115.

Kharaka YK, Hanor JS (2004) Deep Fluids in the Continents: I. Sedimentary Basins. In: Treatise on Geochemistry, Elsevier-Pergamon. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp p. 499–540

Kloppmann W, Bourhane A, Asfirane F (2011) Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques - BRGM/RP-60026-FR. BRGM, France

Kloppmann W, Bourhane A, Schomburgk S (2010) Salinisation des masses d'eaux en France Métropolitaine et dans l'Outre-Mer. Rapport final. BRGM/RP-59496-FR. BRGM, France

Kloppmann W, Bourhane A, Schomburgk S (2013) Groundwater Salinization in France. Procedia Earth Planet Sci 7:440–443. doi: 10.1016/j.proeps.2013.03.225

Kloppmann W, Bourhane A, Schomburgk S, Asfirane F (2012) Salinisation des masses d'eaux en France : du constat au diagnostic. In: Dix-huitièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. « Ressources et gestion des aquifères littoraux ». IAH, Cassis, France, p p199

Lanini S, Petit V, Leforgeais C (2013) Définition par modélisation des recommandations de pompage pour les puits du Gol - Rapport final - BRGM/RP-62893-FR. BRGM, La Réunion

Lézé J (2012) Impact des forçages océaniques sur les nappes côtières : cas de l'Ermitage, île de La Réunion. Thèse doctorat, Université de la Réunion

Martelet G, Reninger P-A, Perrin J, Deparis J (2014) Acquisition géophysique héliportée de l'île de La Réunion. Rapp. BRGM/RP-63818-FR, 90p. BRGM, La Réunion

Petit V, Dewandel B, Charlier J-B, et al (2013) Amélioration de la connaissance hydrogéologique de l'aquifère côtier du Gol - Rapport intermédiaire - BRGM/RP-61834-FR. BRGM, La Réunion

Petit V, Leforgeais C (2013) Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraines côtières de La Réunion : interprétation des données - BRGM - RP-62956-FR. BRGM, La Réunion

Pryet A, d' Ozouville N, Violette S, et al (2012) Hydrogeological settings of a volcanic island (San Cristóbal, Galapagos) from joint interpretation of airborne electromagnetics and geomorphological observations. Hydrol Earth Syst Sci 16:4571–4579. doi: 10.5194/hess-16-4571-2012

Rogers KM, Nicolini E, Gauthier V (2012) Identifying source and formation altitudes of nitrates in drinking water from Réunion Island, France, using a multi-isotopic approach. J Contam Hydrol. doi: 10.1016/j.jconhyd.2012.07.002

Vengosh A (2003) 9.09 - Salinization and Saline Environments. In: Editors-in-Chief: Heinrich D. Holland, Karl K. Turekian (eds) Treatise on Geochemistry. Pergamon, Oxford, pp 1–35

8 Annexes

Annexe 1 : Liens vers les fiches BSS des piézomètres du réseau RIS

Annexe 2 : Fiches synthétiques sur l'analyse de représentativité du réseau

Annexe 1 : Liens vers les fiches BSS des piézomètres du réseau RIS

Code Office	Nom usuel	Liens hypertextes vers les fiches InfoTerre des piézomètres instrumentés
12056-A	P3-A lot. Cotur	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0056/P3
12056-B	P3-B lot. Cotur	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0056/P3
12056-C	P3-C lot. Cotur	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0056/P3
12064	FT-5	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0064/FT-5A
12157	F3 port nord	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0157/F3
12162	S3 Oméga	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0162/S3
12170	P13 Cambaie	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0170/P13
12174	P3 Sacré Coeur	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0174/P3
12186-2	P18 Oméga n°2	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0186/F
12188-2	Piézo P21-B	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12262X0188/P21-A
13089	Forage Grande Chaloupe	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12263X0089/PIEZO
14018	Puits Tomi	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12264X0018/F
15022	Piézo ZBS5 Ermitage Lot. Dayo	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12265X0022/ZBS-5
15027	P6 Ermitage	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12265X0027/P6
16041	Piézo Petite Ravine amont Les Colimaçons	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12266X0041/PIEZO
16080	Forage P5 Grande Ravine	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12266X0080/P5
21034	Forage S7 la Convenance II	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12271X0034/2-1-S7
21038	S1 Puits ZEC du Chaudron	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12271X0038/S1
21057	Forage F5 Saint-Denis Est	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12271X0057/F5
21059	Forage F3 Duparc	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12271X0059/F3
21066	P22 les Cocos	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12271X0066/P22
22095	P27 Belle Eau	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12272X0095/P27
22137	Forage du Chemin Grimm	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12272X0137/F
23009-2	P14 Champ Borne n°2	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12273X0009/P14
27072	Forage P26 Le Bourbier	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12277X0072/P26
28058	Forage F1 Petit Saint-Pierre les hauts	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12278X0058/F1
32045	Forage F8 Stella Le Portail	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12282X0045/F8
33066	Piézo P3 Pont Neuf forêt domaniale	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12283X0066/P3
37056-3	Piézo n°3 PIB4-C Plaine du Gol	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12287X0056/PIB-4A
37057-2	Piézo n°2 PIB5-B Plaine du Gol	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12287X0057/PIB-5A
37057-3	Piézo n°3 PIB5-C Plaine du Gol	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12287X0057/PIB-5A
37057-4	Piézo n°4 PIB5-D Plaine du Gol	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12287X0057/PIB-5A
38063	Forage PIB7 Pierrefonds village	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0063/PIB-7
38065	Forage F15 La Vallée aval Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0065/F15
38067	Piézo F12 aérodrome Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0067/F12
38070	Forage F10 ravine des Cabris Syndicat Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0070/F10
38071	Forage F7 Pierrefonds 3	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0071/F7
38072	Forage F9 Dupuis 1 Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0072/F9
38077	Piézo P12 aérogare ch.des pêcheurs	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0077/P12

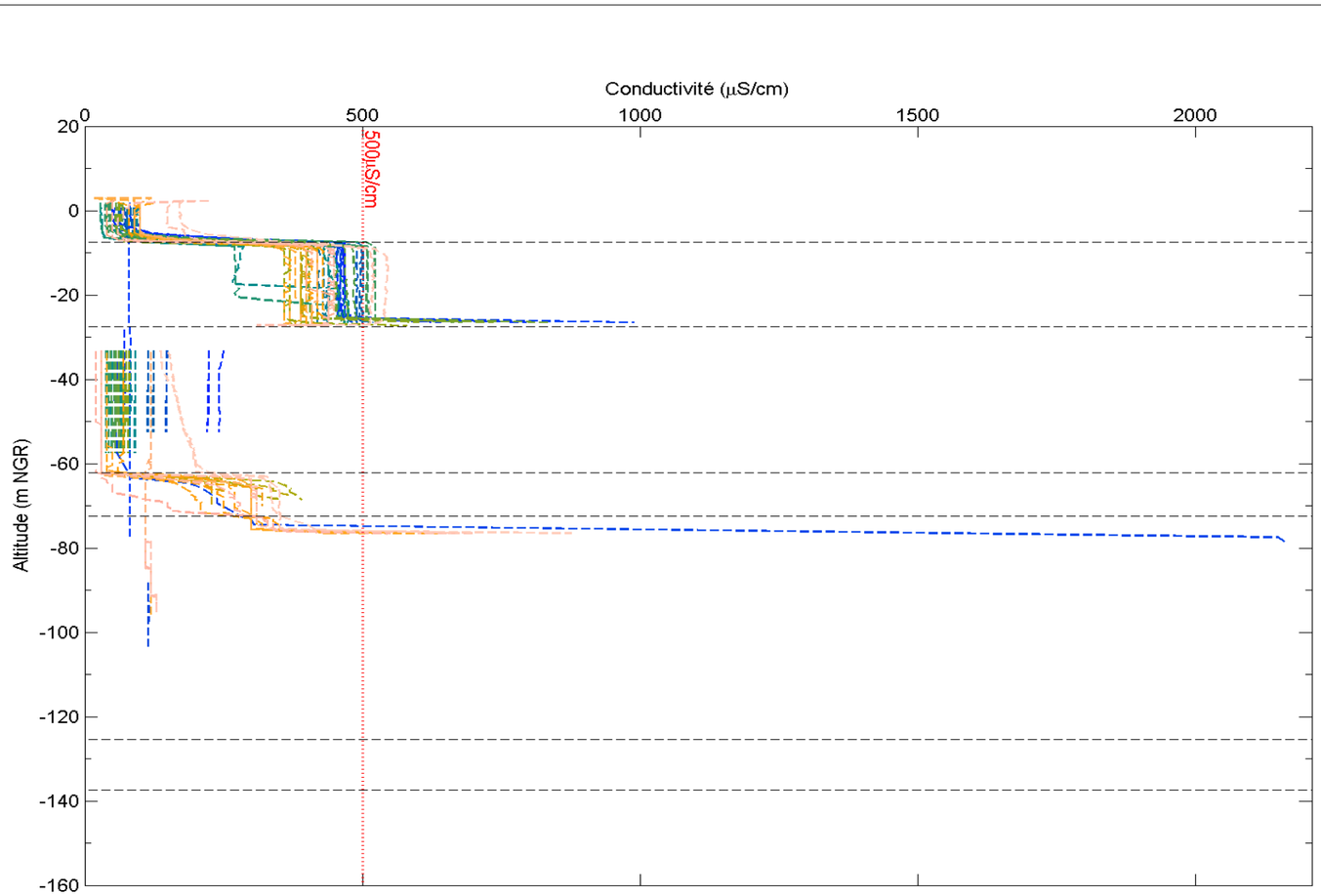
38078	Piézo P11 Syndicat aval Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0078/P11
38087	PIERRE FONDS DUPUIS N.3	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0087/F
38089	Forage Ravine Blanche	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0089/PIEZO.
38216	Chemin Salette - ligne paradis	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0216/F
38217	Piezo S2 Caserne Pierrefonds	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12288X0217/P
44030	Piton Sainte Rose	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12294X0030/F
45040	Piézo P1 La Cafrine	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12295X0040/P1
46066	Forage F1 Manapany les Bains	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12296X0066/F1
46135	Forage Kerveguen	http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=12296X0135/KER

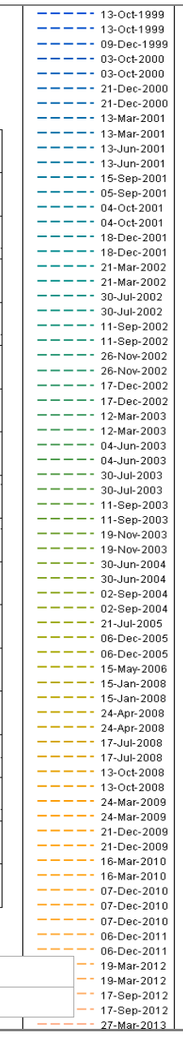
Annexe 2 : Fiches synthétiques sur l'analyse de représentativité du réseau

Code Office de l'eau :	**12056 A-C**
Secteur d'étude :	Le Port

Nom usuel :	P3 lot. Cotur
Code BSS :	12262X0056/P3

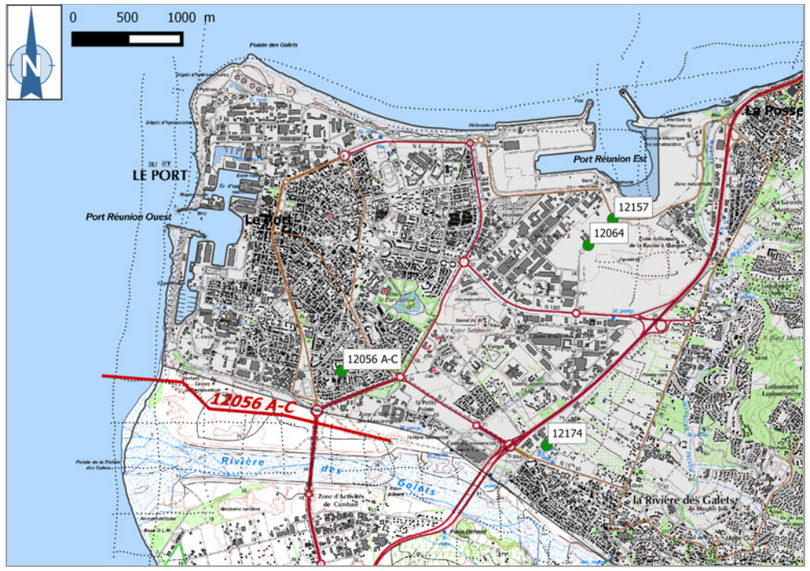
X (m NGR)	322905
Y (m NGR)	7682510
Altitude (m NGR)	42.51
Profondeur (m NGR)	-139.77





Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

La construction des logs CE des flutes de pans reprend les données mesurées dans les piézomètres A, B et C.



Interprétation log

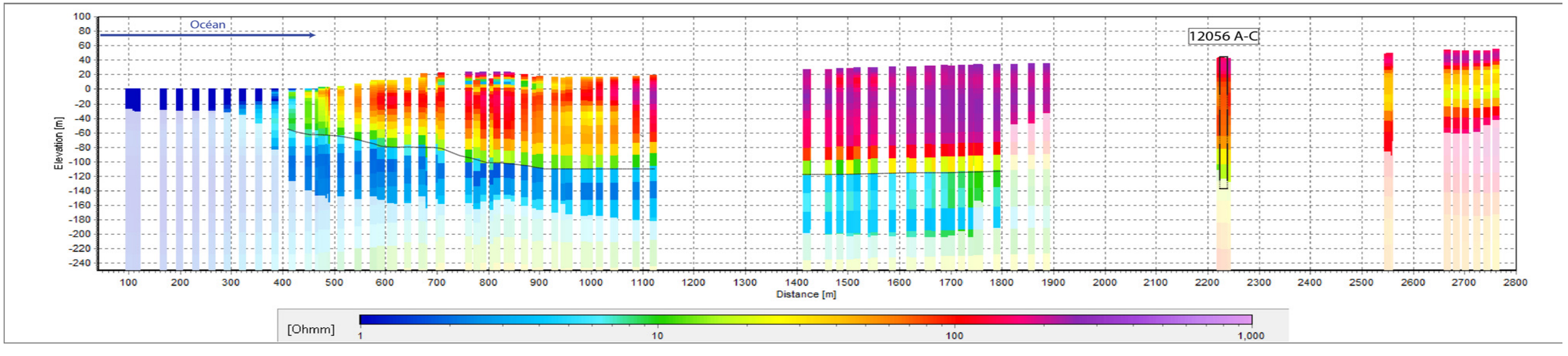
Pas d'intrusion saline repérée dans les piézomètres A et B. Problème de mesure dans la crépine C à cause de la sonde CE.

Interprétation AEM

Le contraste de résistivité présent à -120m NGR peut être assimilié à la présence d'eau océanique.

Représentativités du point RIS

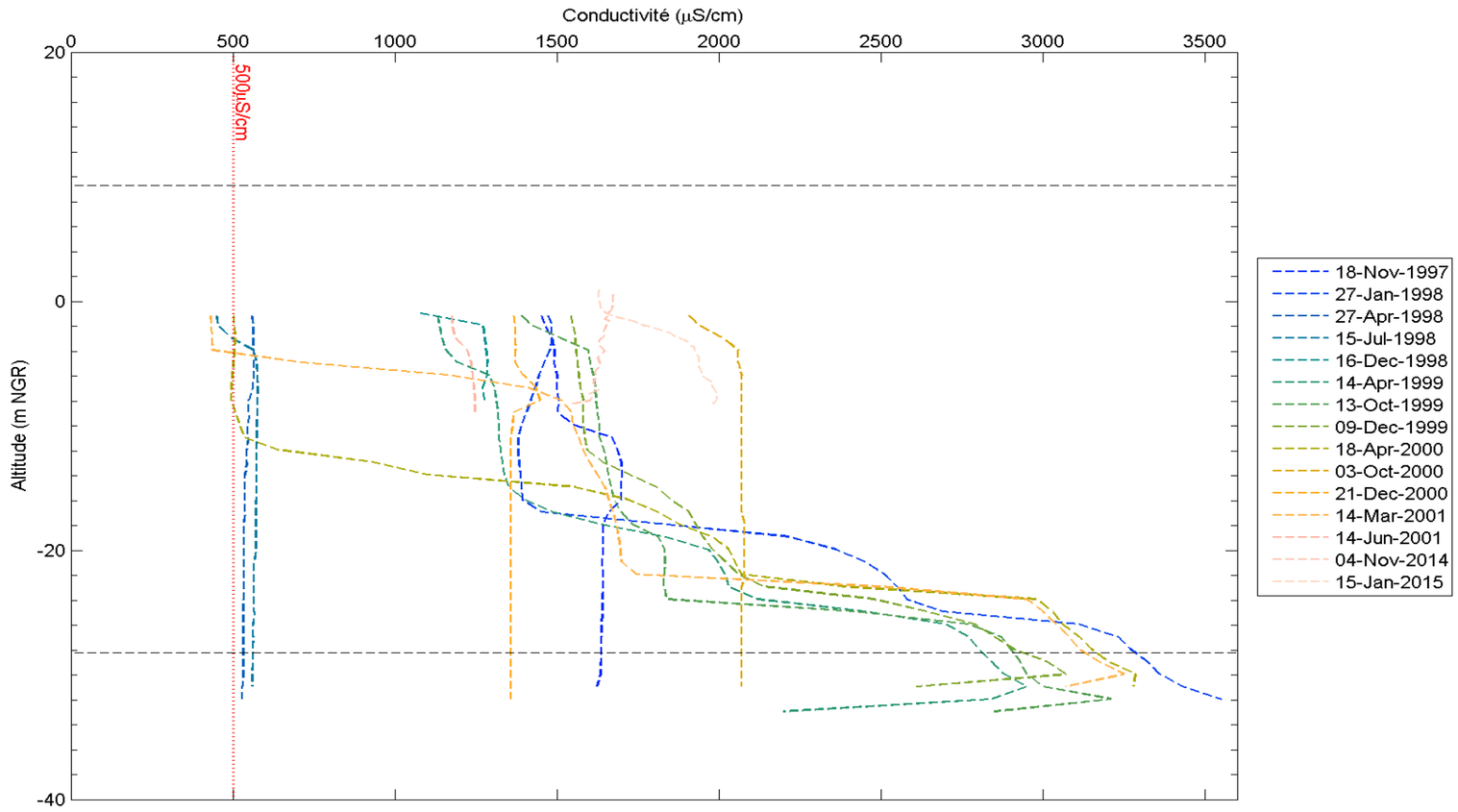
Nécessité d'investiguer à plus de 160m de profondeur (-120m NGR) afin d'avoir l'intégralité de l'intrusion saline (avec une sonde CE adaptée dans le piézomètre P3-C).



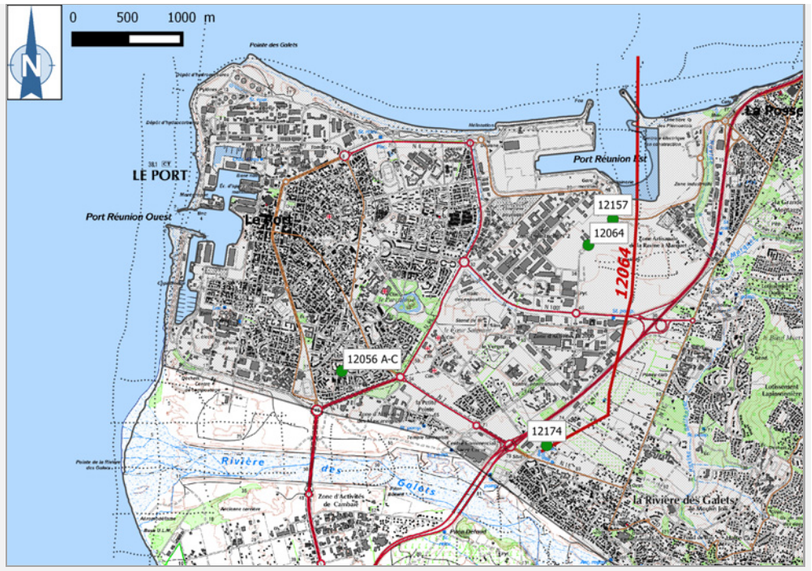
Code Office de l'eau :	**12064**
Secteur d'étude :	Le Port

Nom usuel :	FT-5
Code BSS :	12262X0064/FT-5A

X (m NGR)	325181
Y (m NGR)	7683675
Altitude (m NGR)	34.08
Profondeur (m NGR)	-62.63



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

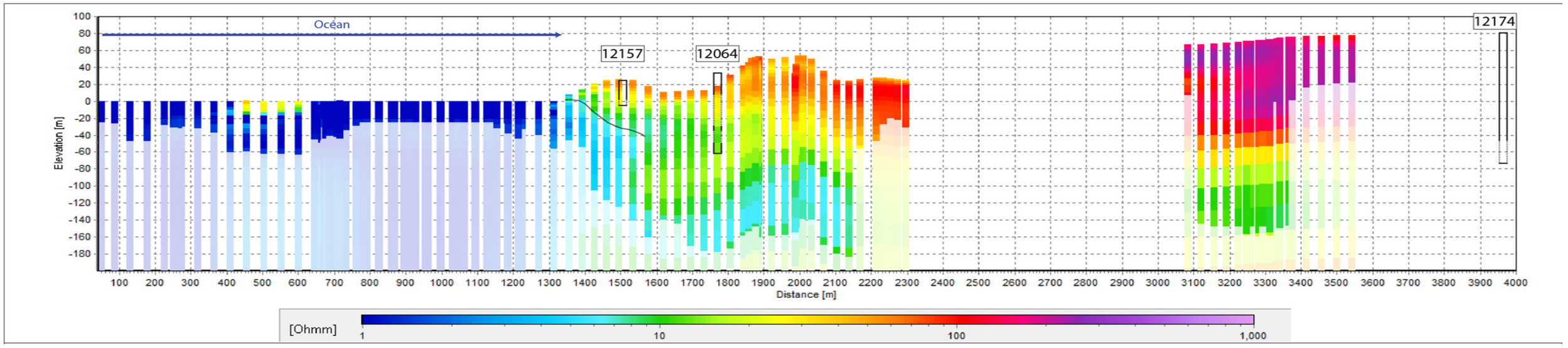
Bien que sous influence océanique (jusqu'à environ 3000 µS/cm), les logs ne recoupent pas l'interface eau douce / eau salée (haut de la zone de diffusion ?).

Interprétation AEM

Entre 0 et 80m de profondeur, la géophysique image un conducteur pouvant représenter une intrusion saline.
Par contre en profondeur la géométrie est moins explicite. (i) Elle peut être reliée à d'autres facteurs (eaux salées anciennes ou autre processus de contamination…). (ii) Elle pourrait être perturbée par des artéfacts d'inversion pouvant être dû à : apriori pas adapté, inversion smooth et inversion/interpolation en fonction de la profondeur et non de l'altitude.

Représentativités du point RIS

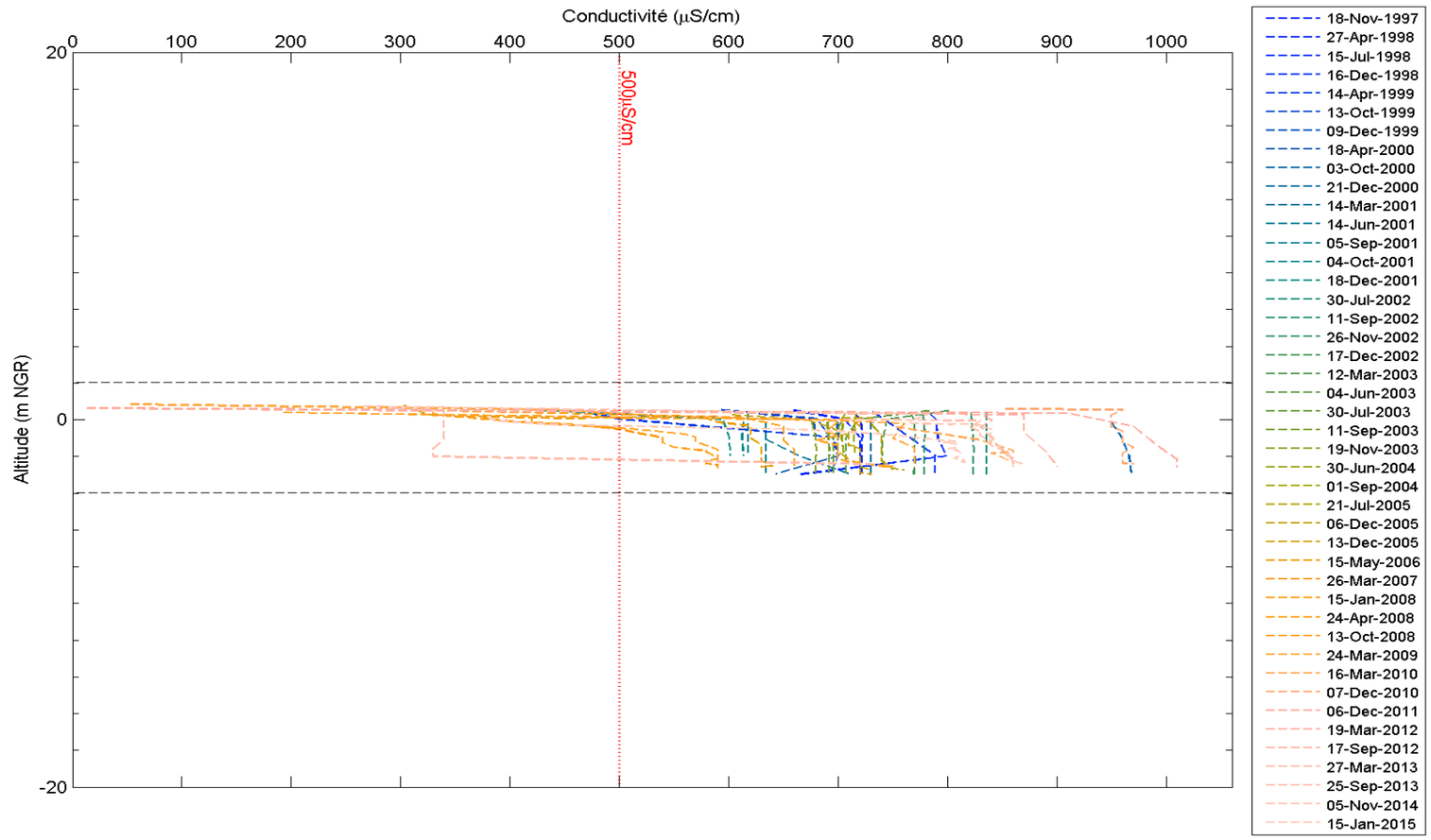
Le profil est antérieur des dépots de dragage du port (pollution en fin 2015).
Ce piézomètre est intéressant pour (i) suivre les variations de la zones de mélange de l'intrusion saline et (ii) suivre l'évolution de la contamination au droit de la zone de stockage.


Océan
12157
12064
12174
Elevation [m]
Distance [m]
[Ohmm]
1
10
100
1,000

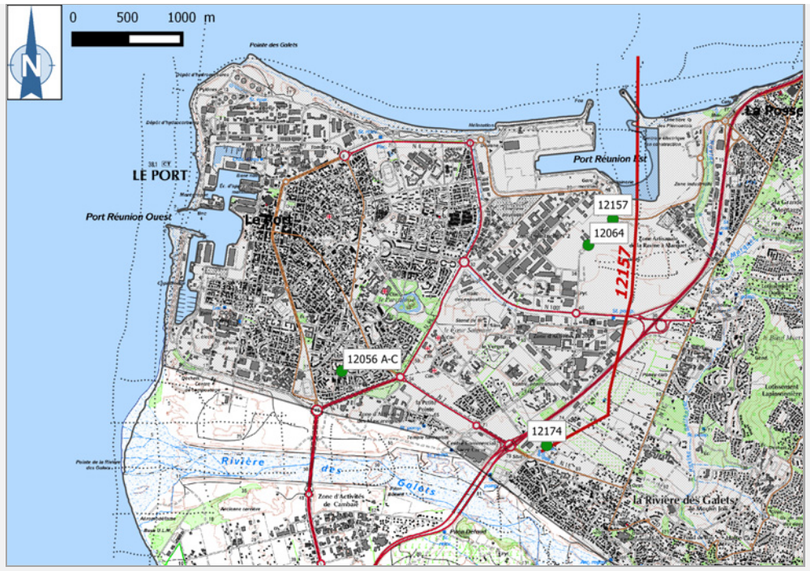
Code Office de l'eau :	**12157**
Secteur d'étude :	Le Port

Nom usuel :	F3 port nord
Code BSS :	12262X0157/F3

X (m NGR)	325407
Y (m NGR)	7683915
Altitude (m NGR)	26.04
Profondeur (m NGR)	-3.96



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

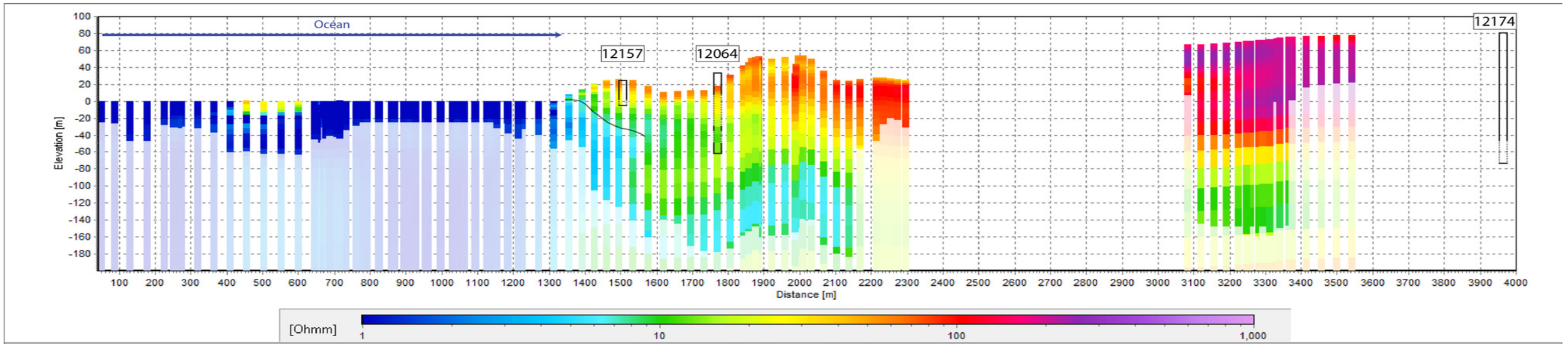
Bien que sous influence océanique (jusqu'à environ 3000 µS/cm), les logs ne recoupent pas l'interface eau douce / eau salée (haut de la zone de diffusion ?).

Interprétation AEM

Entre 0 et 80m de profondeur, la géophysique image un conducteur pouvant représenter une intrusion saline.
Par contre en profondeur la géométrie est moins explicite. (i) Elle peut être reliée à d'autres facteurs (eaux salées anciennes ou autre processus de contamination…). (ii) Elle pourrait être perturbée par des artéfacts d'inversion pouvant être dû à : apriori pas adapté, inversion smooth et inversion/interpolation en fonction de la profondeur et non de l'altitude.

Représentativités du point RIS

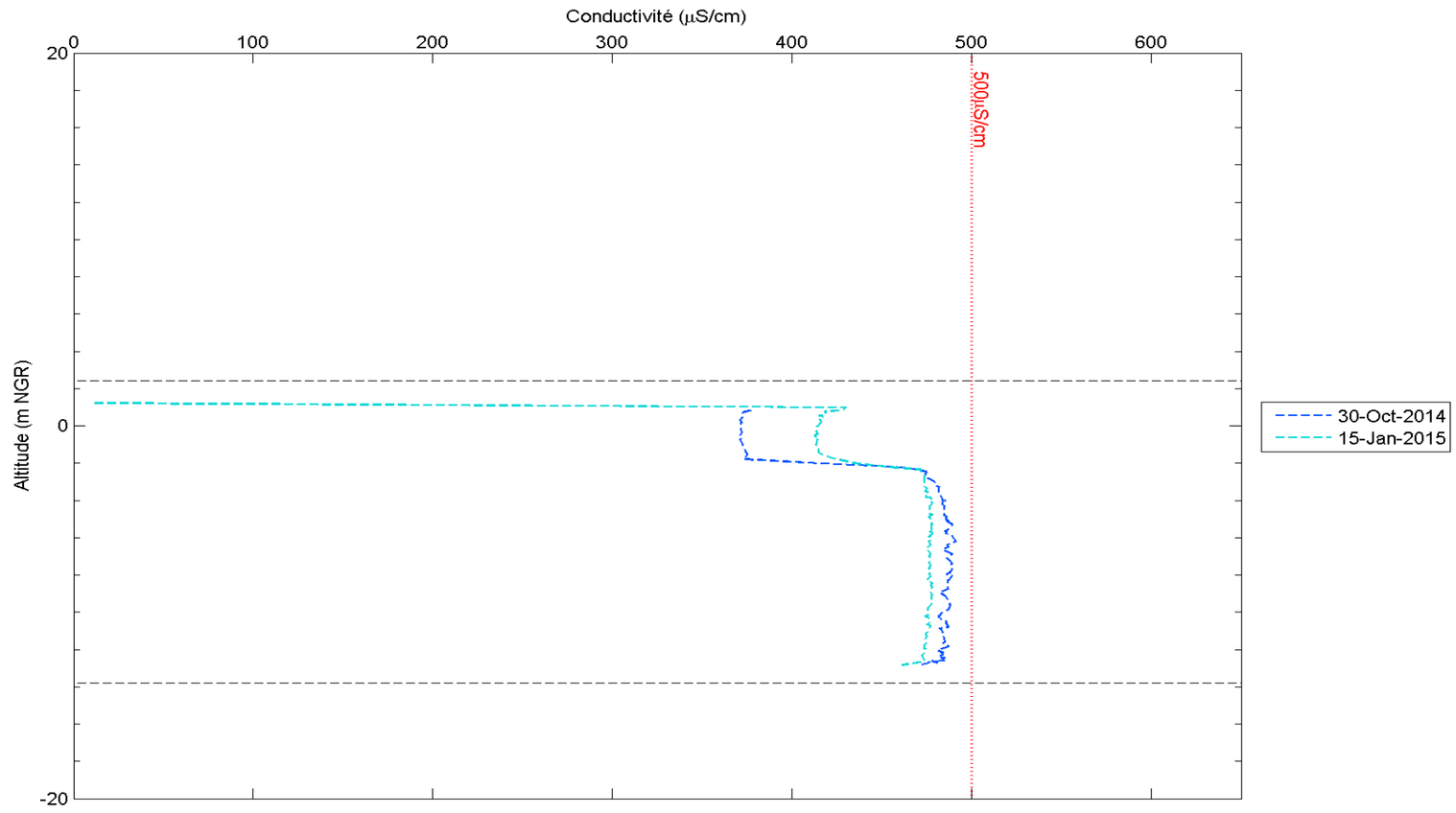
Le profil est antérieur des dépots de dragage du port (pollution en fin 2015).
Ce piézomètre est intéressant pour (i) suivre les variations de la zones de mélange de l'intrusion saline et (ii) suivre l'évolution de la contamination au droit de la zone de stockage.


Océan
12157
12064
12174
Elevation [m]
Distance [m]
[Ohmm]
1
10
100
1,000

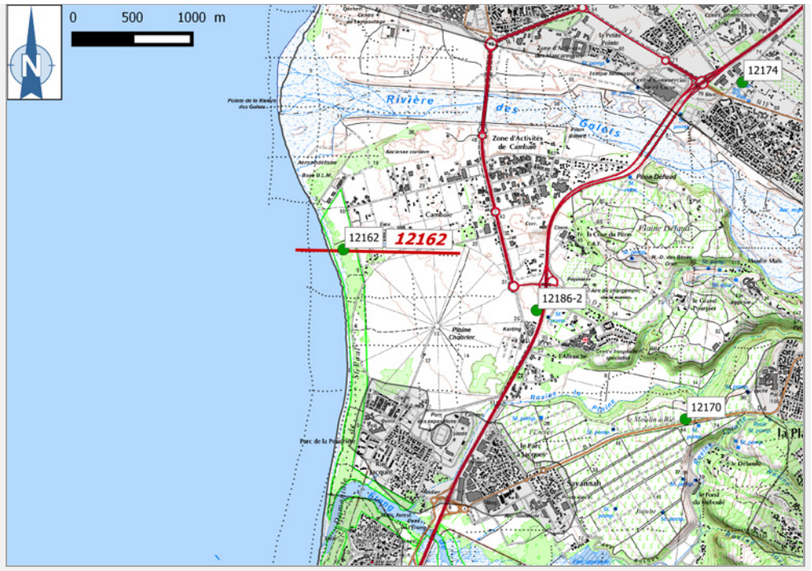
Code Office de l'eau :	**12162**
Secteur d'étude :	St-Paul

Nom usuel :	S3 Oméga
Code BSS :	12262X0162/S3

X (m NGR)	321429
Y (m NGR)	7680410
Altitude (m NGR)	6.2
Profondeur (m NGR)	-13.8



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

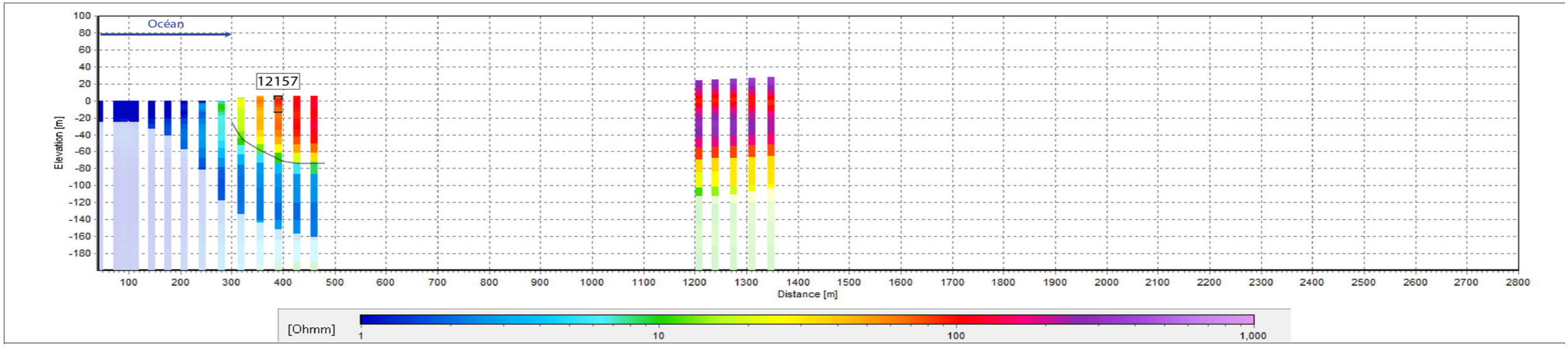
Intrusion saline non mesurée.

Interprétation AEM

L'AEM image clairement un conducteur pouvant être relié à l'intrusion saline (-60m NGR au droit du piézomètre).

Représentativités du point RIS

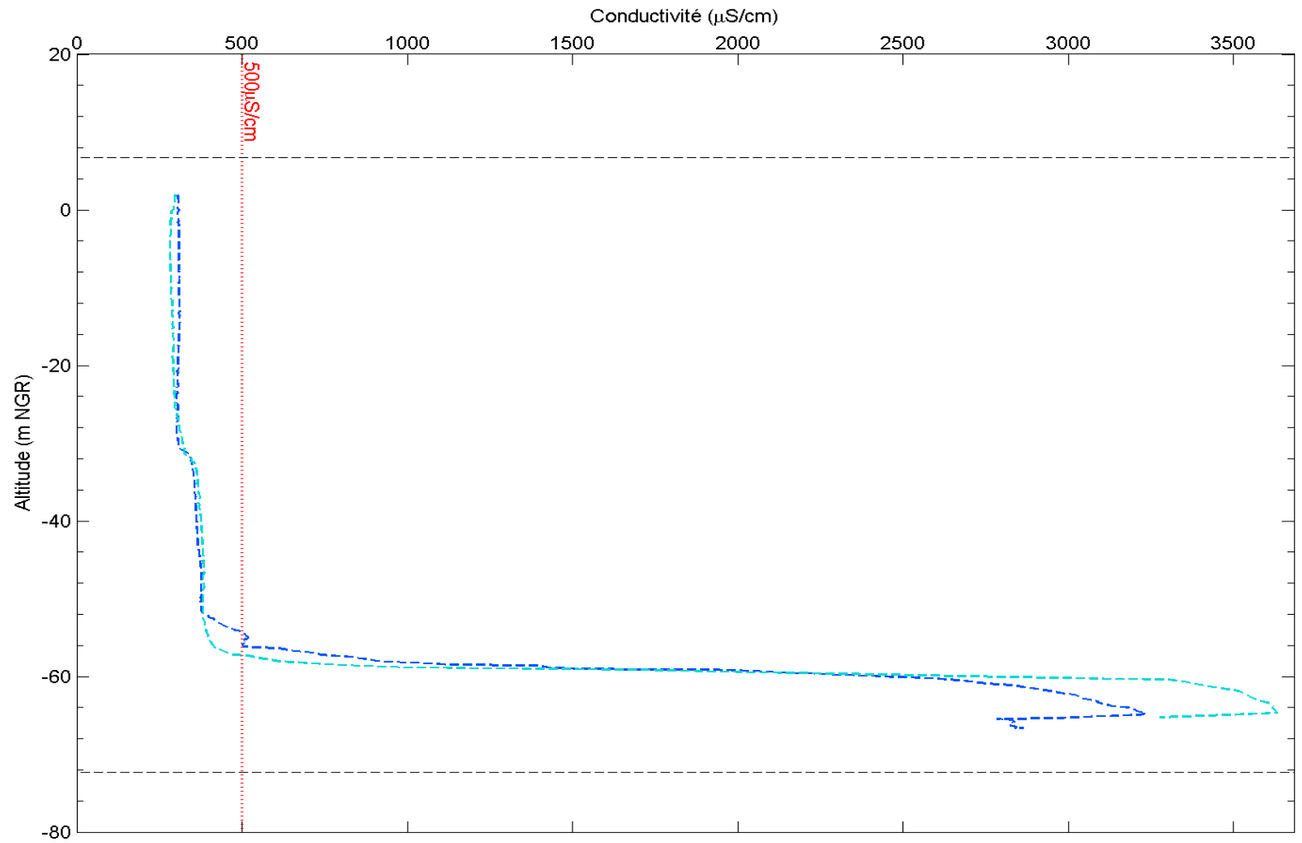
L'intrusion saline imagée par l'AEM est profonde et surement lié à un régime hydrogéologique particulier (recharge depuis l'amont , rivière des galets. De plus K ≈10-4 m/s et H ≈3/4 m).
L'ouvrage est peu profond par rapport à l'intrusion saline, il n'est pas adapté pour suivre l'évolution de l'intrusion saline.


Océan
12157
Elevation [m]
Distance [m]
[Ohmm]
1
10
100
1,000

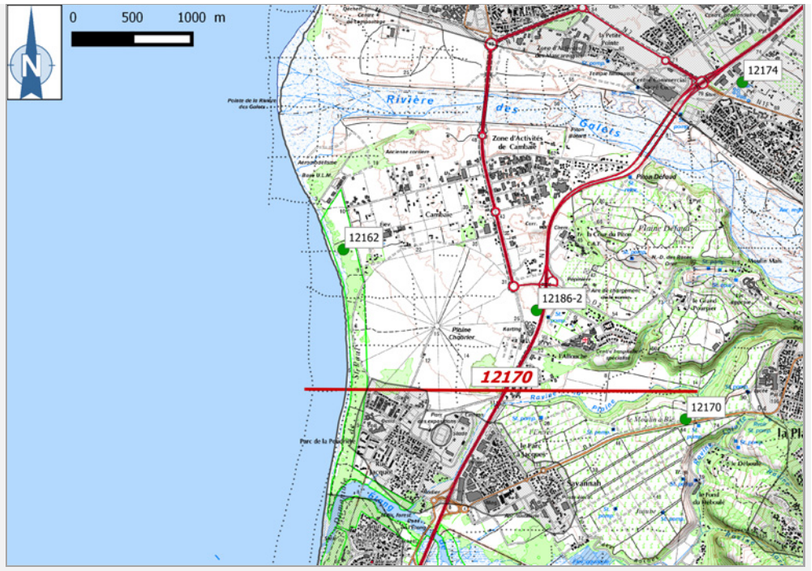
Code Office de l'eau :	**12170**
Secteur d'étude :	St-Paul

Nom usuel :	P13 Cambaie
Code BSS :	12262X0170/P13

X (m NGR)	324317
Y (m NGR)	7678976
Altitude (m NGR)	67.69
Profondeur (m NGR)	-72.31



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

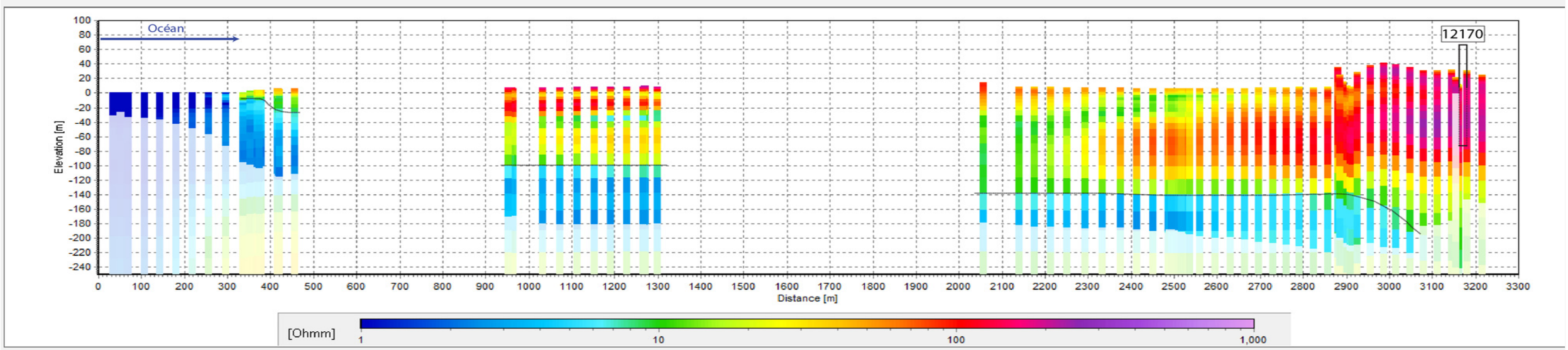
Eau minéralisée en fond d'ouvrage, environ 3000/3500 µS/cm à -60 m NGR.
Le log CE est éloigné du profil AEM avec une différence de morphologie et de topographie.

Interprétation AEM

Dans la zone de l'étang de St-Paul, deux conducteurs ont été identifiés (vers -40m NGR et -100 m NGR). La géométrie du plus profond correspond à une intrusion saline. Par contre, le manque de donnée pour le conducteur supérieur ne permet pas de déterminer l'origine de l'anomalie conductrice (eau salée ancienne …).

Représentativités du point RIS

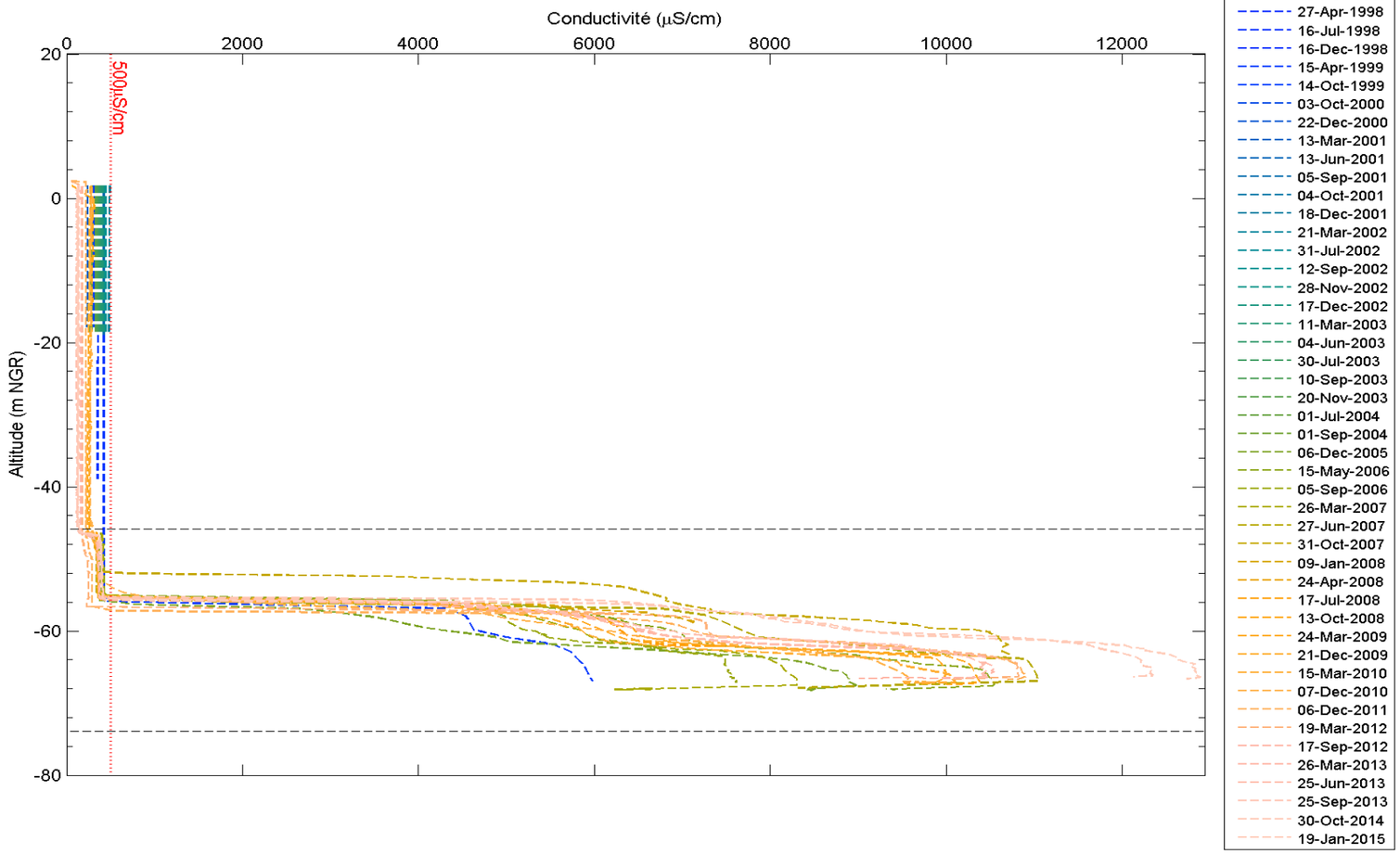
Des analyses hydrochimiques/isotopiques pourraient permettre de caractériser le processus à l'origine de la minéralisation de l'eau vers -40/-60 m NGR.
Ce point semble être adapté pour imager le toit de l'intrusion saline.



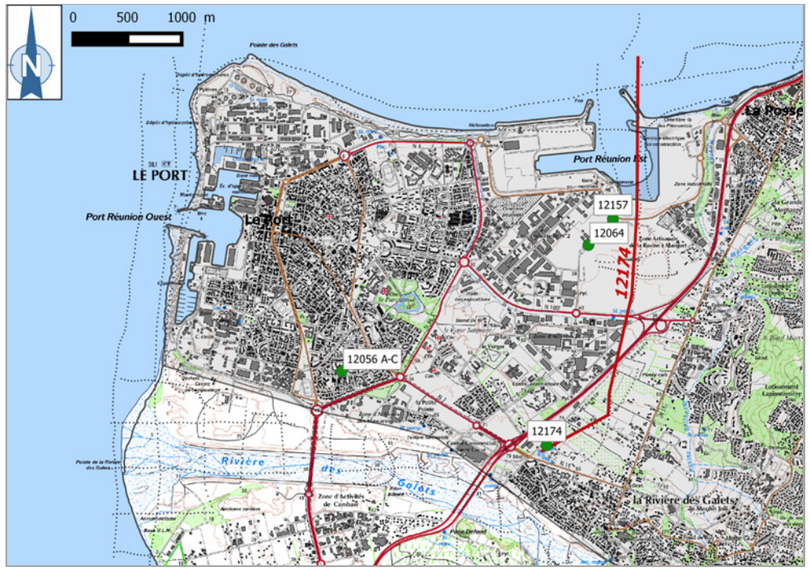
Code Office de l'eau :	**12174**
Secteur d'étude :	Le Port

Nom usuel :	P3 Sacré Cœur
Code BSS :	12262X0174/P3

X (m NGR)	324796
Y (m NGR)	7681824
Altitude (m NGR)	81.12
Profondeur (m NGR)	-73.88



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

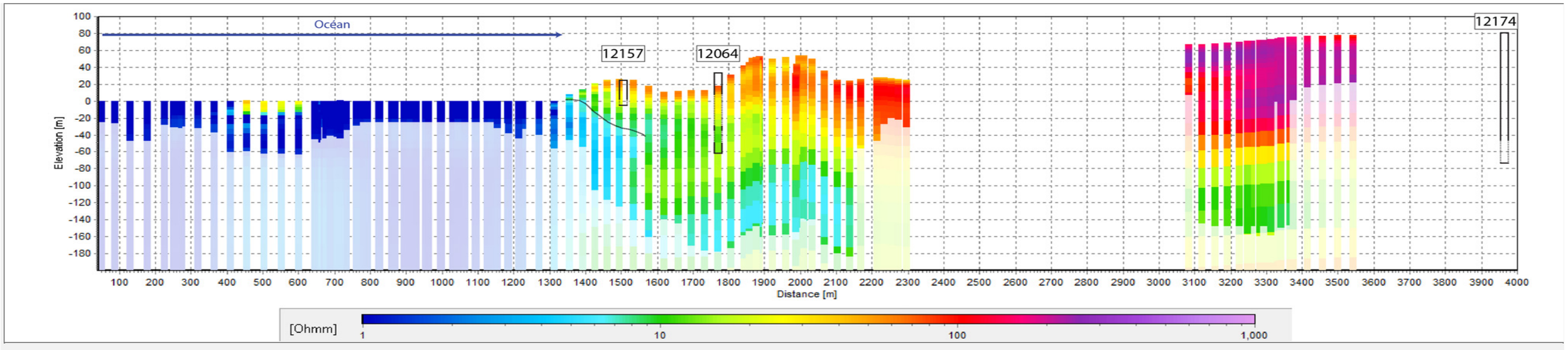
Les logs CE imagent très clairement le toit de l'interface eau douce / eau saline jusqu'à 12 mS/cm.

Interprétation AEM

Entre 0 et 80m de profondeur, la géophysique image un conducteur pouvant représenter une intrusion saline.
Par contre en profondeur la géométrie est moins explicite. (i) Elle peut être reliée à d'autres facteurs (eaux salées anciennes ou autre processus de contamination…). (ii) Elle pourrait être perturbée par des artéfacts d'inversion pouvant être dû à : apriori pas adapté, inversion smooth et inversion/interpolation en fonction de la profondeur et non de l'altitude.

Représentativités du point RIS

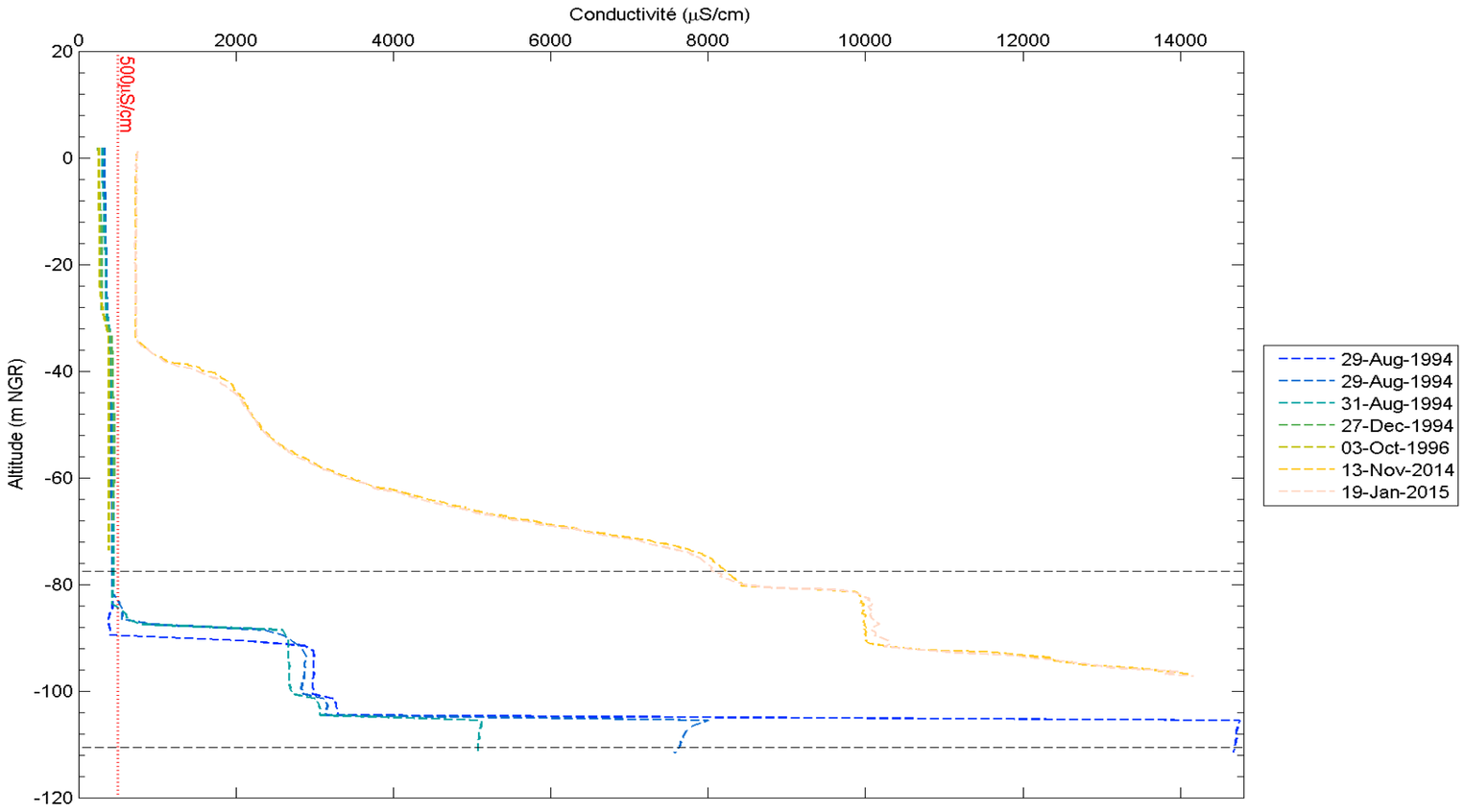
Le point est intéressant pour suivre l'évolution de l'intrusion saline dans le secteur.


Océan
12157
12064
12174
Elevation [m]
Distance [m]
[Ohmm]
1
10
100
1,000

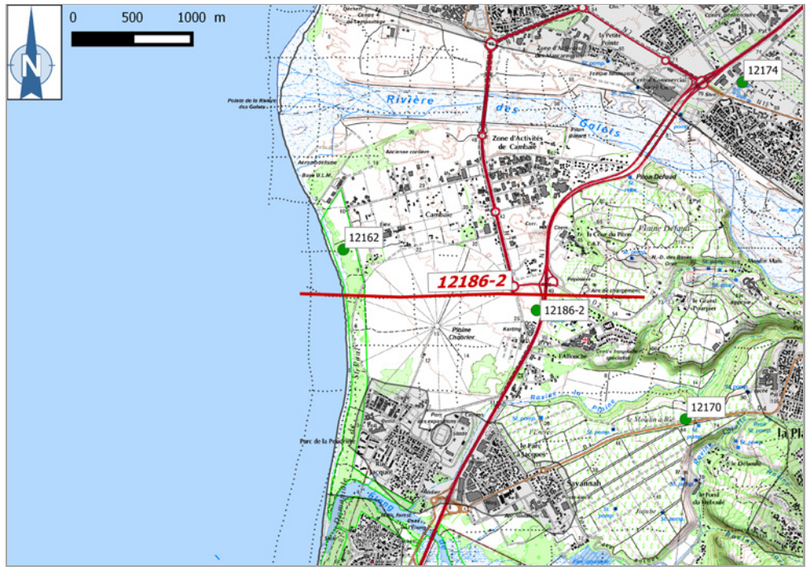
Code Office de l'eau :	**12186-2**
Secteur d'étude :	St-Paul

Nom usuel :	P18 Oméga n°2
Code BSS :	12262X0186/F

X (m NGR)	323060
Y (m NGR)	7679896
Altitude (m NGR)	26.46
Profondeur (m NGR)	-110.54



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

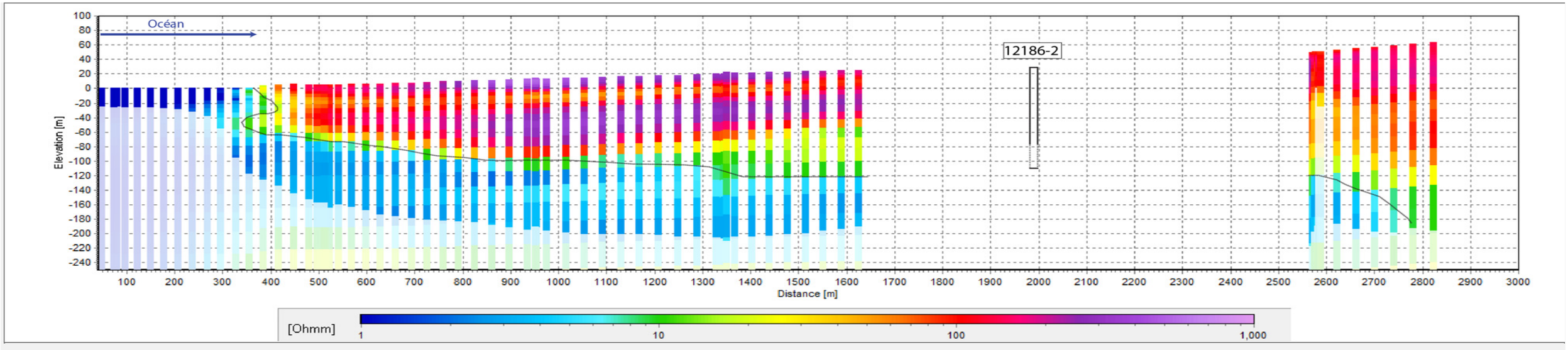
Les logs semblent illustrer une migration de 15 mètres de l'intrusion saline en 20 ans. La donnée au dessus des crépines n'est pas valable.

Interprétation AEM

La géophysique image une intrusion saline avec une tendance horizontale entre -100/-120 m NGR. Néanmoins aucune donnée n'est disponible à proximité du piézomètre.

Représentativités du point RIS

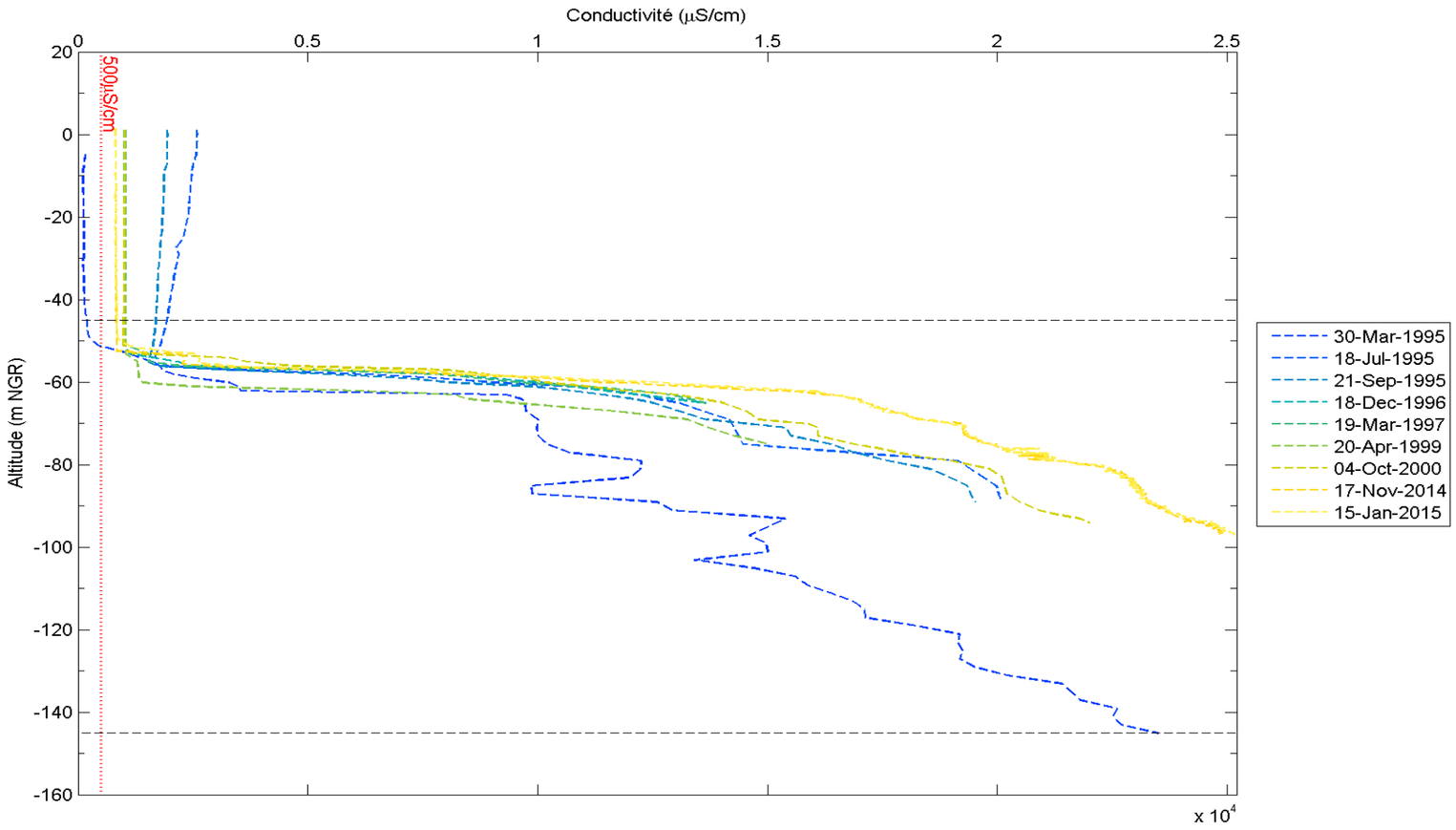
Les logs récents n'investiguent plus jusqu'au fond de l'ouvrage à cause d'un problème de sonde CE.
C'est un piézomètre utile pour suivre l'évolution temporelle de l'intrusion saline.
Il est nécessaire d'adapter la sonde CE à des mesures en dessous de 100m de colonnes d'eau.


Océan
12186-2
Elevation [m]
Distance [m]
[Ohmm]
1
10
100
1,000

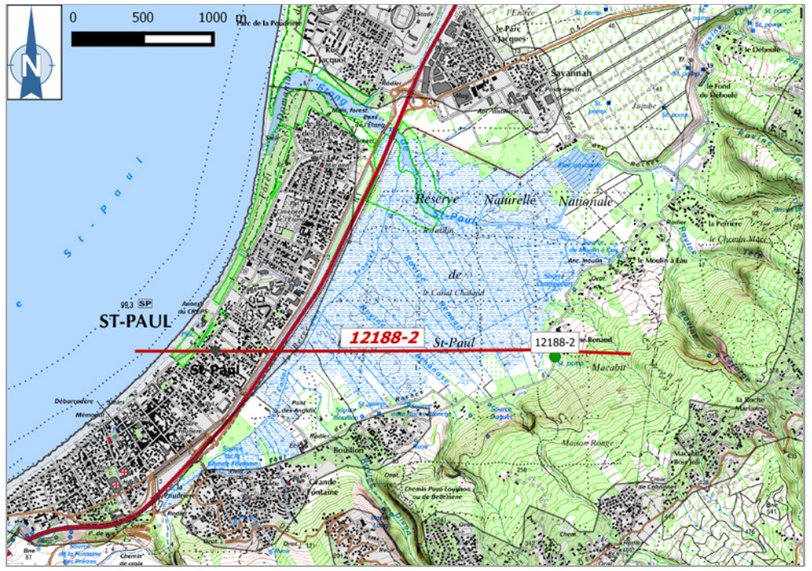
Code Office de l'eau :	**12188-2**
Secteur d'étude :	St-Paul

Nom usuel :	P21-B
Code BSS :	12262X0339/P21-B

X (m NGR)	323342
Y (m NGR)	7676402
Altitude (m NGR)	4.89
Profondeur (m NGR)	-145.11



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

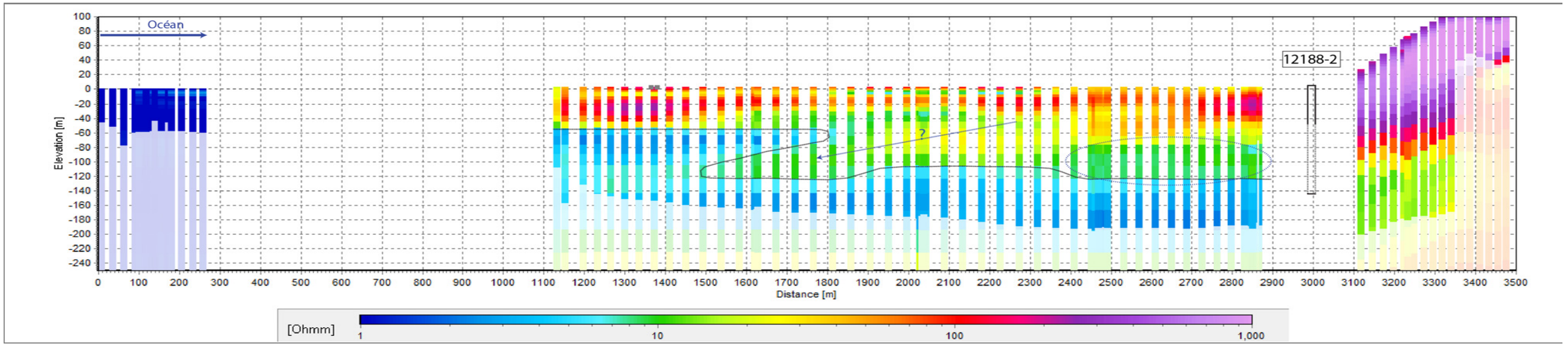
Les logs CE imagent une zone de diffusion importante de 40 m d'épaisseur. Si le problème de la sonde CE est réglé, les logs pourraient imager plus de 80m de zone de diffusion (cf mesure de 1995).

Interprétation AEM

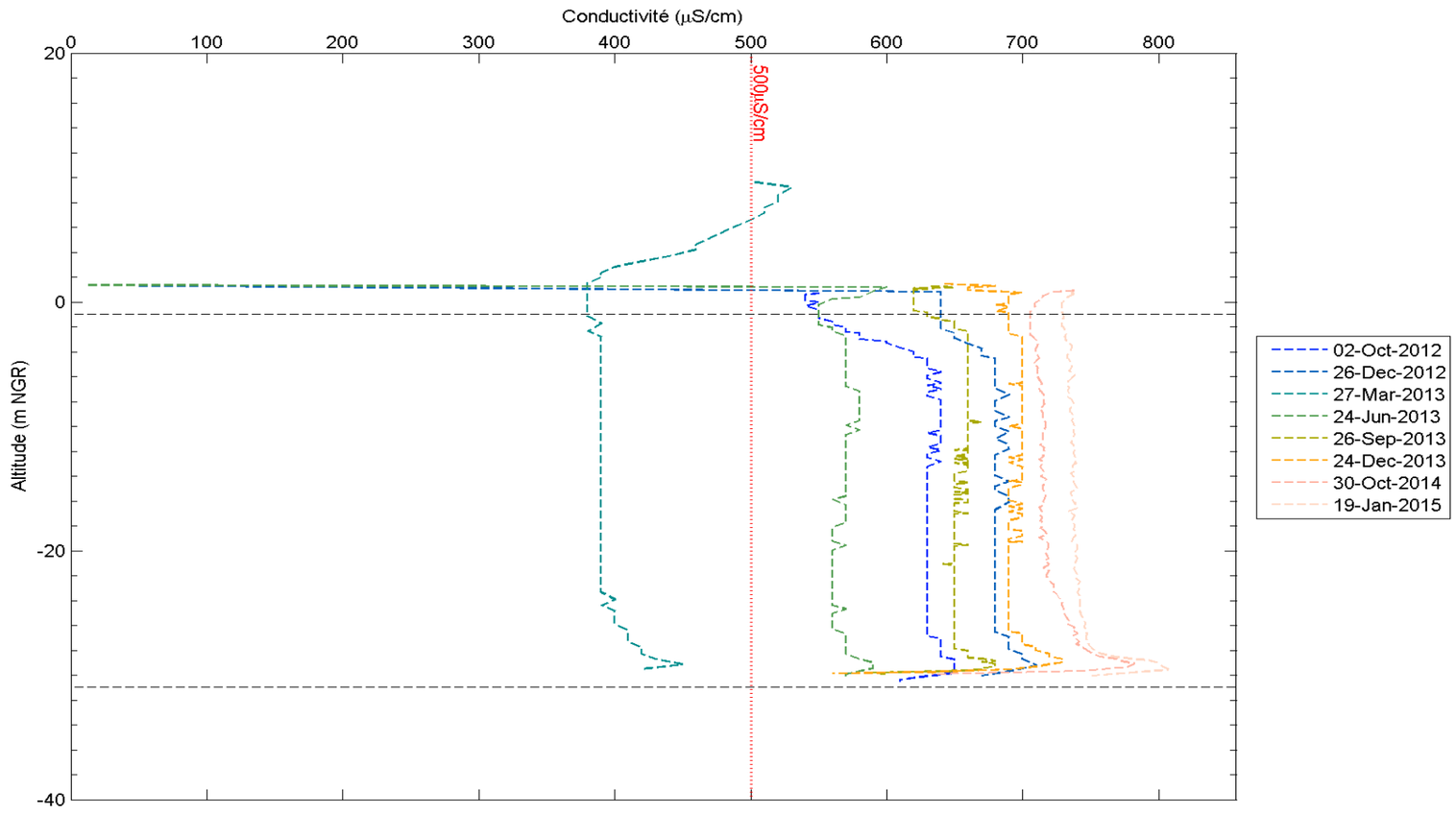
A la limite de la plaine de Cambaie et la planèze, la géophysique image une zone de diffusion de plus de 80 m d'épaisseur à partir de -80m NGR. Cela semble représenter un fonctionnement plus complexe qu'une intrusion saline à faible zone de transition. (contexte géologique détritique).

Représentativités du point RIS

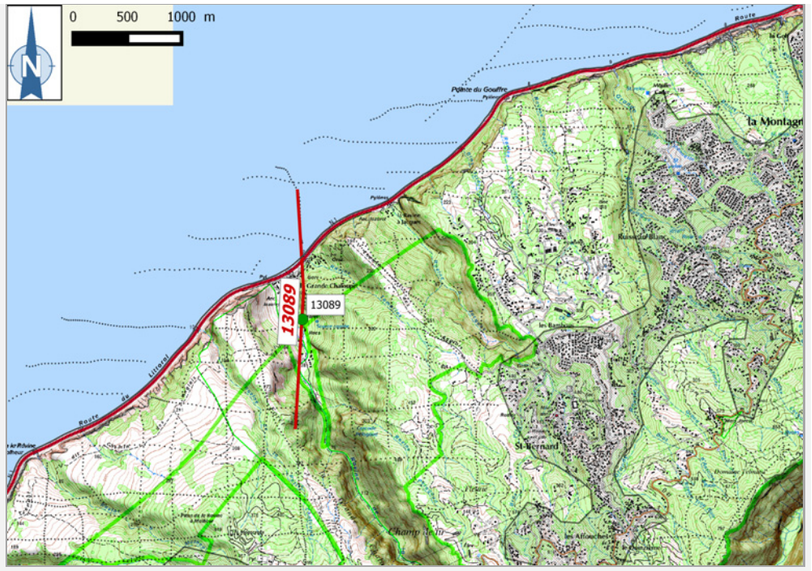
Effectuer des mesures au-delà de 100m de colonne d'eau. Une étude de la géologie et des propriétés hydrochimiques/isotopiques permettrait de caractériser le processus à l'origine de cette épaisse zone de diffusion.



Code Office de l'eau :	**13089**	Nom usuel :	P Gde Chaloupe	X (m NGR)	331196
Secteur d'étude :	La Montagne	Code BSS :	12263X0089/PIEZO	Y (m NGR)	7688021
				Altitude (m NGR)	16.04
				Profondeur (m NGR)	-32.96



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

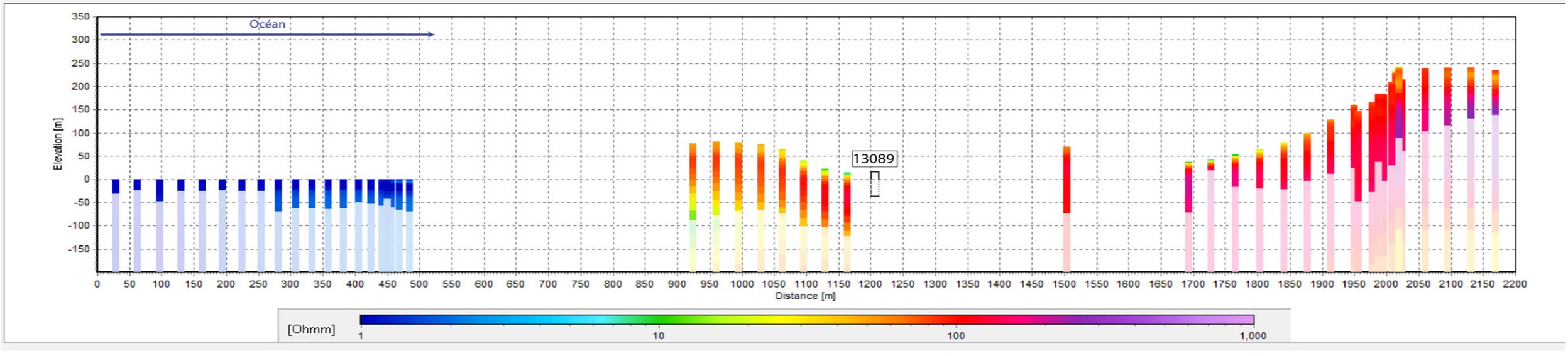
Forage sous influence océanique contrôlé par différent paramètres (recharge, prélèvements, marée...).

Interprétation AEM

Aucune anomalie conductrice pouvant être relié à l'intrusion saline n'a été relevée sur le secteur de la Montagne.

Représentativités du point RIS

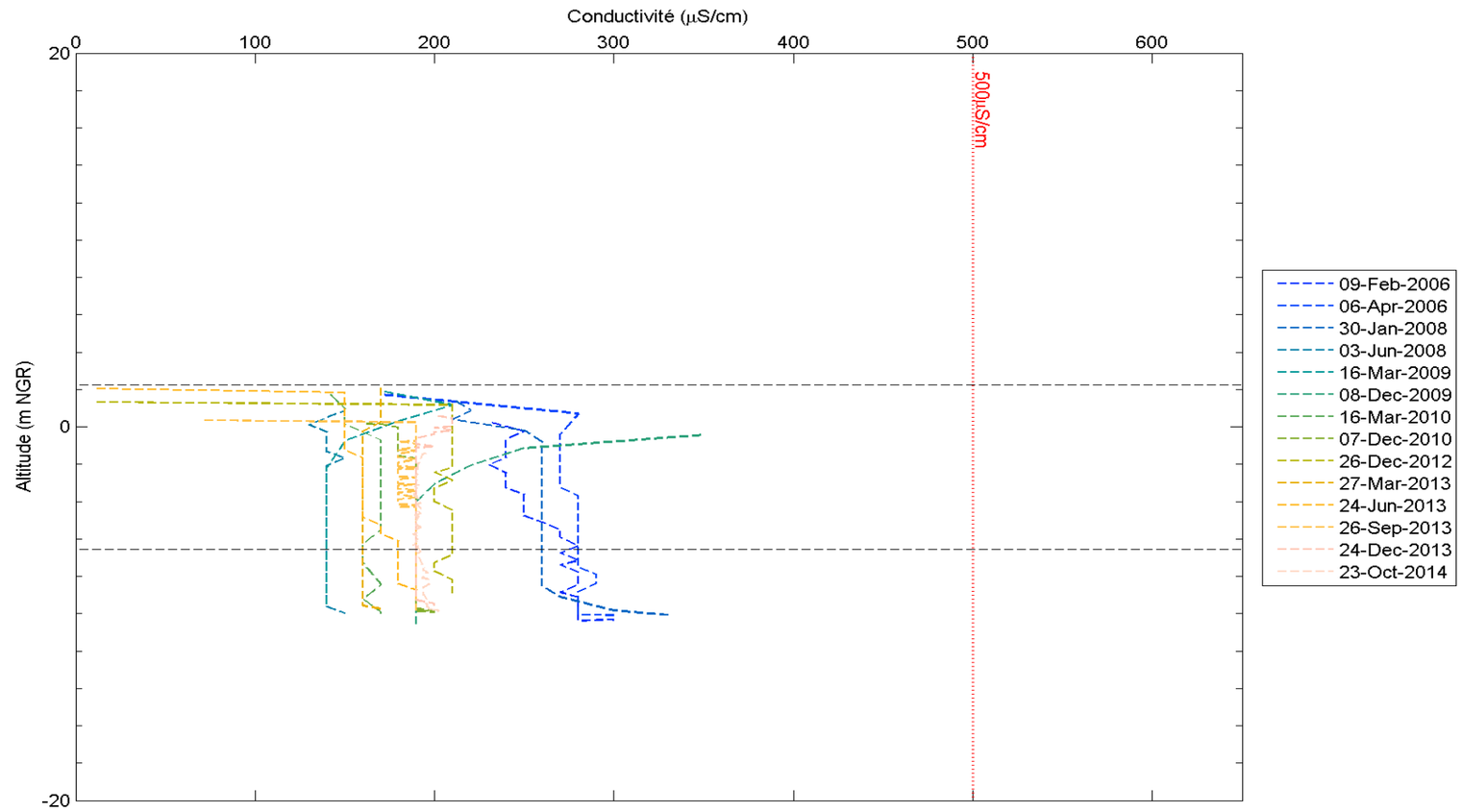
Seul point de suivi du secteur.



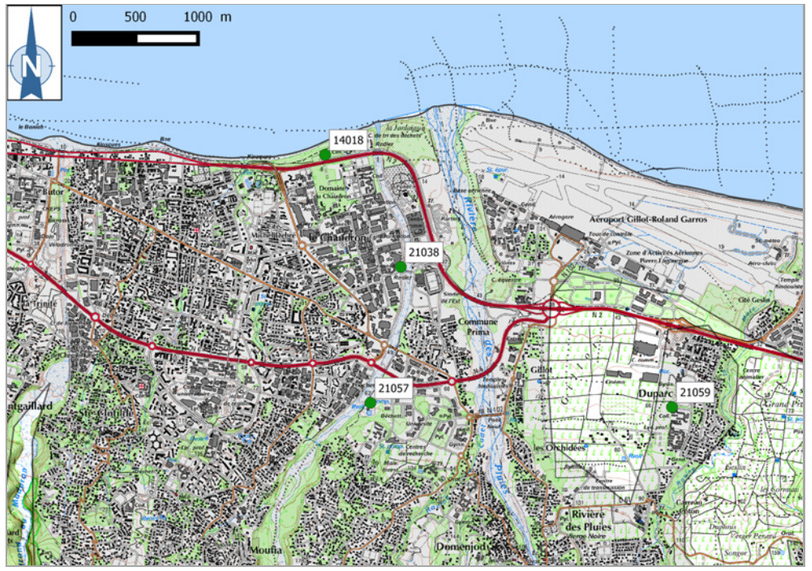
Code Office de l'eau :	**14018**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	Puits Tomi
Code BSS :	12264X0018/F

X (m NGR)	343274
Y (m NGR)	7689759
Altitude (m NGR)	7.45
Profondeur (m NGR)	-8.55



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

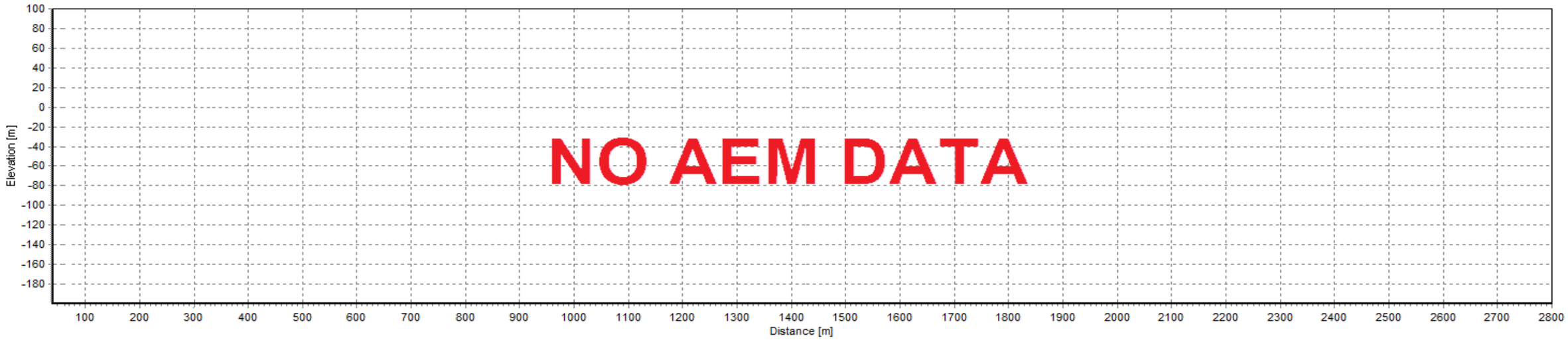
Le forage ne semble pas influencer par la présence de l'océan. Les conductivités sont inférieures à 500 µS/cm.

Interprétation AEM

Aucune données AEM sur le secteur de St-Denis centre.

Représentativités du point RIS

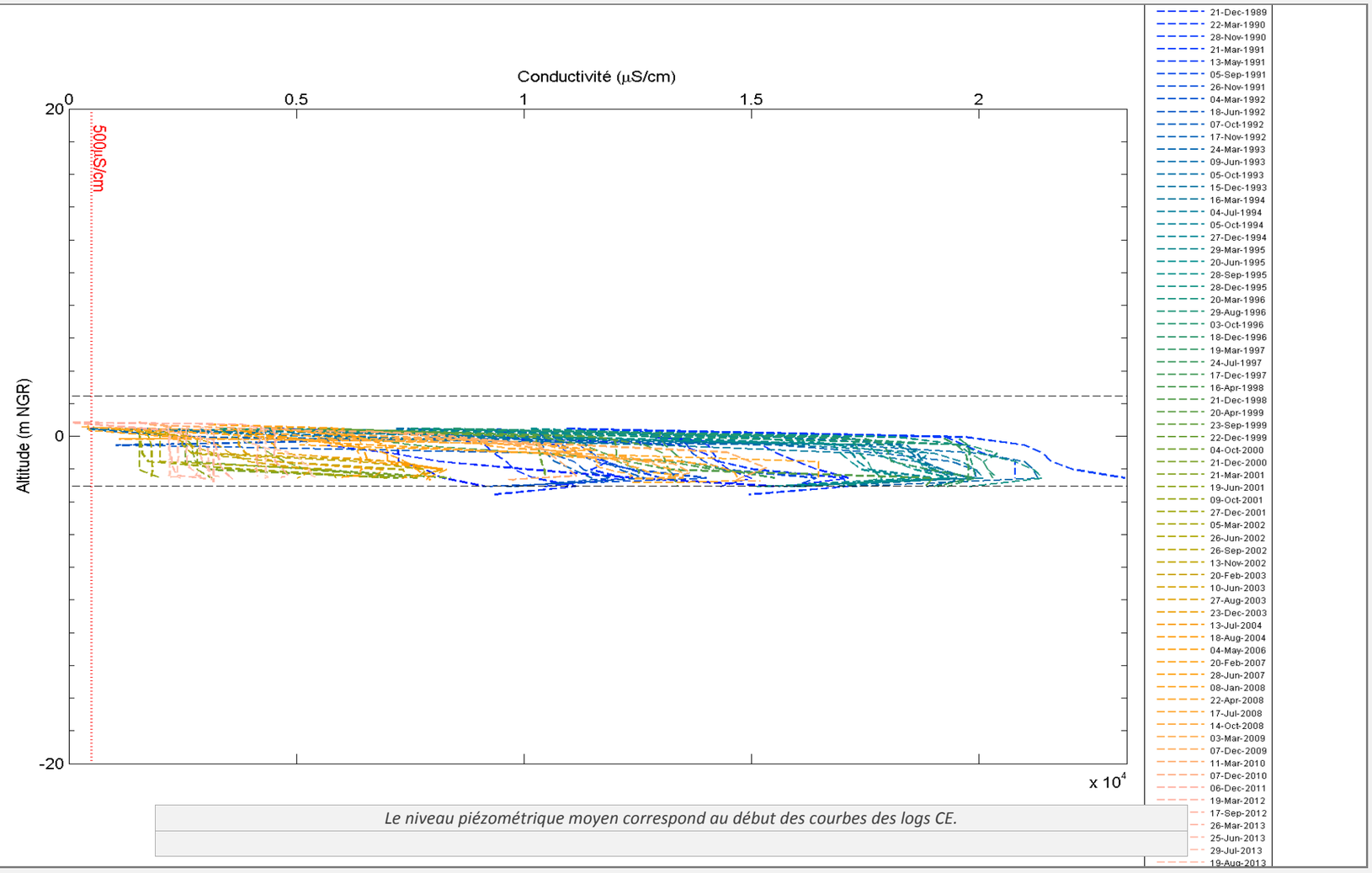
Aucune données AEM. Aucun indice de pollution par des intrusions salines, un suivi moins réguliers (1 à 2 fois par an) serait peut être plus aproprié.



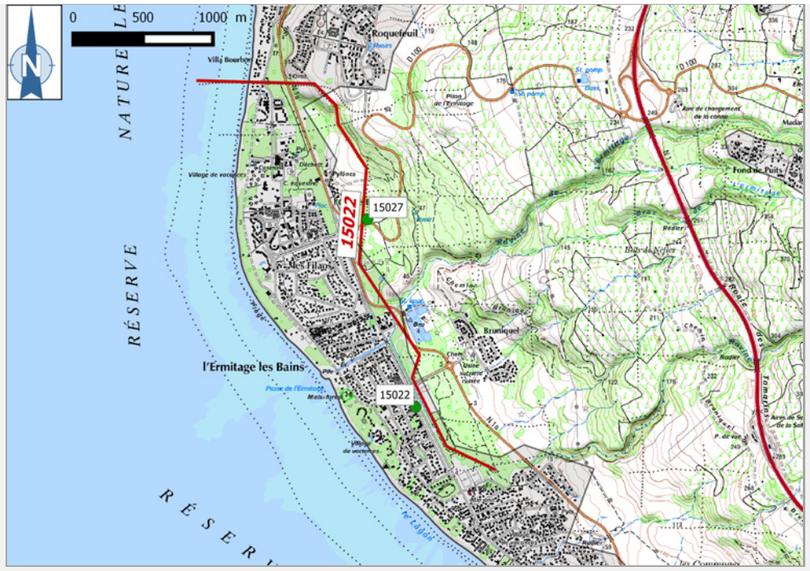
Code Office de l'eau :	**15022**
Secteur d'étude :	St-Gilles

Nom usuel :	ZBS5 Ermitage Lot. Dayo
Code BSS :	12265X0022/ZBS-5

X (m NGR)	316387
Y (m NGR)	7667277
Altitude (m NGR)	2.45
Profondeur (m NGR)	-3.05



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

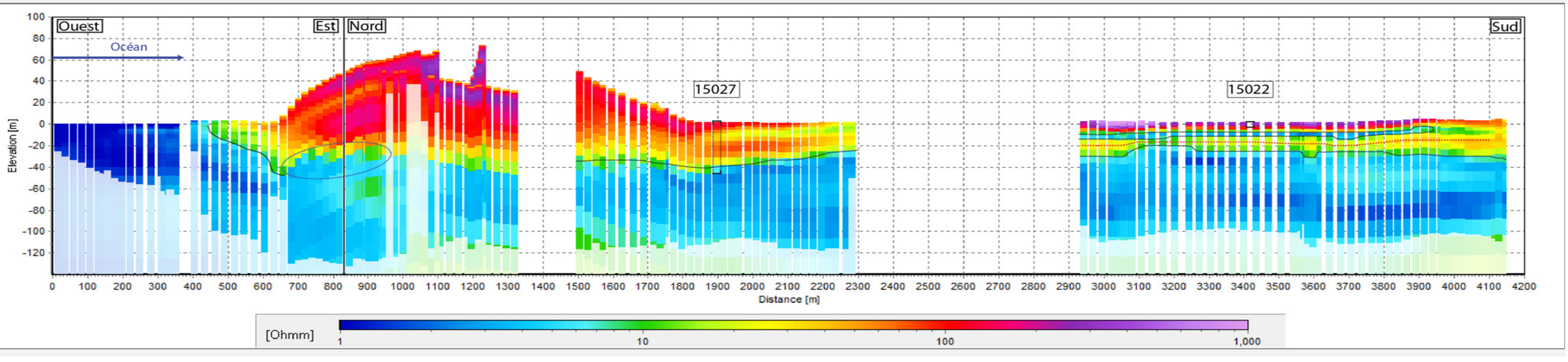
La salinisation de l'ouvrage décroît avec le temps. Il est fort probable que le rejet de la STEU de l'Ermitage contribue à recharger la nappe des sables en eau douce.

Interprétation AEM

L'AEM met en évidence un contact entre les formations détritiques littoral et les basaltes (± -20 m NGR).

Représentativités du point RIS

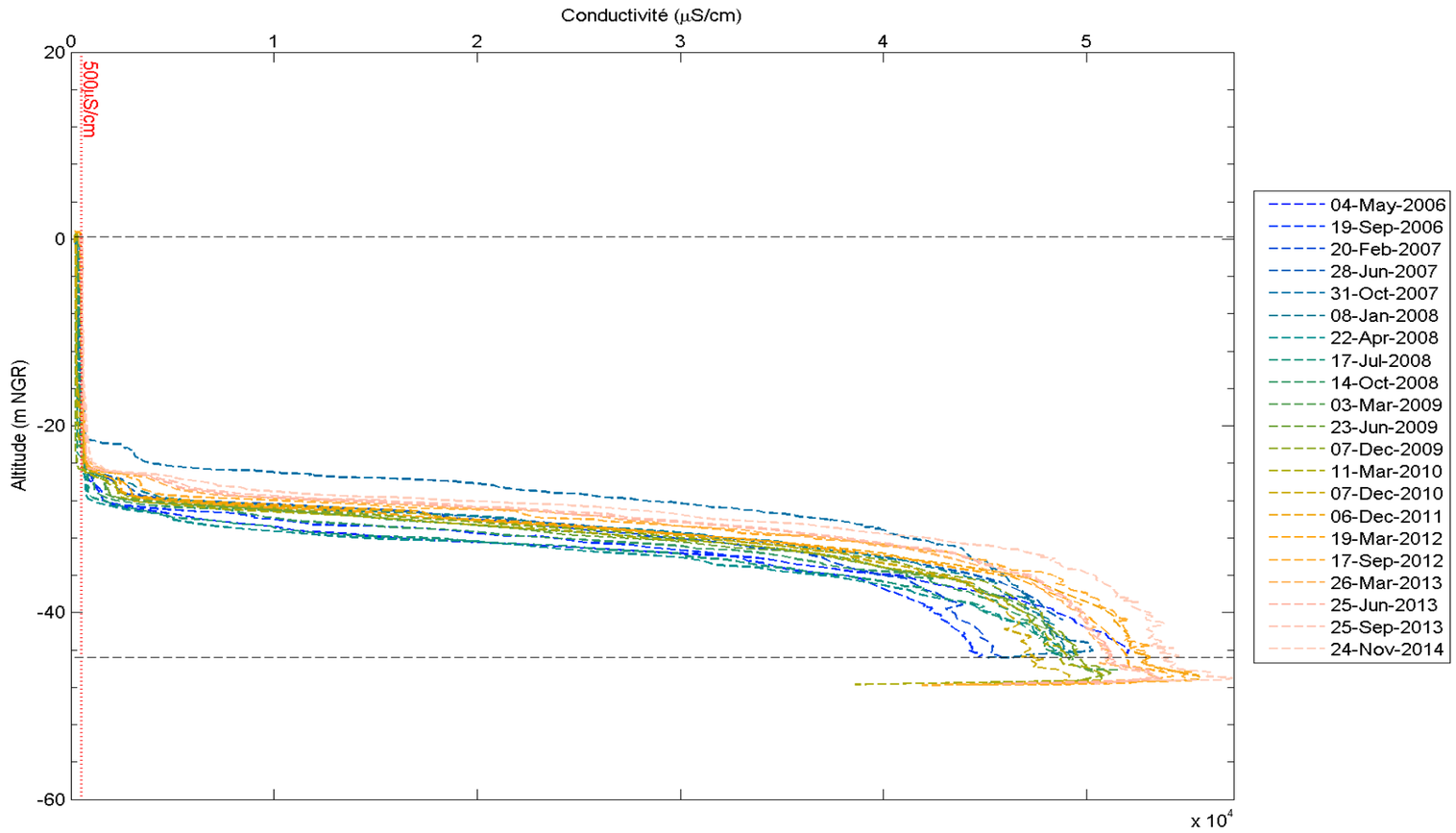
Permet de suivre uniquement la nappe des sables sous influence des rejets de STEU.



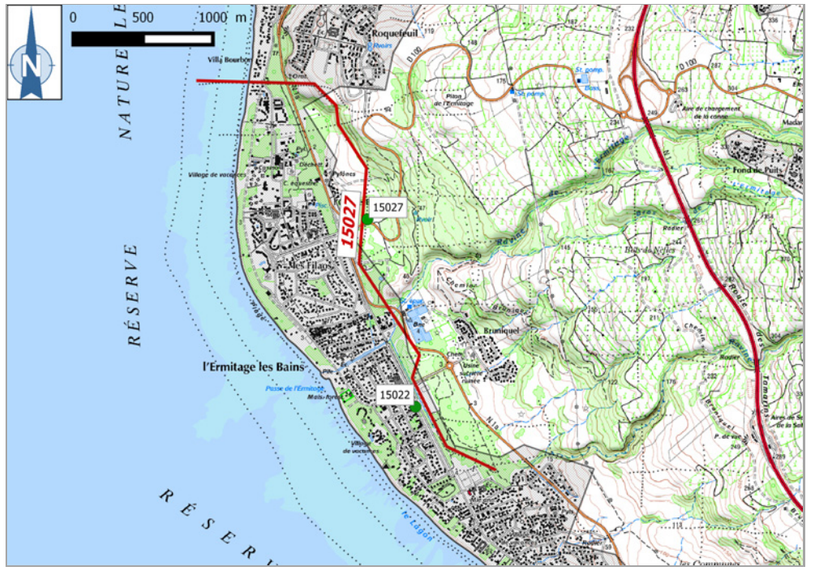
Code Office de l'eau :	**15027**
Secteur d'étude :	St-Gilles

Nom usuel :	P6 Ermitage
Code BSS :	12265X0027/P6

X (m NGR)	316043
Y (m NGR)	7668622
Altitude (m NGR)	3.22
Profondeur (m NGR)	-46.78



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

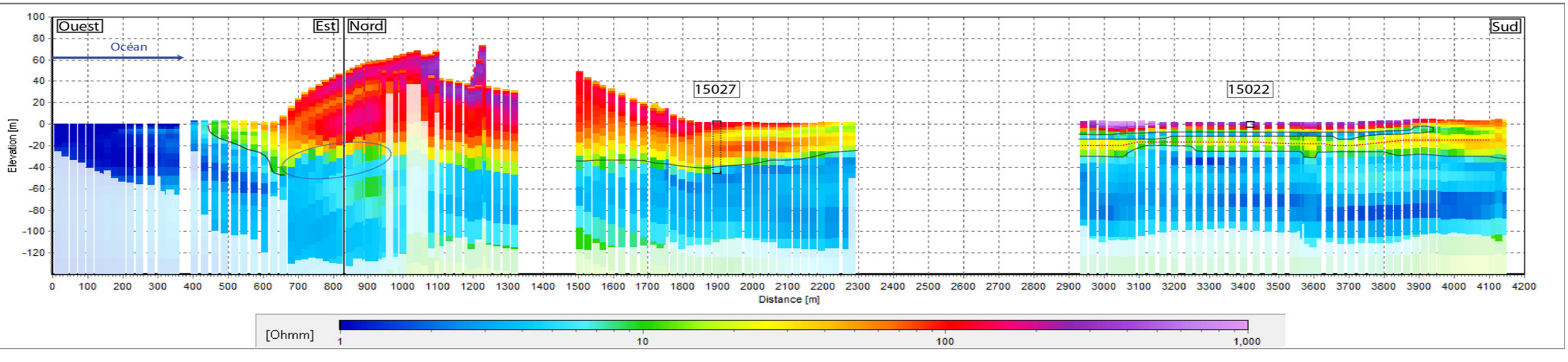
Les logs CE imagent très clairement la totalité de l'intrusion saline ainsi que la zone de mélange (± 20/25m) jusqu'à 55 mS/cm. Depuis avril 2008, une légère tendance de remontée de l'interface est observée : en 7 ans, l'interface est remontée de 5 m environ.

Interprétation AEM

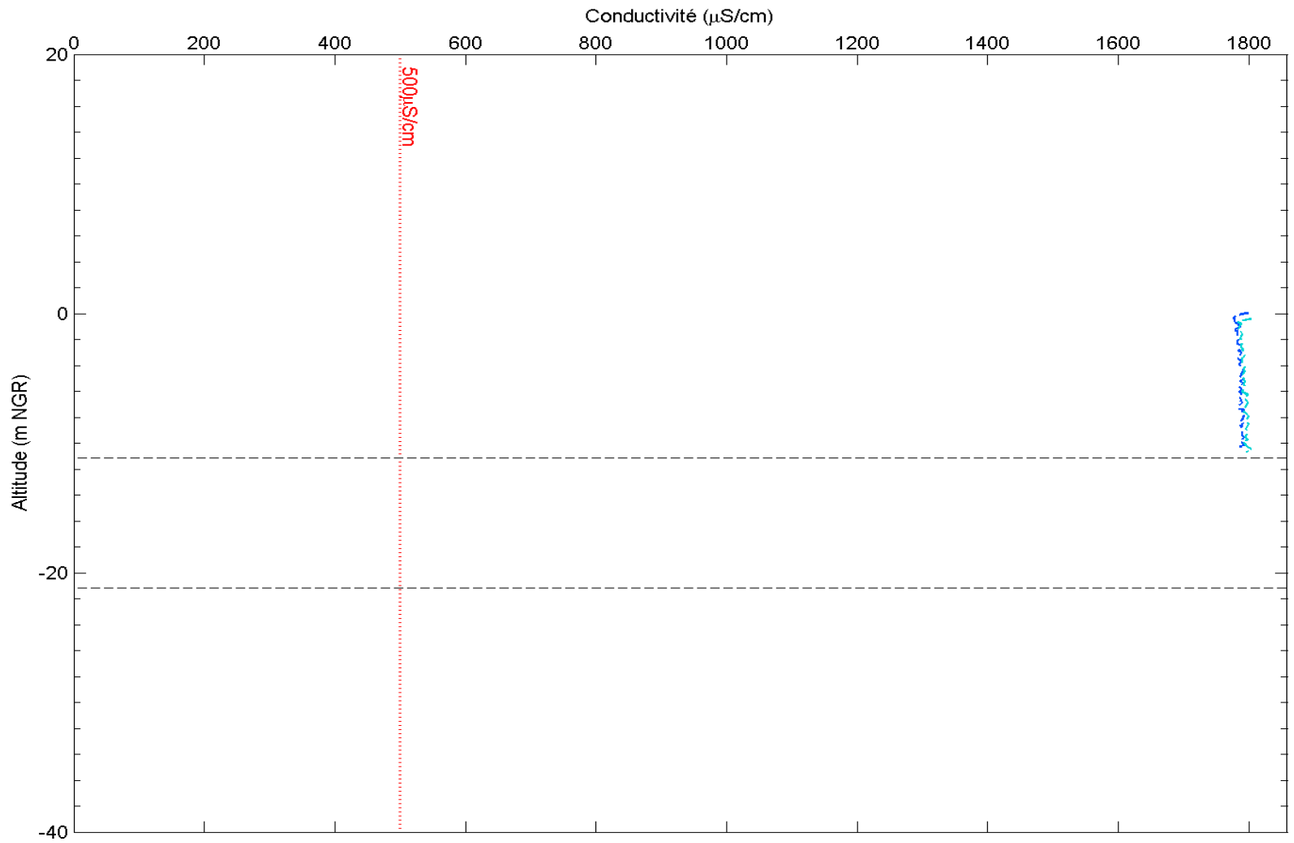
La géophysique image très clairement une anomalie conductrice correspondant à l'intrusion saline à ± -40m NGR. La zone de transition semble peu épaisse dans les données géophysiques.

Représentativités du point RIS

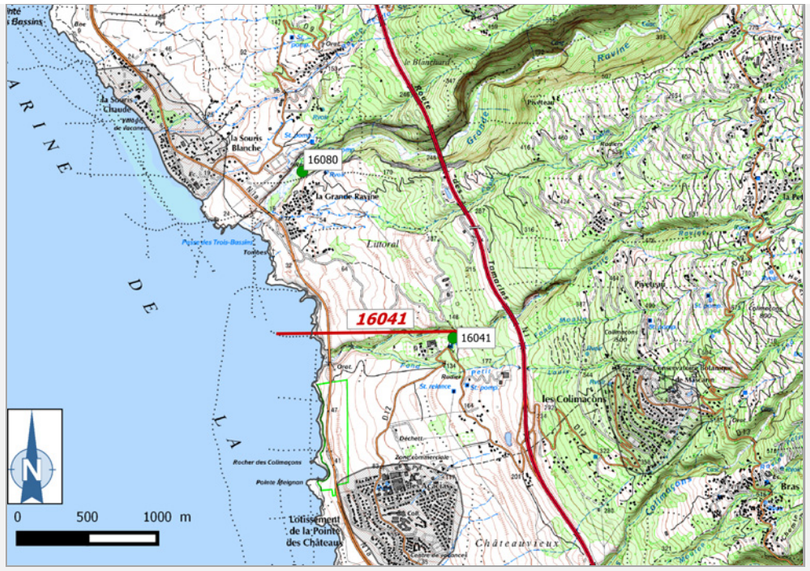
Le point bénéficie d'un suivi historique et permet de mesurer l'ensemble de la zone de transition (eau douce / eau salée).



Code Office de l'eau :	**16041**	Nom usuel :	P Pte Ravine	X (m NGR)	321430
Secteur d'étude :	St-Leu	Code BSS :	12266X0041/PIEZO	Y (m NGR)	7662035
				Altitude (m NGR)	149.84
				Profondeur (m NGR)	-21.16



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

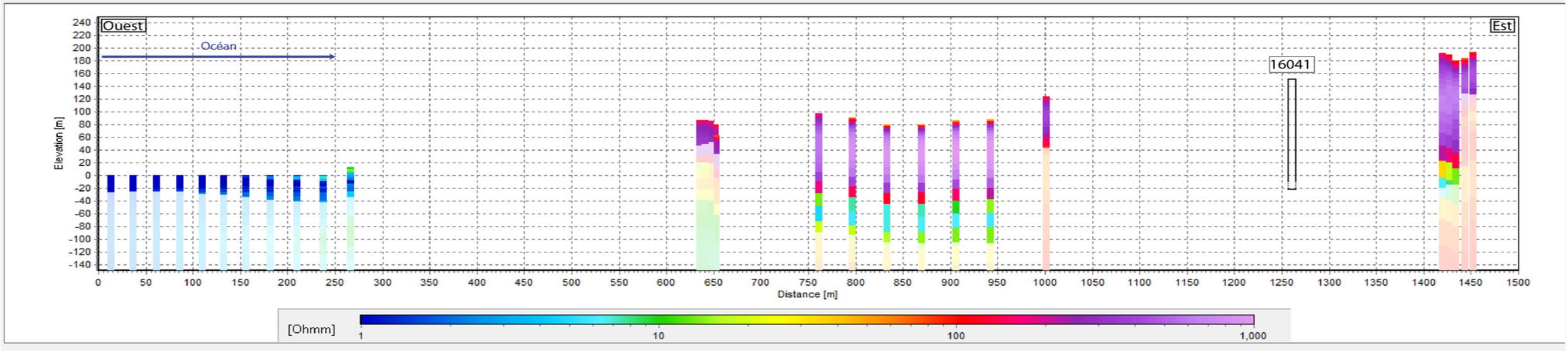
Les logs CE mesurent une eau saumâtre hors crépine.

Interprétation AEM

Les données de géophysiques sont peu denses dans le secteur mais semblent imager une intrusion à -40m NGR au droit du profil.

Représentativités du point RIS

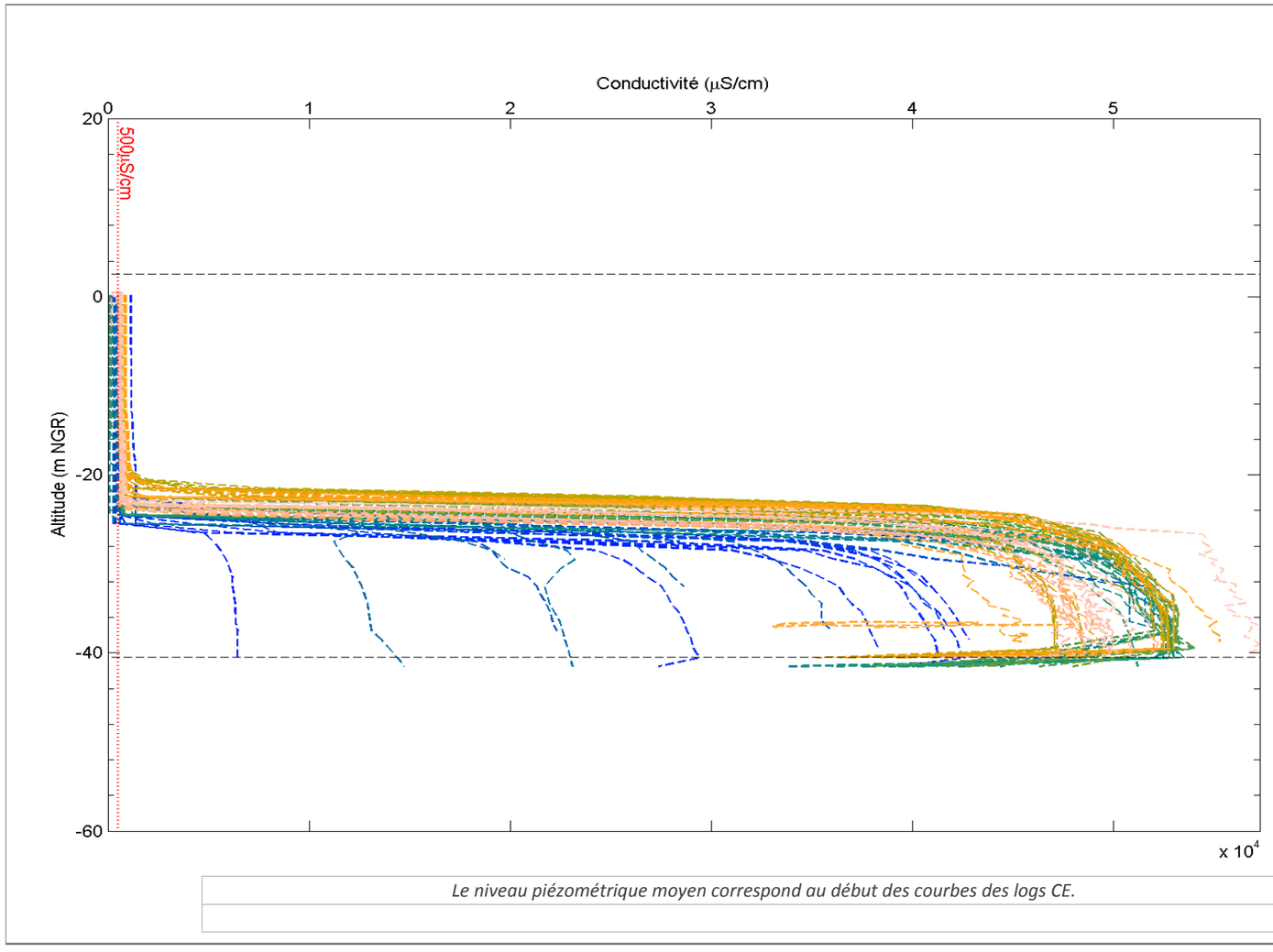
Les logs et la sonde de suivie CTD ne semblent pas être au droit des crépines. Le protocole de mesure pourrait être amélioré.

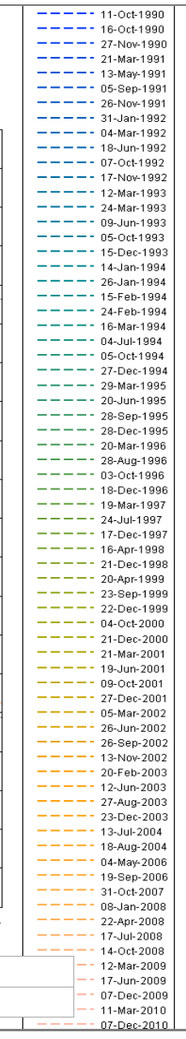


Code Office de l'eau :	**16080**
Secteur d'étude :	St-Leu

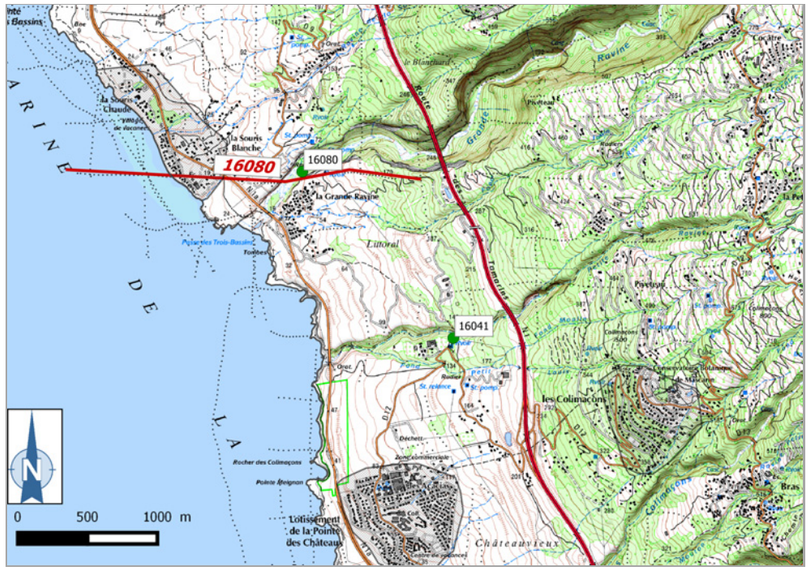
Nom usuel :	P5 Gde Ravine
Code BSS :	12266X0080/P5

X (m NGR)	320348
Y (m NGR)	7663228
Altitude (m NGR)	22.51
Profondeur (m NGR)	-40.49





Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

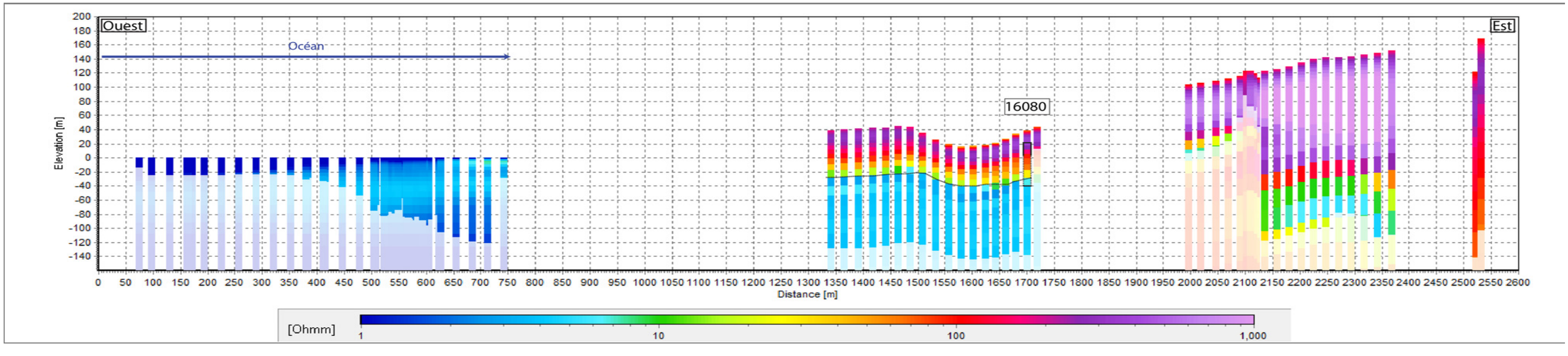
LE logs atteint l'eau de l'océan en fond d'ouvrage à -25 m. Depuis le début des années 90, les logs mesurent une augmentation de la contamination saline.

Interprétation AEM

L'adéquation entre la géophysique et les logs CE est correcte. La géophysique image une intrusion saline importante dans les terres.

Représentativités du point RIS

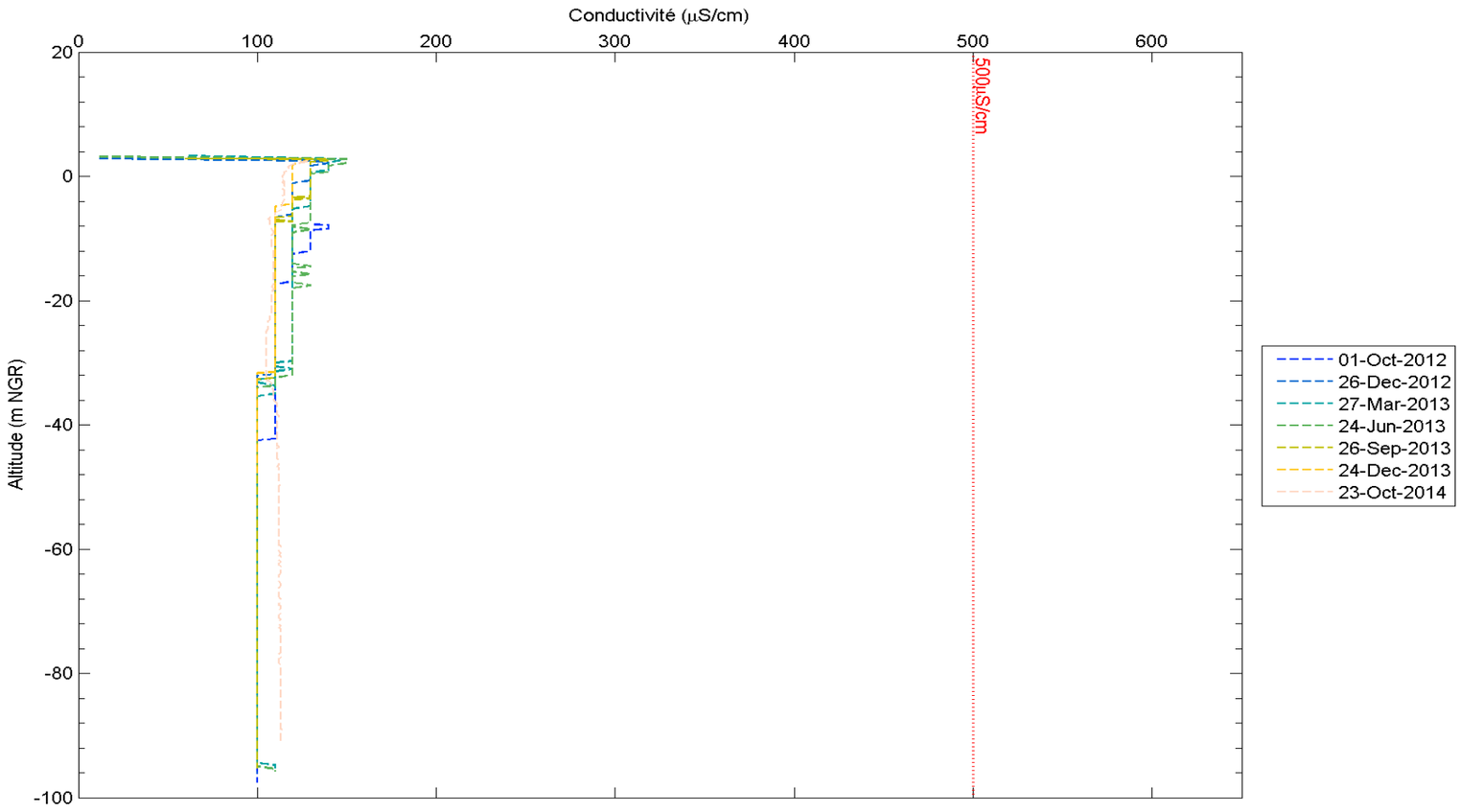
C'est un point qui permet de suivre la dégradation de la ressource en eau du secteur.



Code Office de l'eau :	**21034**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	S7 la Convenance II
Code BSS :	12271X0034/2-1-S7

X (m NGR)	350401
Y (m NGR)	7687879
Altitude (m NGR)	59.29
Profondeur (m NGR)	-144.71



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

Interprétation log

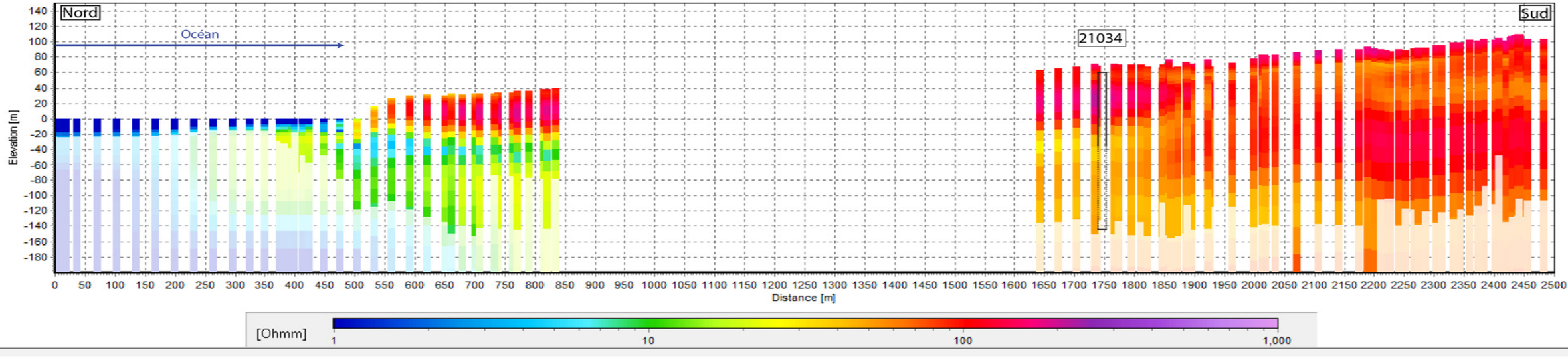
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline jusqu'à 300m à l'intérieur des terres. La géométrie serait à préciser en retravaillant la donnée géophysique.

Représentativités du point RIS

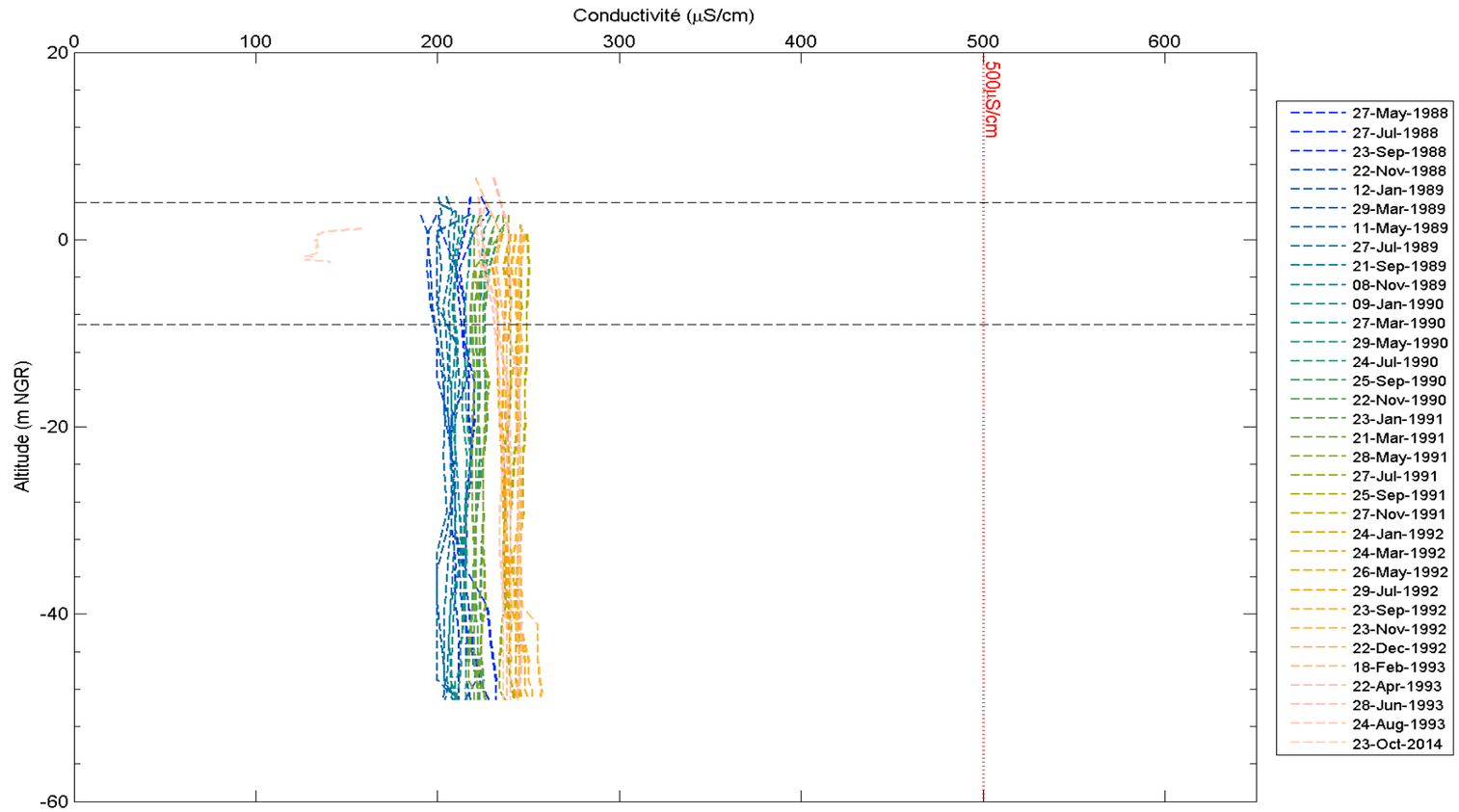
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM.



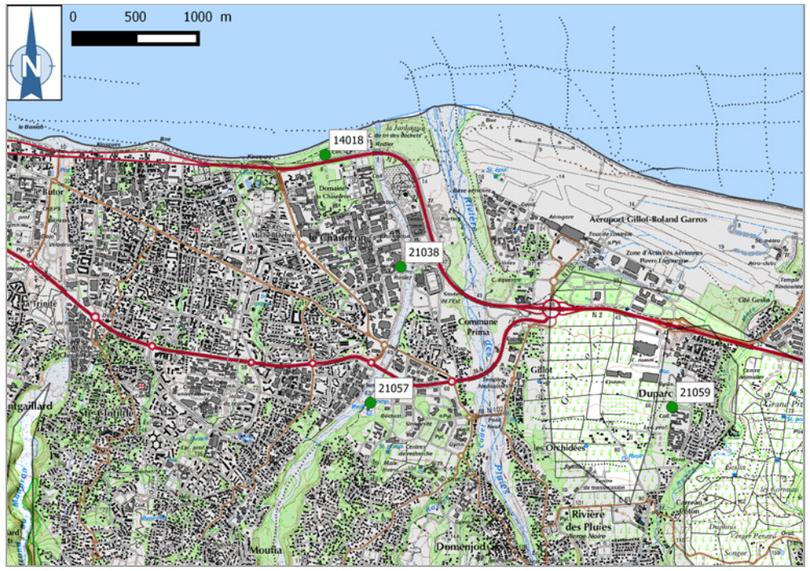
Code Office de l'eau :	**21038**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	S1 Puits ZEC du Chaudron
Code BSS :	12271X0038/S1

X (m NGR)	343881
Y (m NGR)	7688858
Altitude (m NGR)	30.92
Profondeur (m NGR)	-9.08



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

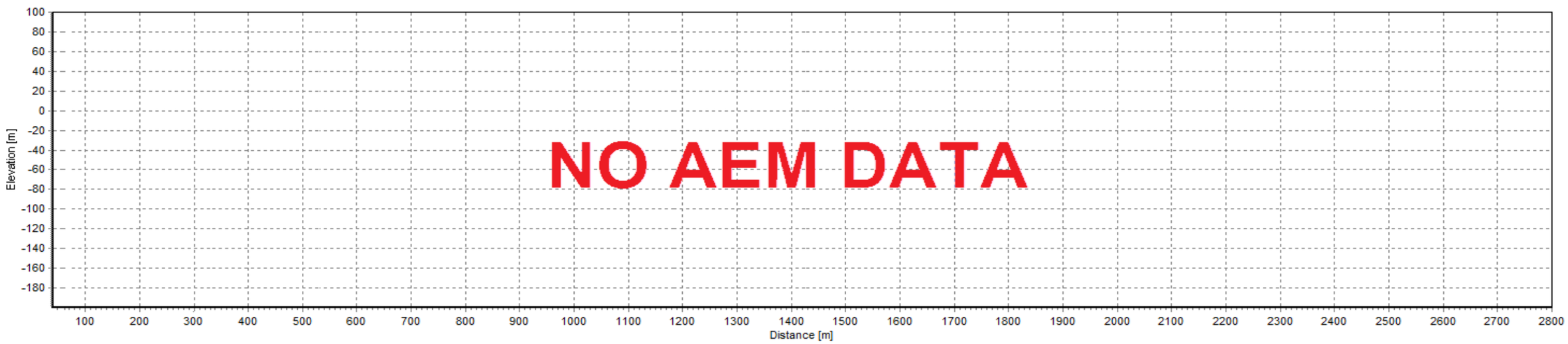
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline. Au cour des 25 dernières années la salinité dans le forage est passé de 180 à 250 µS/cm.

Interprétation AEM

Aucune donnée AEM est disponible autour du forage.

Représentativités du point RIS

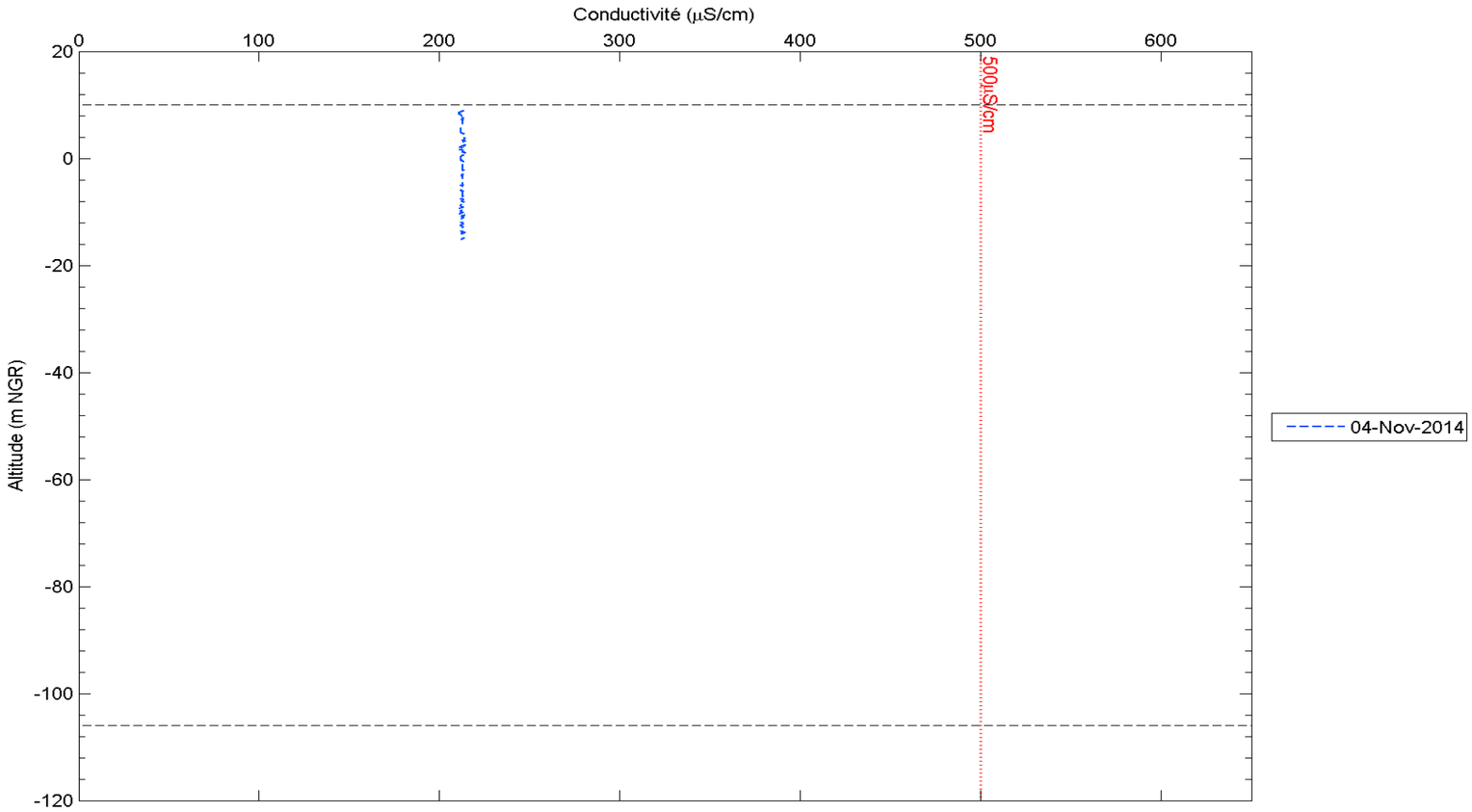
Aucune donnée AEM. Aucun indice de pollution par des intrusions salines.



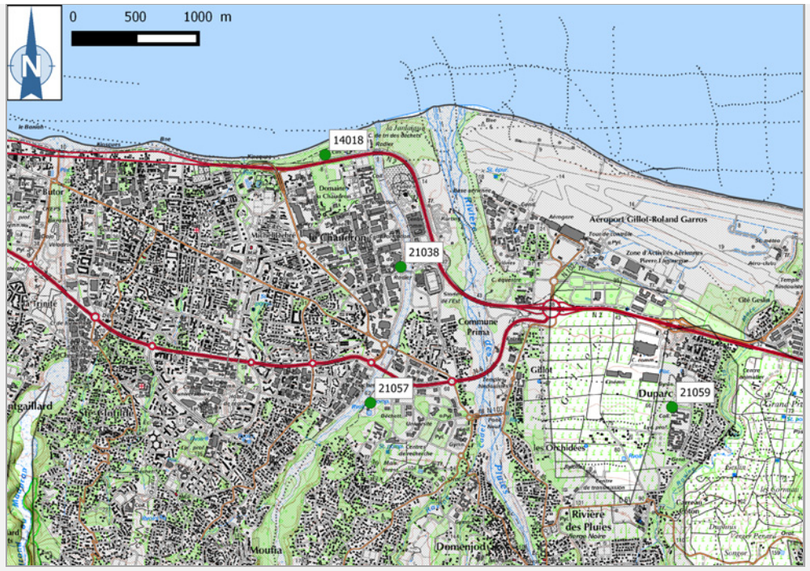
Code Office de l'eau :	**21057**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	F5 Saint-Denis Est
Code BSS :	12271X0057/F5

X (m NGR)	343638
Y (m NGR)	7687766
Altitude (m NGR)	62.97
Profondeur (m NGR)	-106.03



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

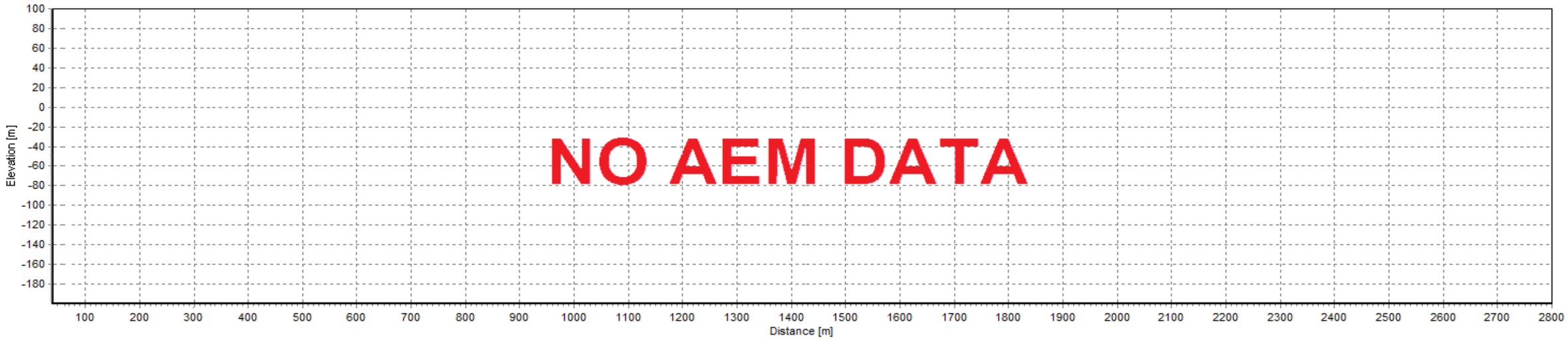
Le log CE n'image pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

Aucune donnée AEM est disponible autour du forage.

Représentativités du point RIS

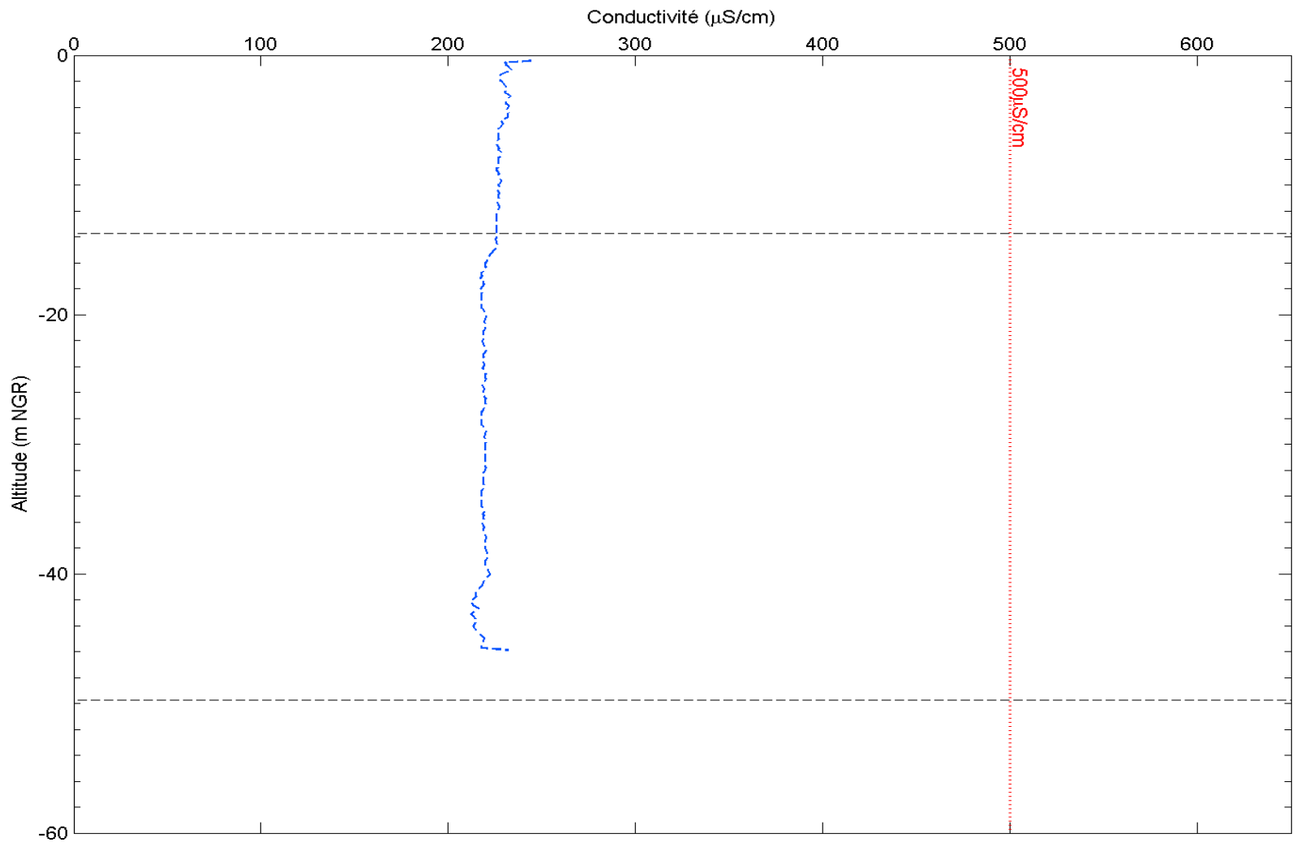
Aucune données AEM. Aucun indice de pollution par des intrusions salines.



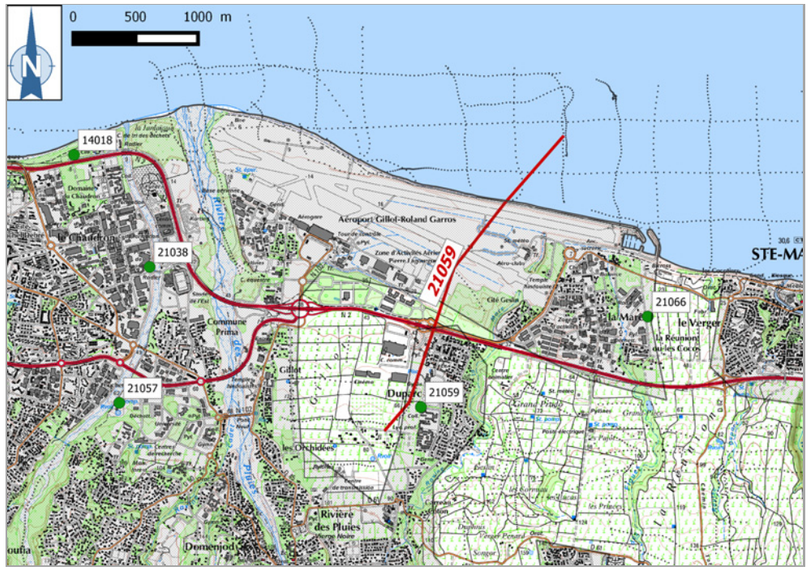
Code Office de l'eau :	**21059**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	F3 Duparc
Code BSS :	12271X0059/F3

X (m NGR)	346057
Y (m NGR)	7687733
Altitude (m NGR)	64.28
Profondeur (m NGR)	-49.72



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

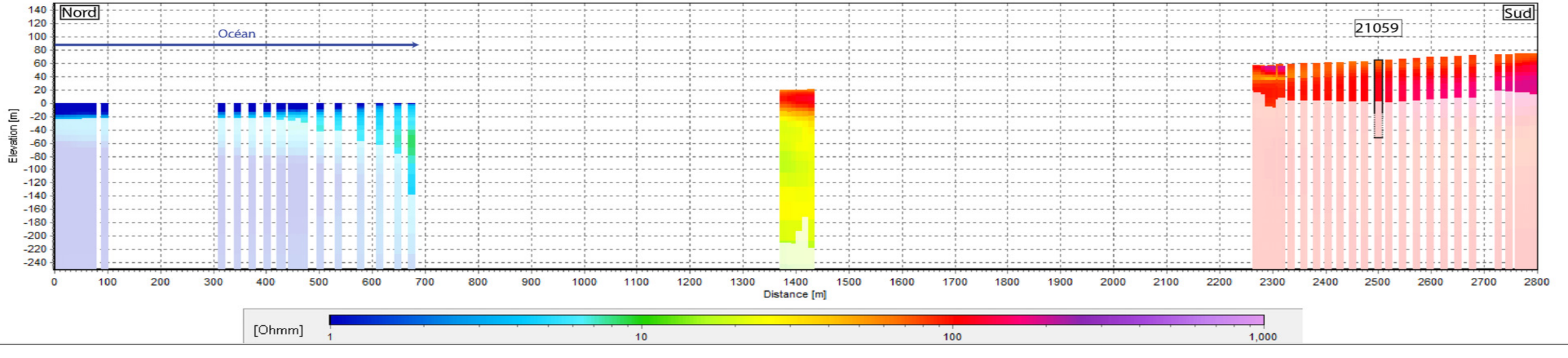
Le log CE n'image pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

Peu de données disponible, aucun sondage entre le trait de côte et le forage image d'anomalie conductrice reliable à l'intrusion saline.

Représentativités du point RIS

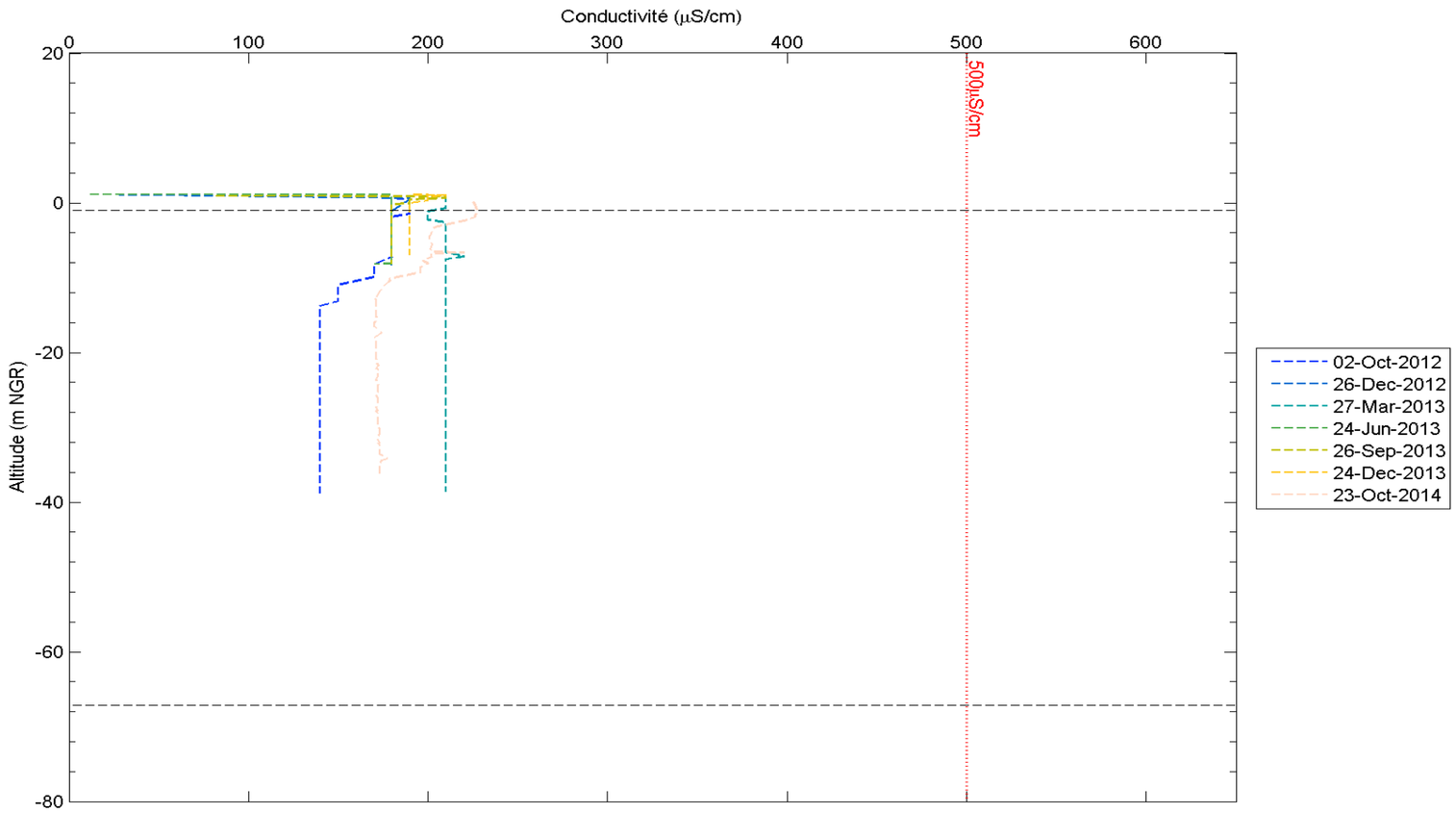
Comme les autres suivis dans le secteur de St-Denis, le forage n'intercepte pas l'intrusion saline.



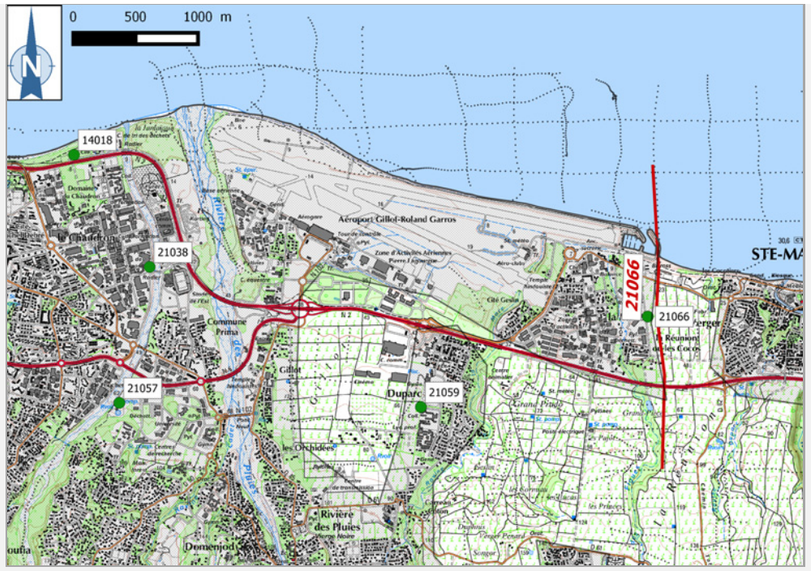
Code Office de l'eau :	**21066**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	P22 les Cocos
Code BSS :	12271X0066/P22

X (m NGR)	347876
Y (m NGR)	7688459
Altitude (m NGR)	32.89
Profondeur (m NGR)	-67.11



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

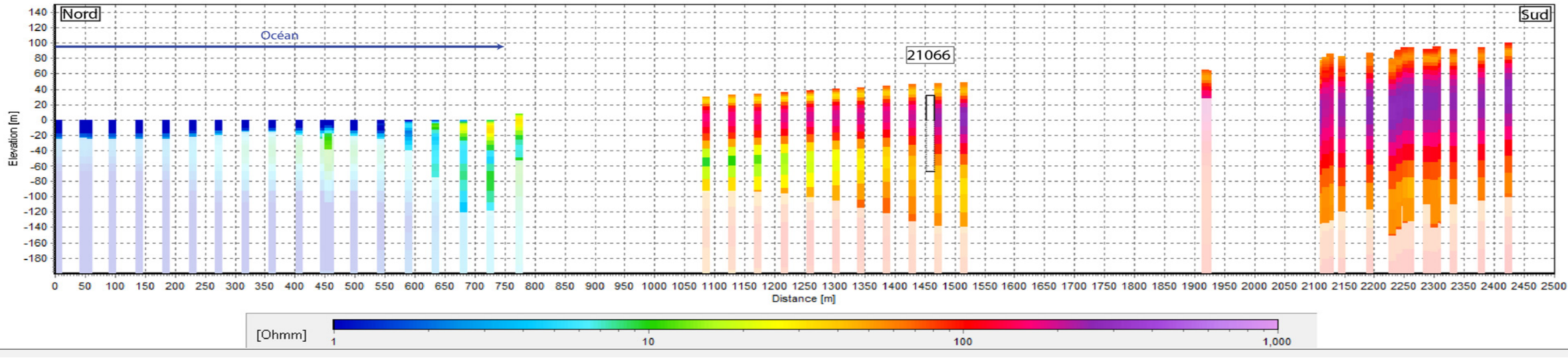
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

Une anomalie conductrice s'enfonce dans les terres sous un résistant.

Représentativités du point RIS

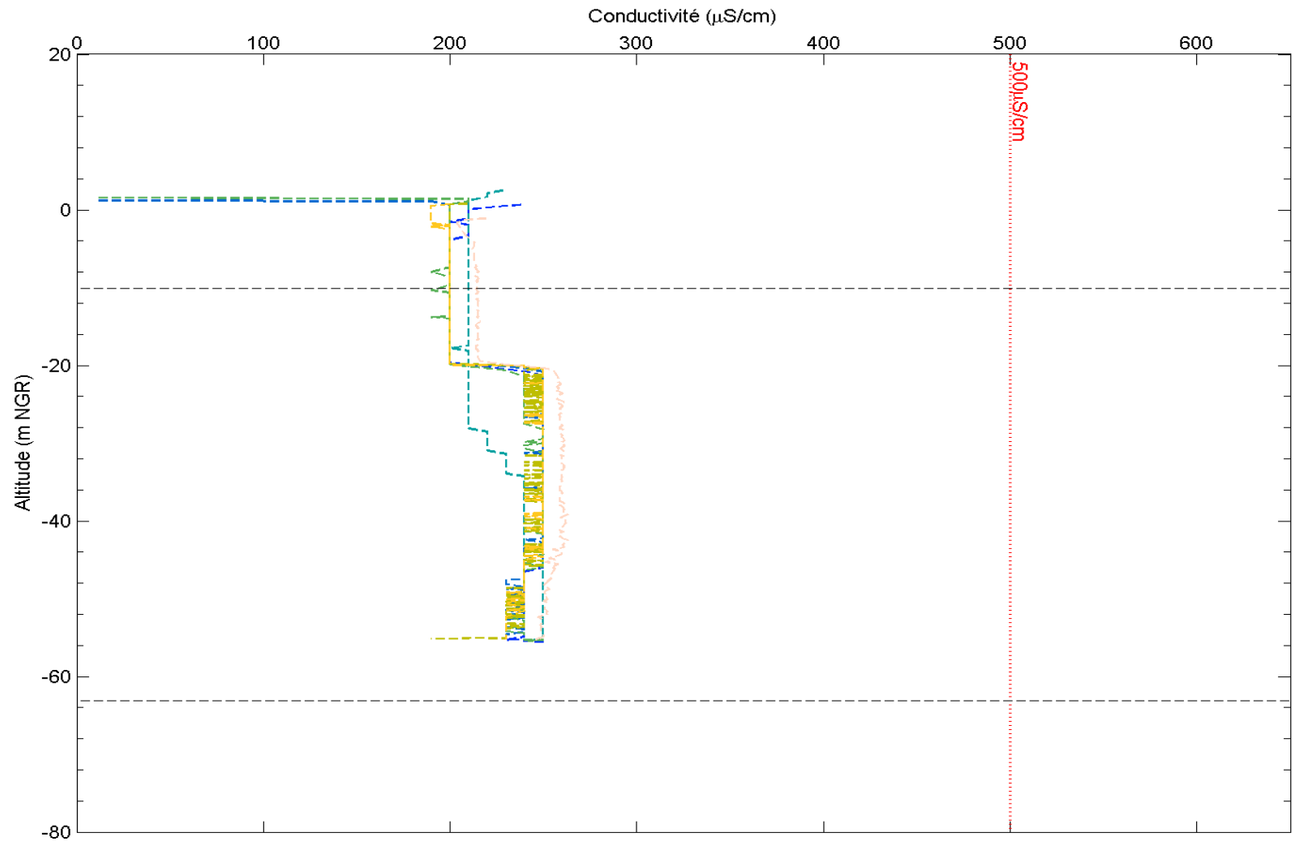
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM.



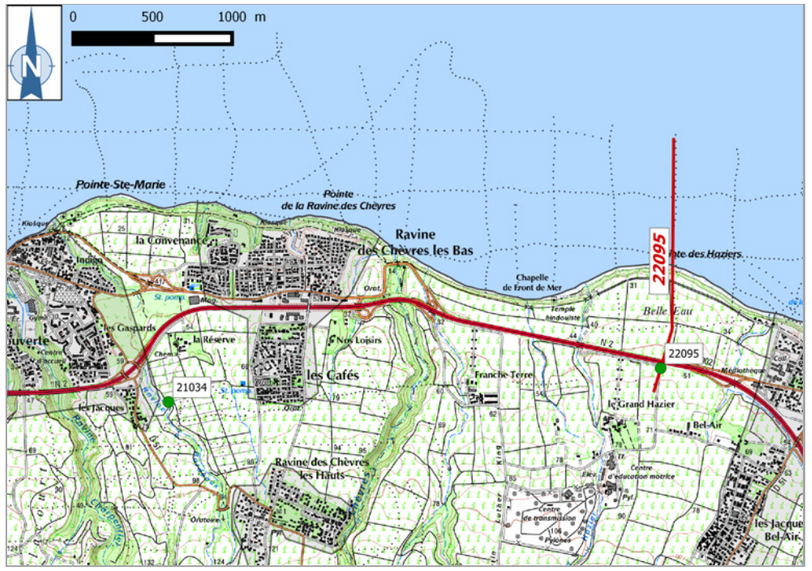
Code Office de l'eau :	**22095**
Secteur d'étude :	St-Denis

Nom usuel :	P27 Belle Eau
Code BSS :	12272X0095/P27

X (m NGR)	353499
Y (m NGR)	7688092
Altitude (m NGR)	56.88
Profondeur (m NGR)	-63.12



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

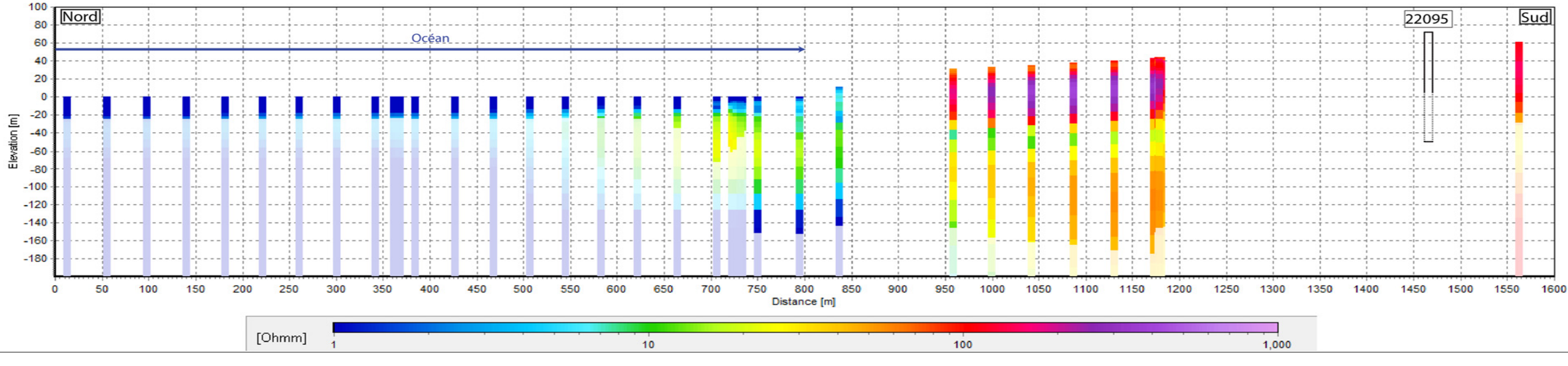
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

Une anomalie conductrice s'enfonce dans les terres sous un résistant mais n'atteint pas le forage suivi.

Représentativités du point RIS

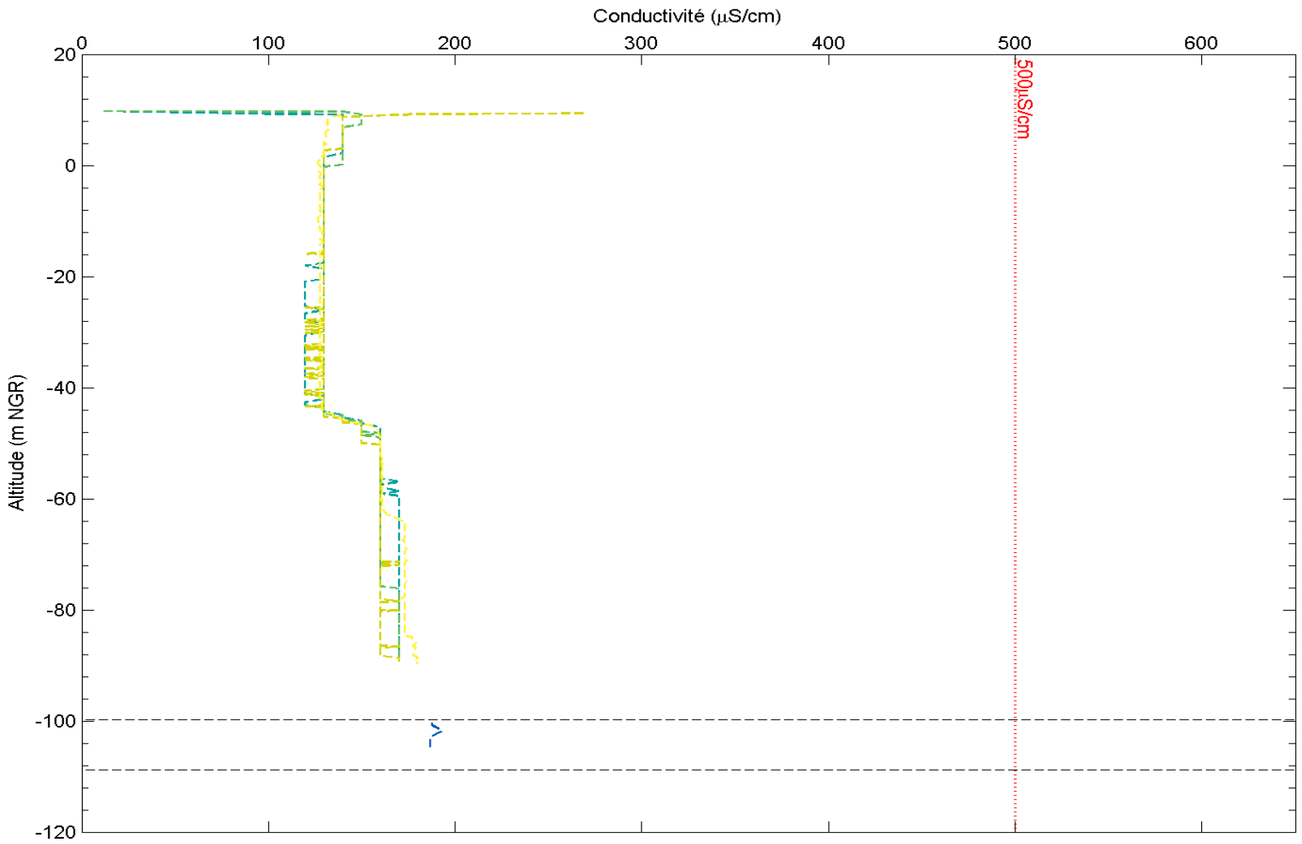
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM.



Code Office de l'eau :	**23009-2**
Secteur d'étude :	St-André

Nom usuel :	P14 Champ Borne n°2
Code BSS :	12273X0009/P14

X (m NGR)	362811
Y (m NGR)	7682354
Altitude (m NGR)	24.17
Profondeur (m NGR)	-108.83



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

Interprétation log

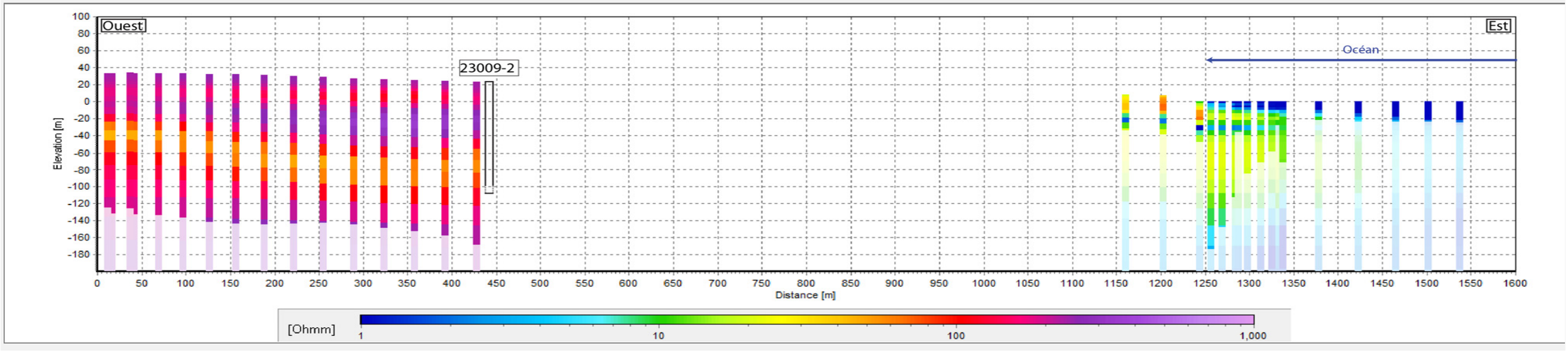
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

L'AEM n'image pas de conducteur à proximité du forage. L'intrusion saline imagé par l'AEM pénètre faiblement dans les terres.

Représentativités du point RIS

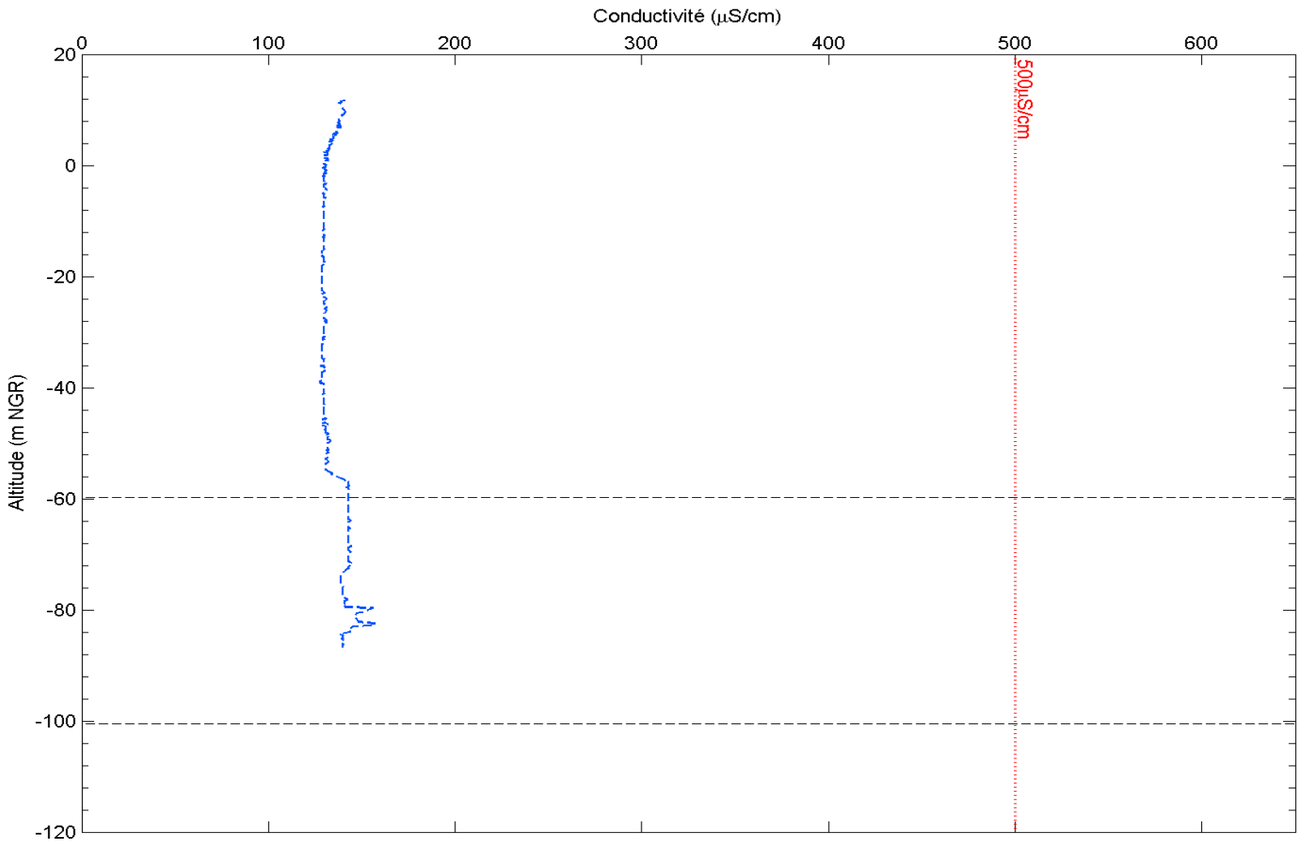
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM.



Code Office de l'eau :	**27072**
Secteur d'étude :	St-André

Nom usuel :	P26 Le Bourbier
Code BSS :	12277X0072/P26

X (m NGR)	365022
Y (m NGR)	7673963
Altitude (m NGR)	35.49
Profondeur (m NGR)	-100.51



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

Interprétation log

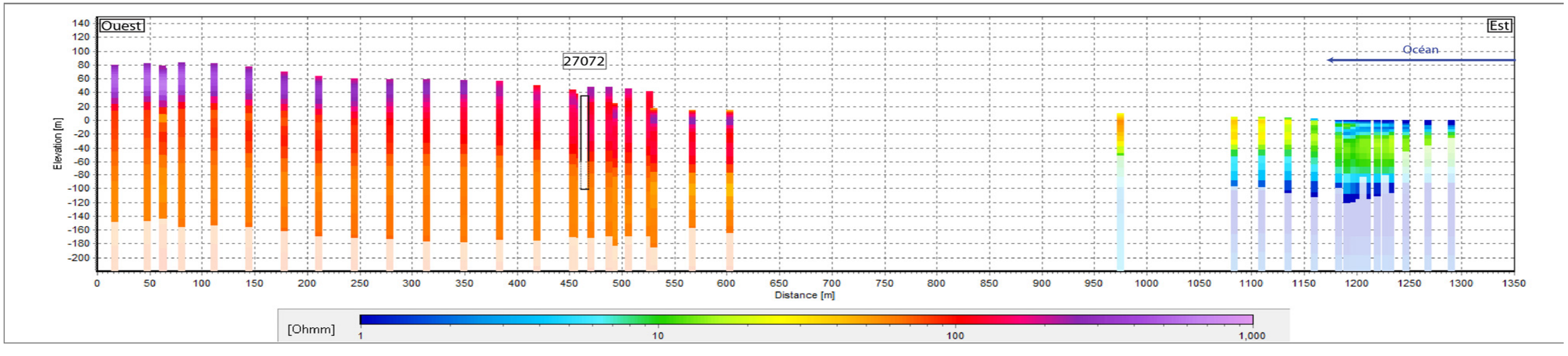
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

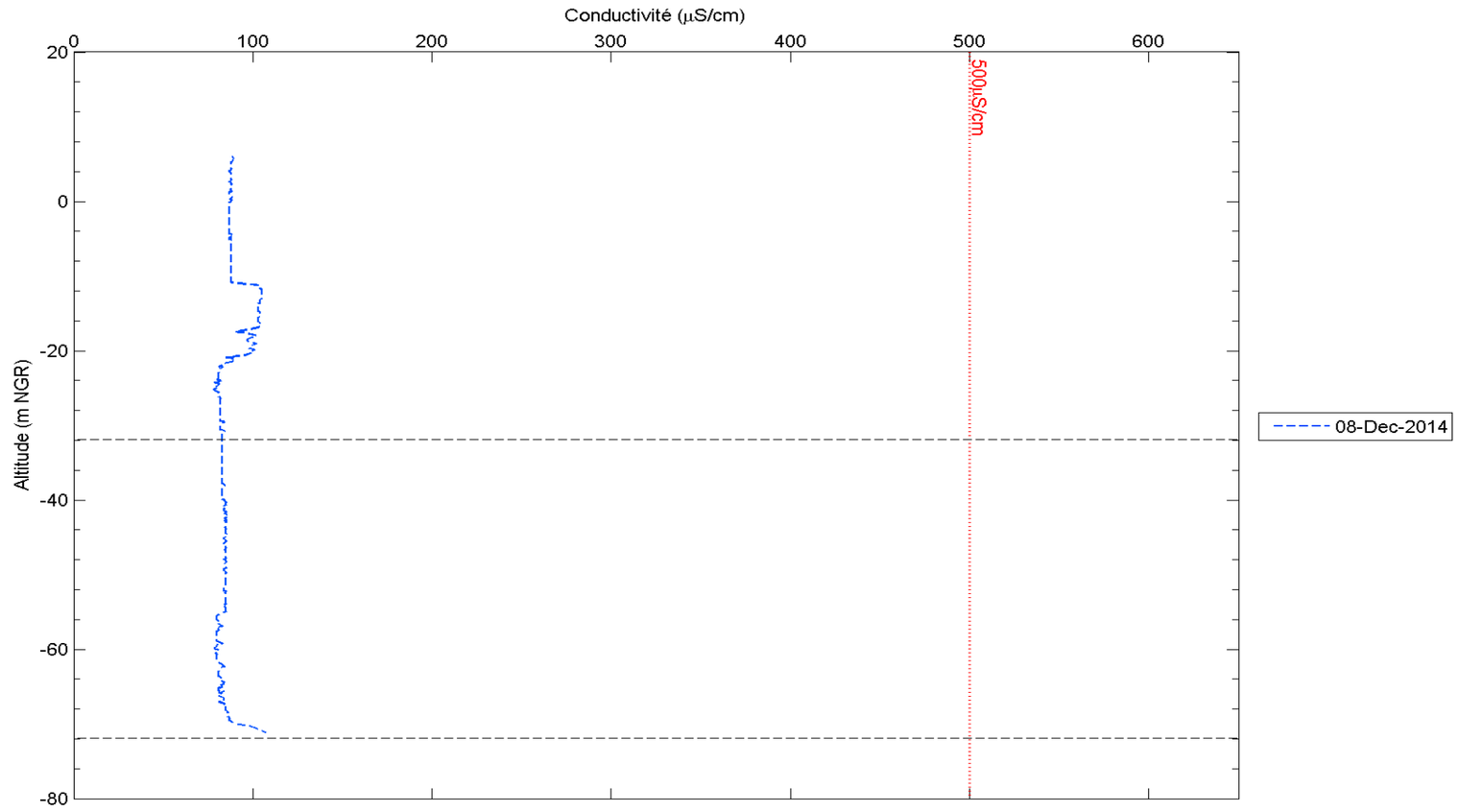
L'AEM n'image pas de conducteur à proximité du forage. A proximité du trait de côté une anomalie conductrice image une intrusion saline pénétrant

Représentativités du point RIS

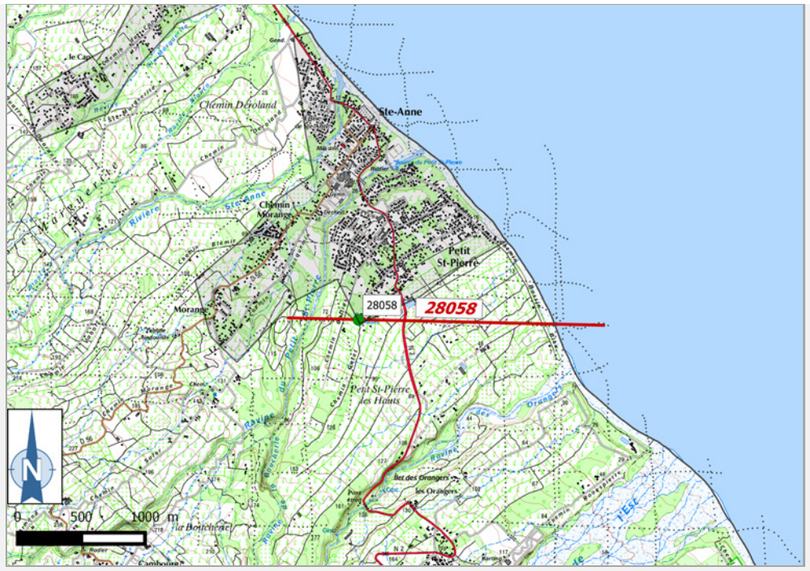
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM.



Code Office de l'eau :	**28058**	Nom usuel :	F1 Petit Saint-Pierre les hauts	X (m NGR)	369647
Secteur d'étude :	St-Benoit	Code BSS :	12278X0058/F1	Y (m NGR)	7666830
				Altitude (m NGR)	78.12
				Profondeur (m NGR)	-71.88



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

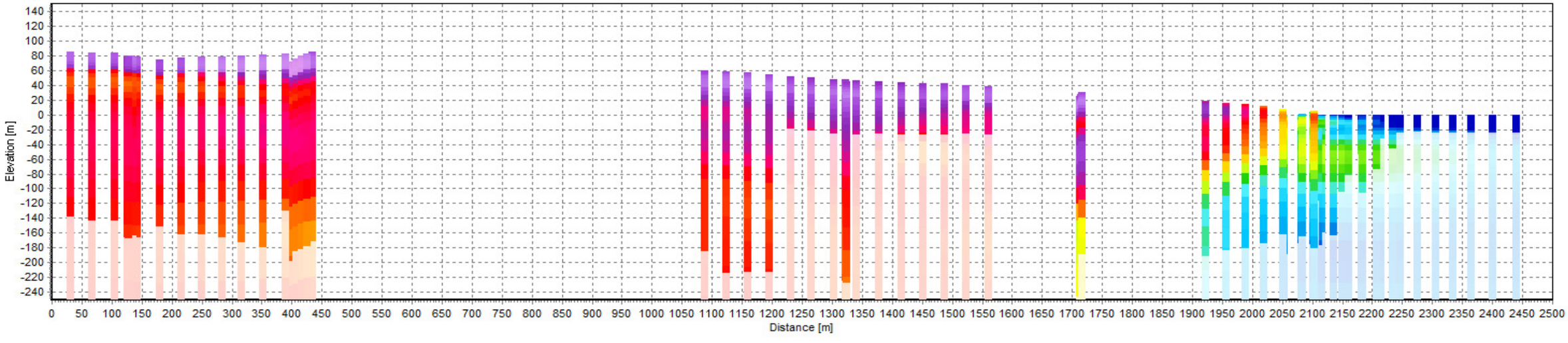
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline.

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline dans la zone littorale avec une faible extension spatiale.

Représentativités du point RIS

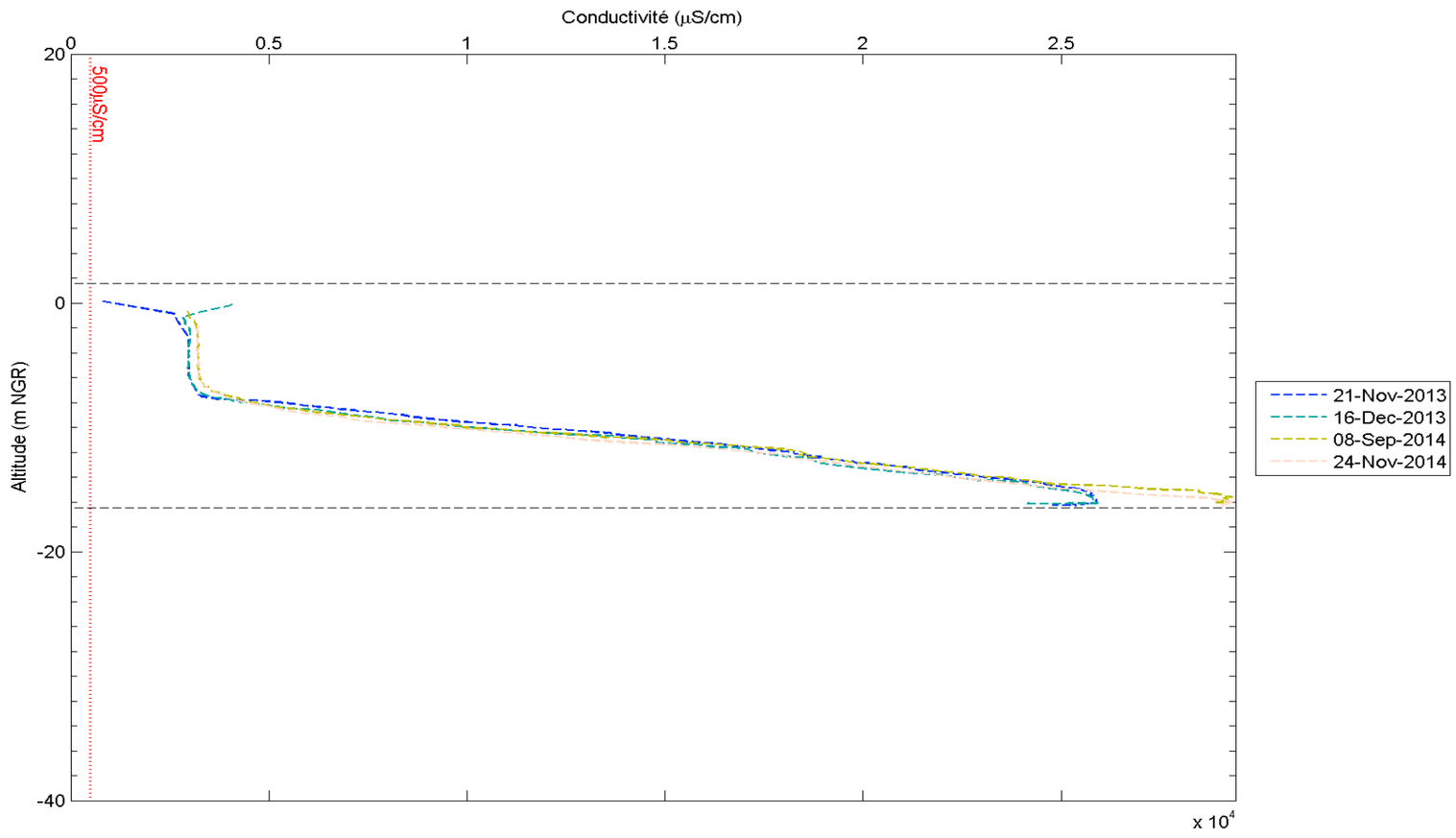
Le point de suivi est éloigné de l'intrusion saline imagé par l'AEM. Un suivi moins réguliers (1 à 2 fois par an) serait peut être plus aproprié.



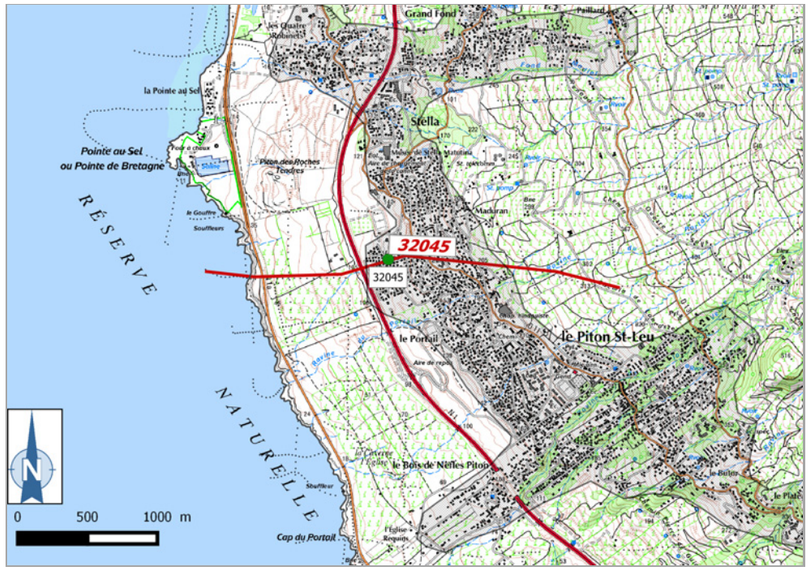
Code Office de l'eau :	**32045**
Secteur d'étude :	St-Gilles

Nom usuel :	F8 Stella Le Portail
Code BSS :	12282X0045/F8

X (m NGR)	323097
Y (m NGR)	7653699
Altitude (m NGR)	133.86
Profondeur (m NGR)	-16.14



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

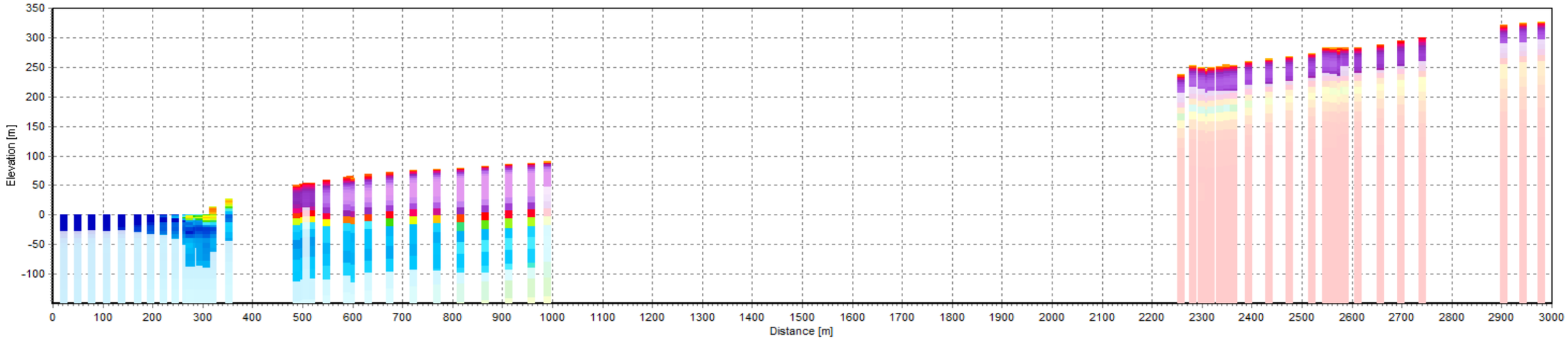
Les logs imagent une grande partie de la zone de mélange de l'intrusion saline (jusqu'à 25 mS/cm).

Interprétation AEM

L'AEM détecte une importante intrusion saline à la géométrie plane sur les 700m à l'intérieur des terres.

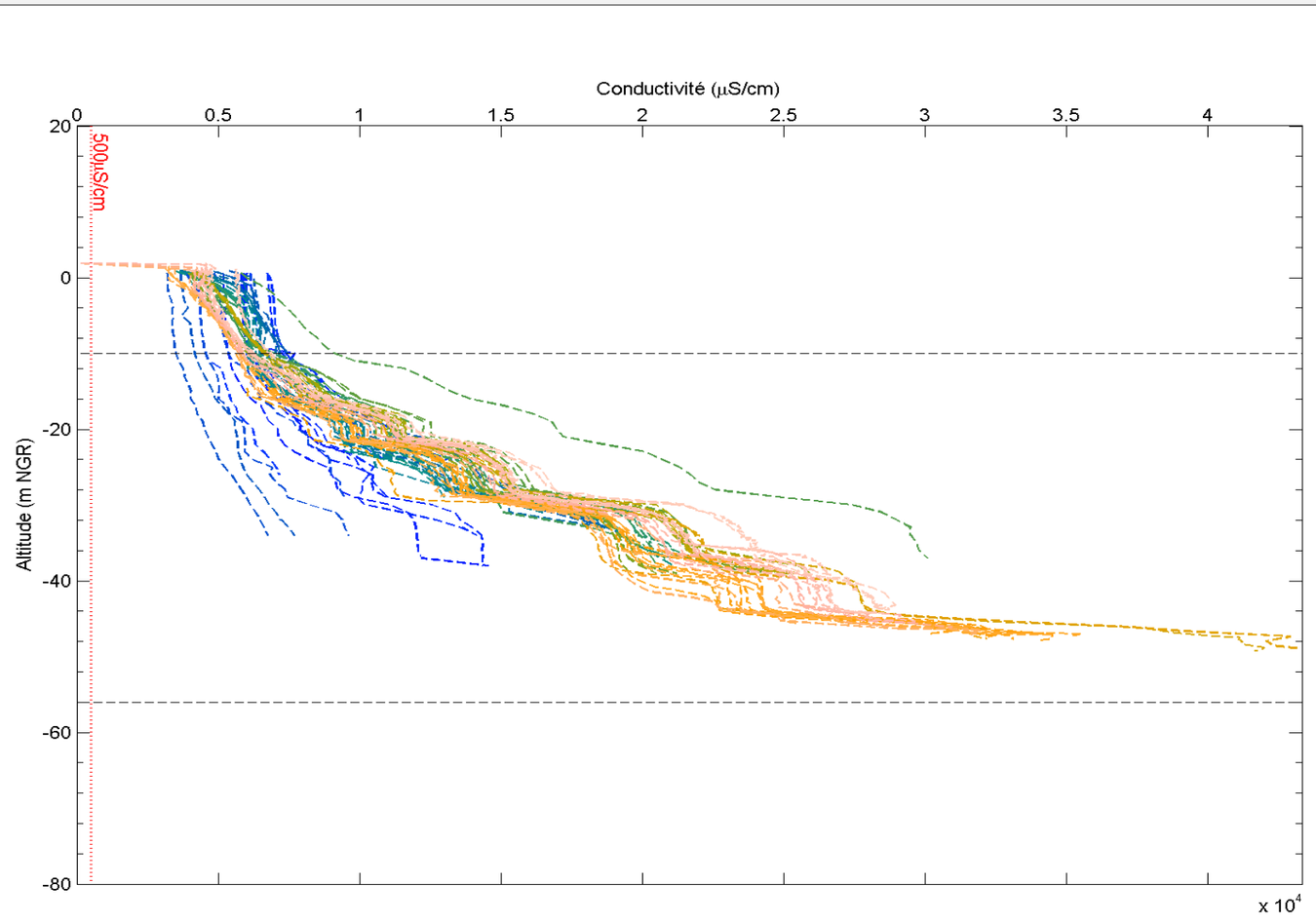
Représentativités du point RIS

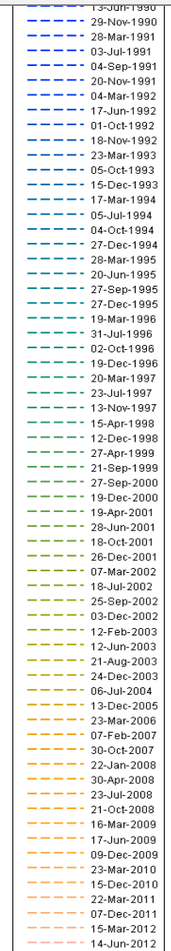
Le point de suivi est intéressant imageant la zone de mélange est intéressant pour étudier le fonctionnement d'un aquifère côtier en conditions naturelles.



Code Office de l'eau :	**33066**	Nom usuel :	P3 Pont Neuf forêt domaniale
Secteur d'étude :	Étang-salé	Code BSS :	12283X0066/P3

X (m NGR)	328718
Y (m NGR)	7648082
Altitude (m NGR)	60.5
Profondeur (m NGR)	-59.5





Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

Interprétation log

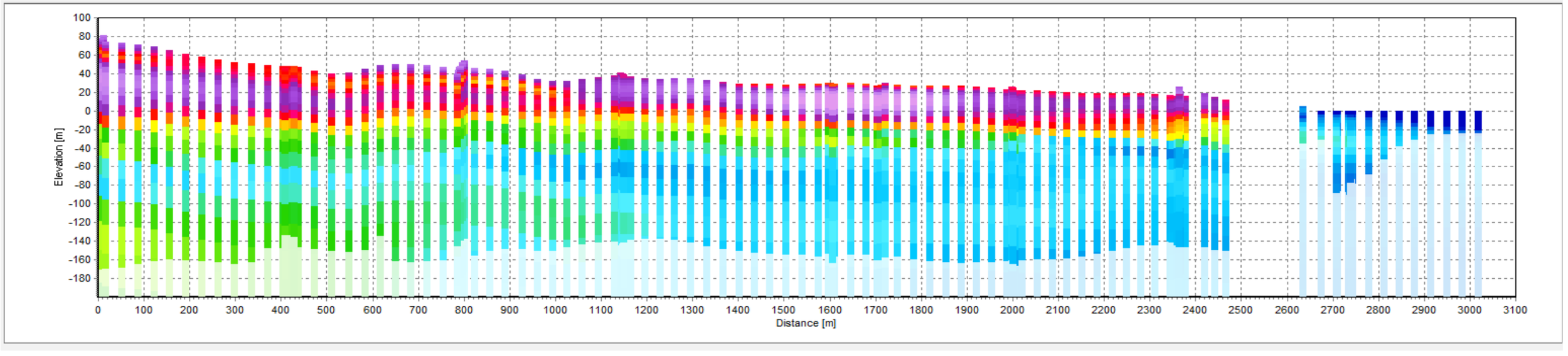
Les logs de conductivités mesurent l'évolution de la salinité d'une zone de diffusion d'environ 45m avec une dégradation temporelle de la ressource en eau.

Interprétation AEM

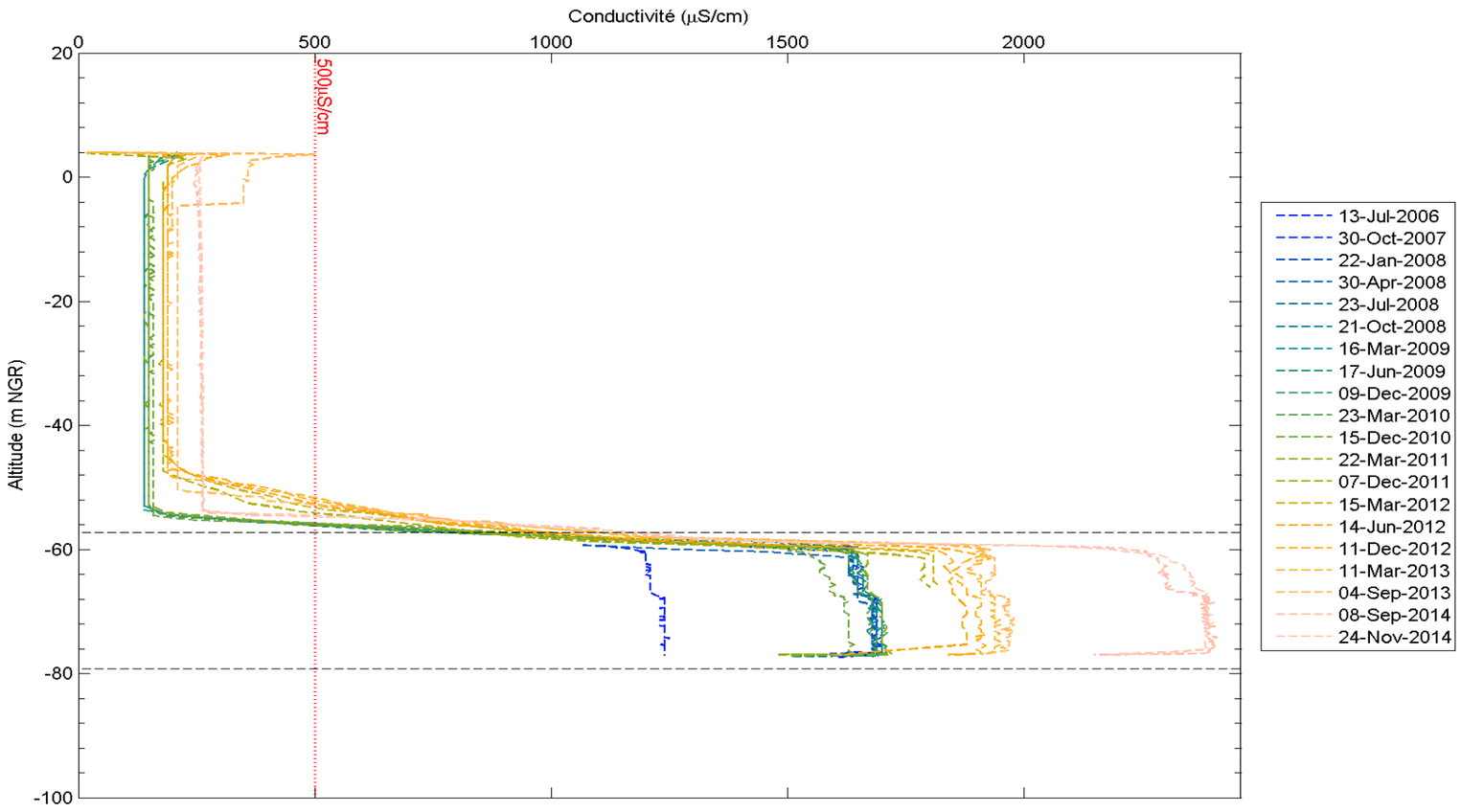
L'AEM image l'intrusion saline sur l'ensemble de la zone et semble sensible aux variations de salinité de la zone de diffusion.

Représentativités du point RIS

Le point de suivi situé dans une nappe basaltique sous couvert sableux est intéressant et permet de suivre la dégradation d'une ressource exploitée en amont.



Code Office de l'eau :	**37056-3**	Nom usuel :	PIB4-C Plaine du Gol	X (m NGR)	333179
Secteur d'étude :	Étang-salé	Code BSS :	12287X0114/PIB-4C	Y (m NGR)	7647192
				Altitude (m NGR)	20.71
				Profondeur (m NGR)	-79.29



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

Interprétation log

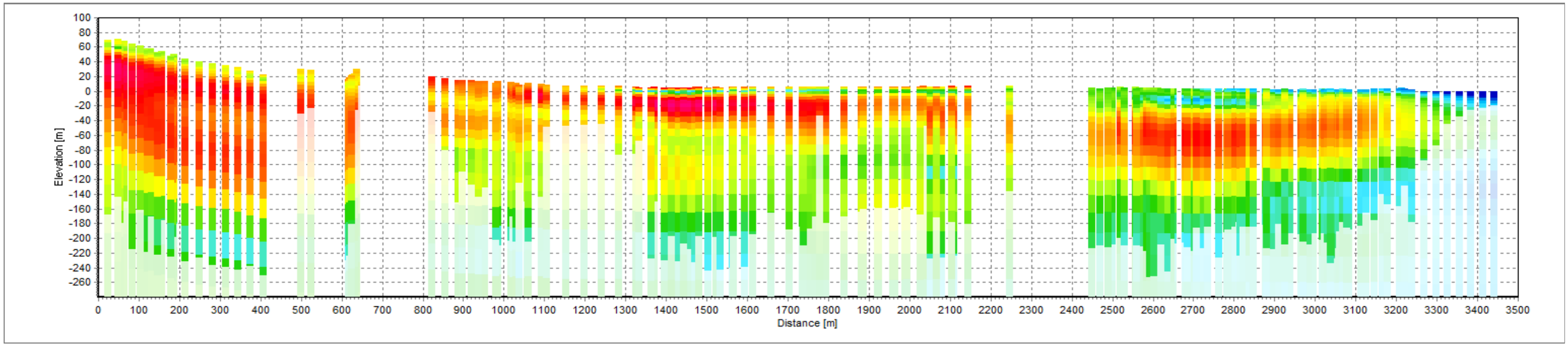
Les logs CE mesurent le début de l'intrusion saline et surtout une dégradation de la ressource en 8 ans (augmentation de 1100 µS/cm).

Interprétation AEM

Au droit du forage, la géophysique image des résistivité pouvant correspondre à la zone de diffusion. En profondeur (-180/200 m NGR) une anomalie conductrice (< 7 Ω.m) présente une géométrie plane.

Représentativités du point RIS

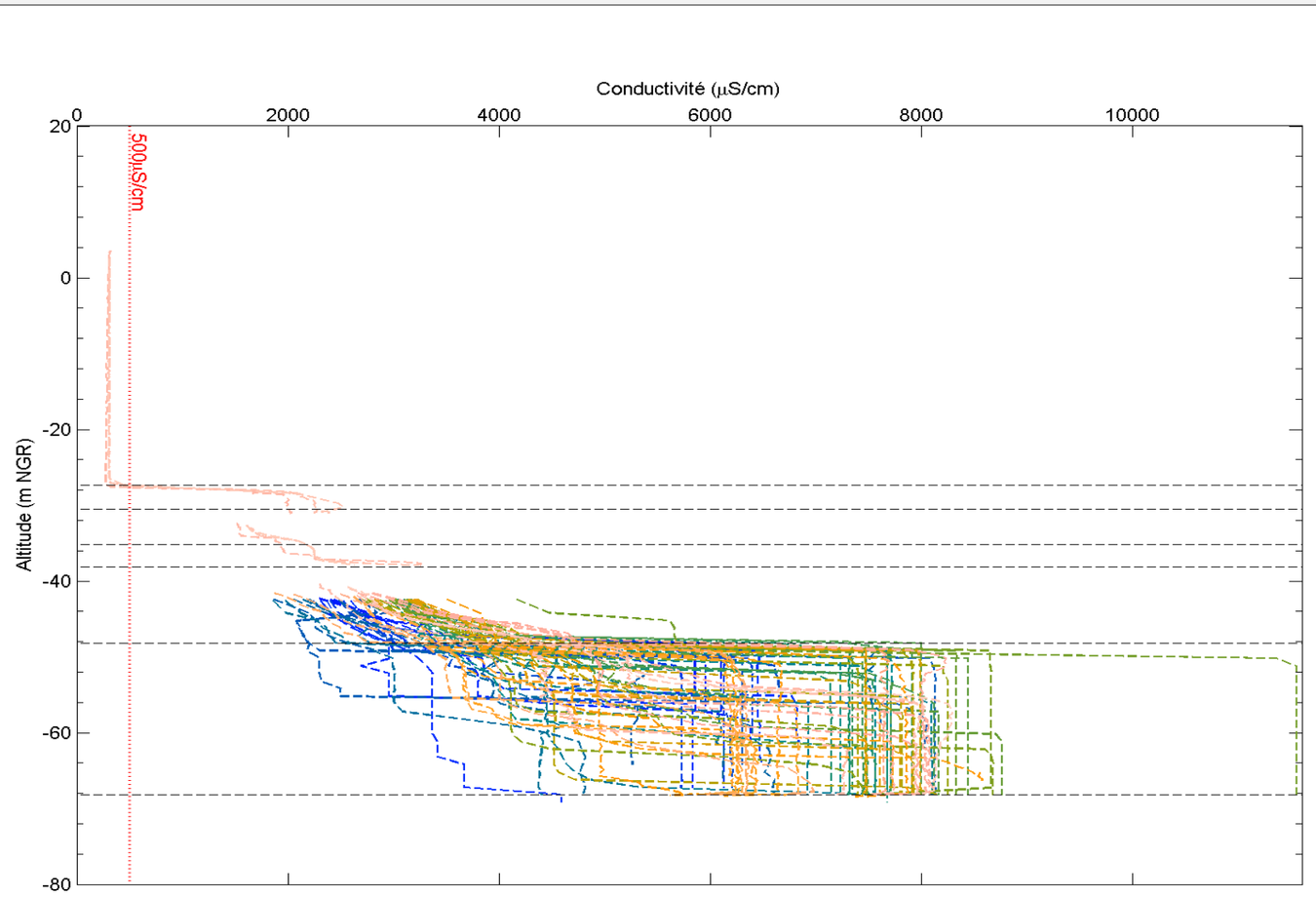
Le point de suivi PIB 4 suit une intrusion saline complexe contrôlé par la géologie et un régime hydrogéologique particulier comme l'image la géophysique.

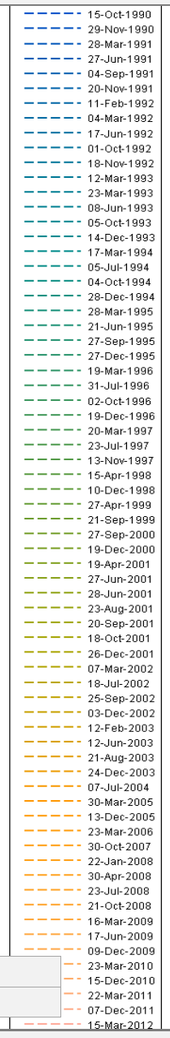


Code Office de l'eau :	**37057 B-D**
Secteur d'étude :	Étang-salé

Nom usuel :	PIB5 Plaine du Gol
Code BSS :	12287X0057/PIB-5A

X (m NGR)	332861
Y (m NGR)	7646105
Altitude (m NGR)	5.8
Profondeur (m NGR)	-84.2





Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

La construction des logs CE des flutes de pans reprend les données mesurées dans les piézomètres B, C et D.

Interprétation log

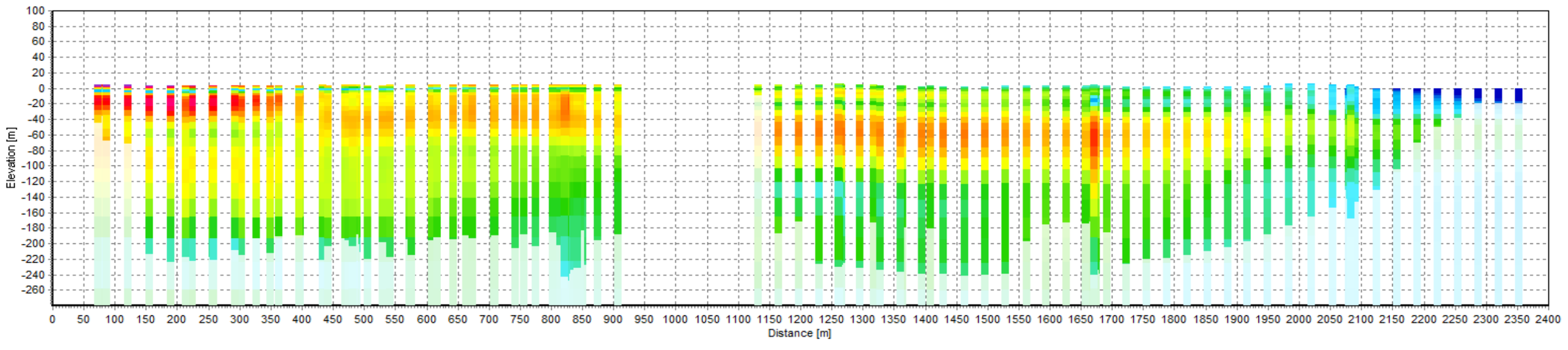
Les logs CE dans les trois ouvrages (B-D) permettent de suivre l'évolution de la zone de diffusion. Alors que la conductivité augmente progressivement entre le B et C, elle stagne dans la crépine du D (6/8 mS/cm) de -48 à -68m NGR.

Interprétation AEM

L'AEM semble imager une fort impact océanique. En subsurface au niveau des étangs du Gol mais aussi en profondeur avec une anomalie conductrice plane vers -110m NGR.

Représentativités du point RIS

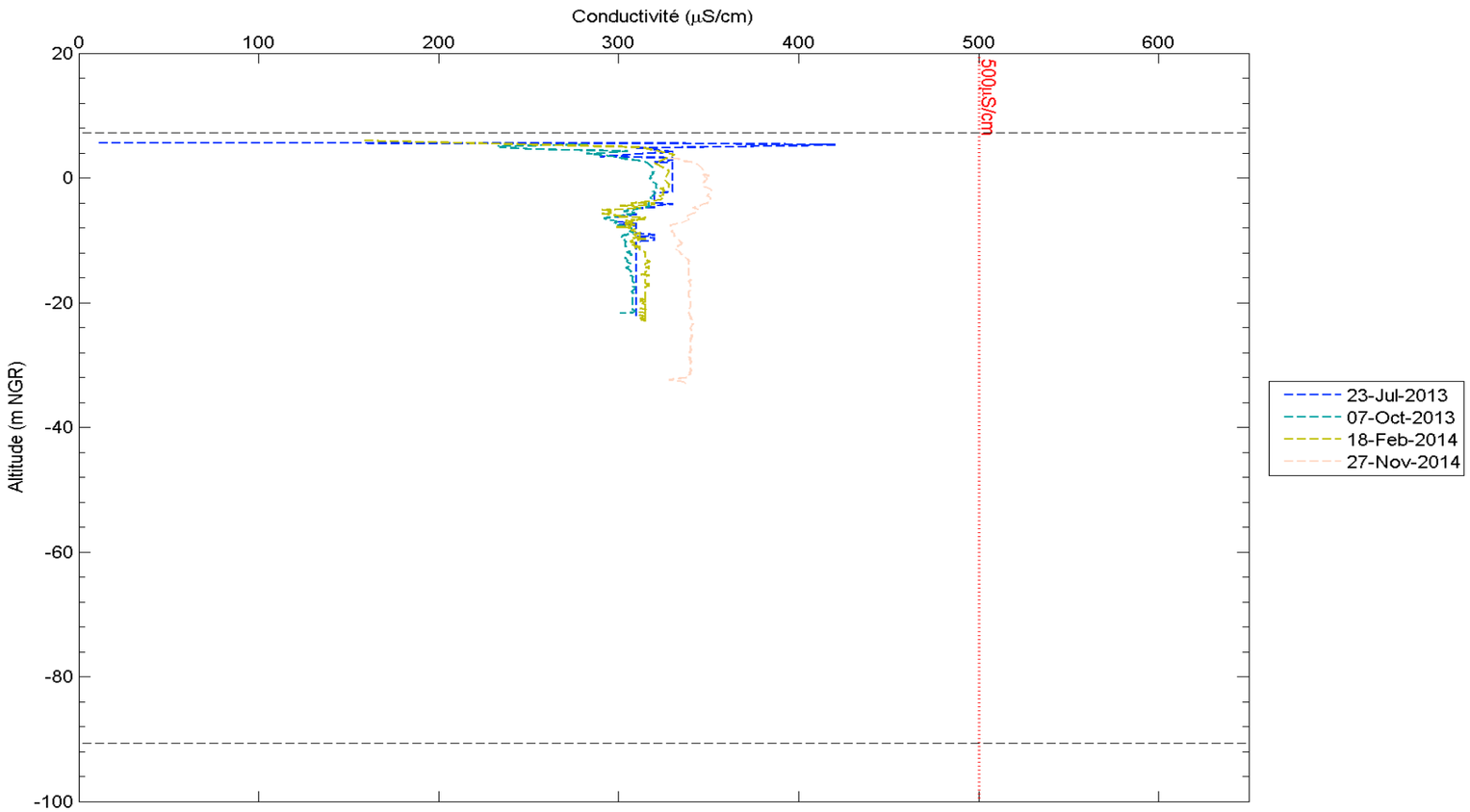
Le point de suivi PIB 5 suit une intrusion saline complexe contrôlé par la géologie et un régime hydrogéologique particulier comme l'image la géophysique.



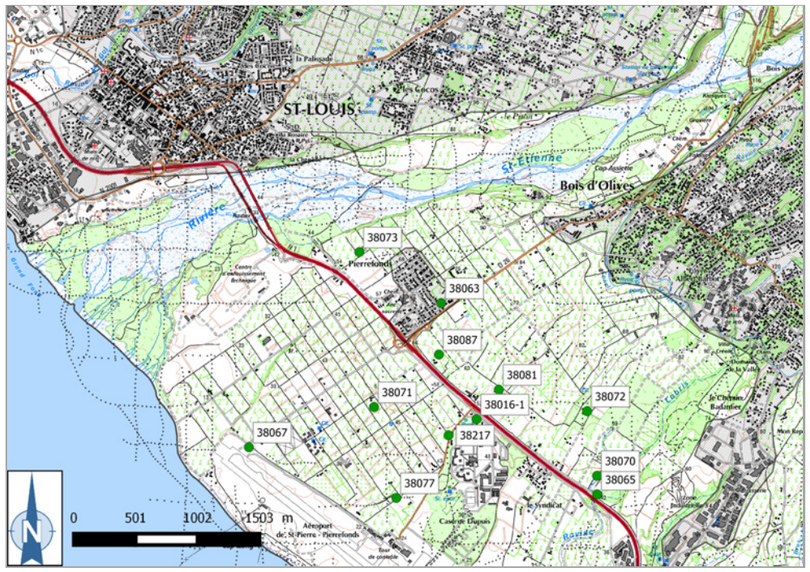
Code Office de l'eau :	**38063**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	PIB7 Pierrefonds village
Code BSS :	12288X0063/PIB-7

X (m NGR)	337271
Y (m NGR)	7643602
Altitude (m NGR)	67.74
Profondeur (m NGR)	-90.76



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

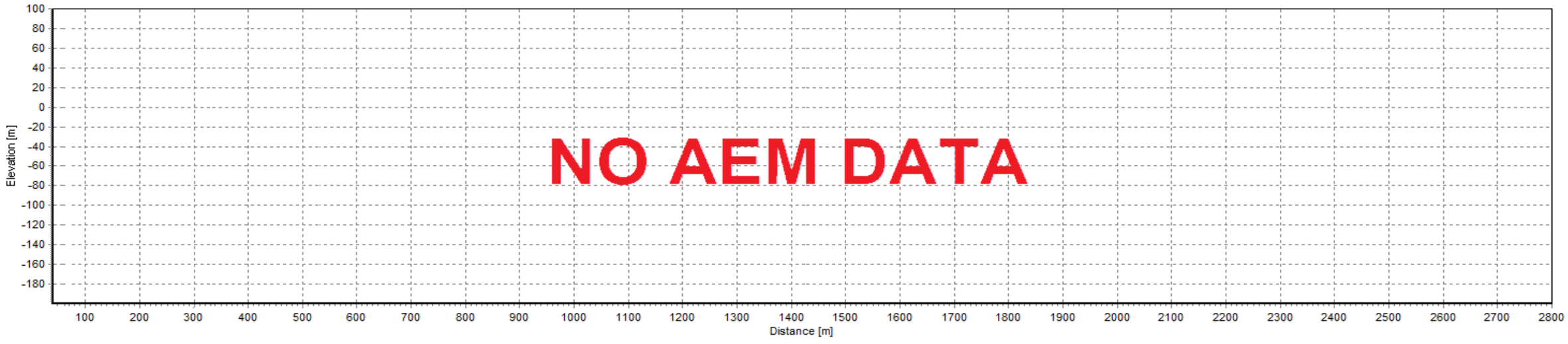
Les logs n'imagent de salinisation de l'eau

Interprétation AEM

Aucune donnée AEM est disponible autour du forage.

Représentativités du point RIS

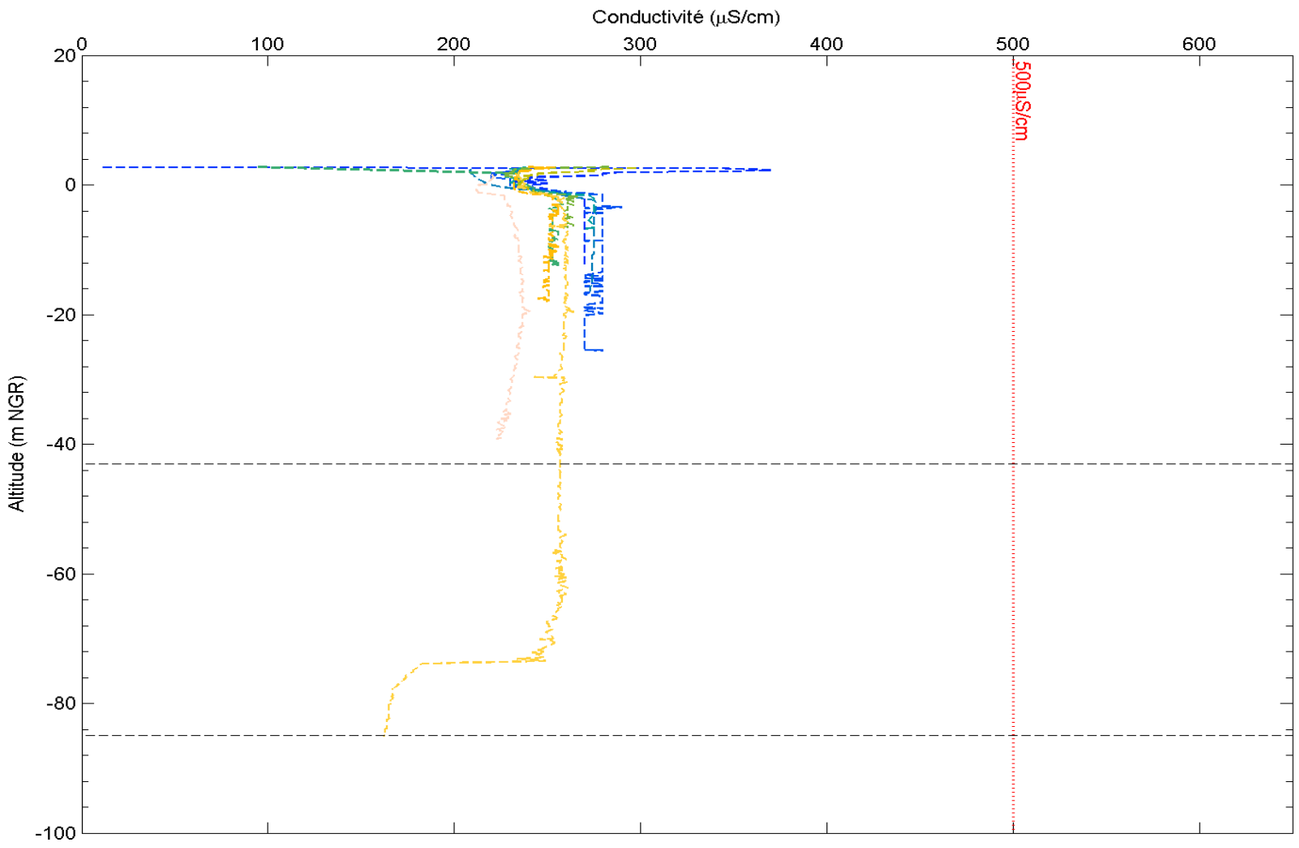
Possibilité de réaliser le log jusqu'au bas de la crépine (- 90 m NGR) ?



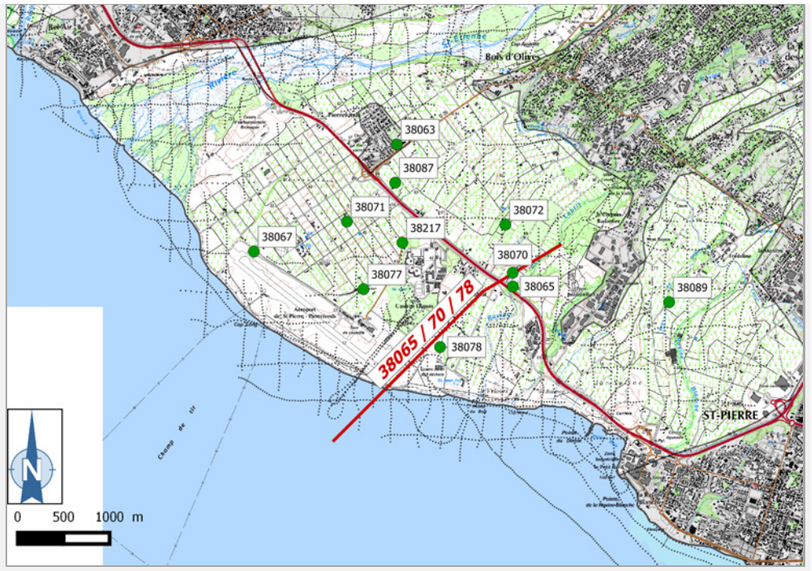
Code Office de l'eau :	**38065**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	F15 La Vallée aval Pierrefonds
Code BSS :	12288X0065/F15

X (m NGR)	338534
Y (m NGR)	7642051
Altitude (m NGR)	35.01
Profondeur (m NGR)	-84.99



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

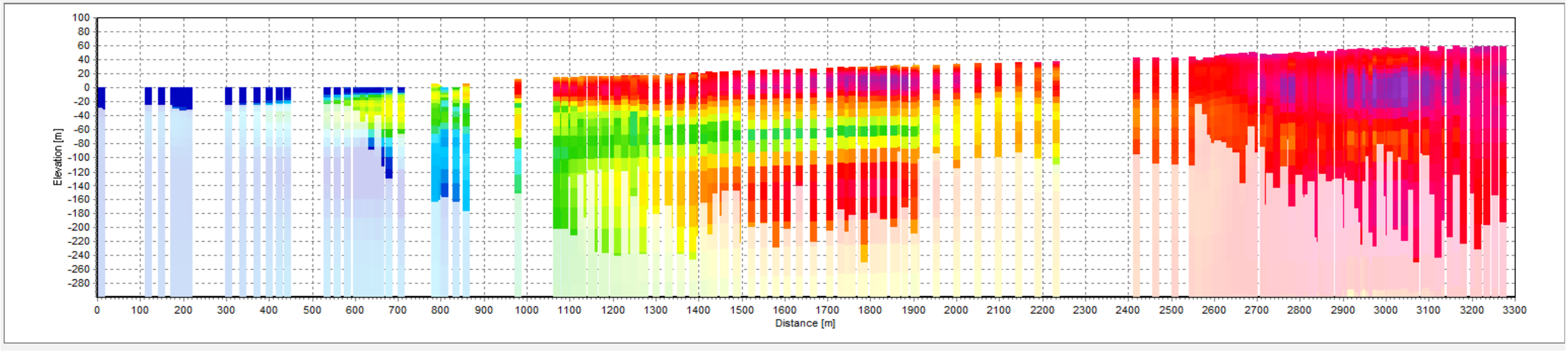
Les logs CE n'imagent pas l'intrusion saline

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline double avec une première anomalie horizontale entre - 80 et -120 m NGR (eau saumâtre - 10/30 Ω.m) et une seconde plus profonde en dessous de - 200 m NGR (eau salée 7 Ω.m).

Représentativités du point RIS

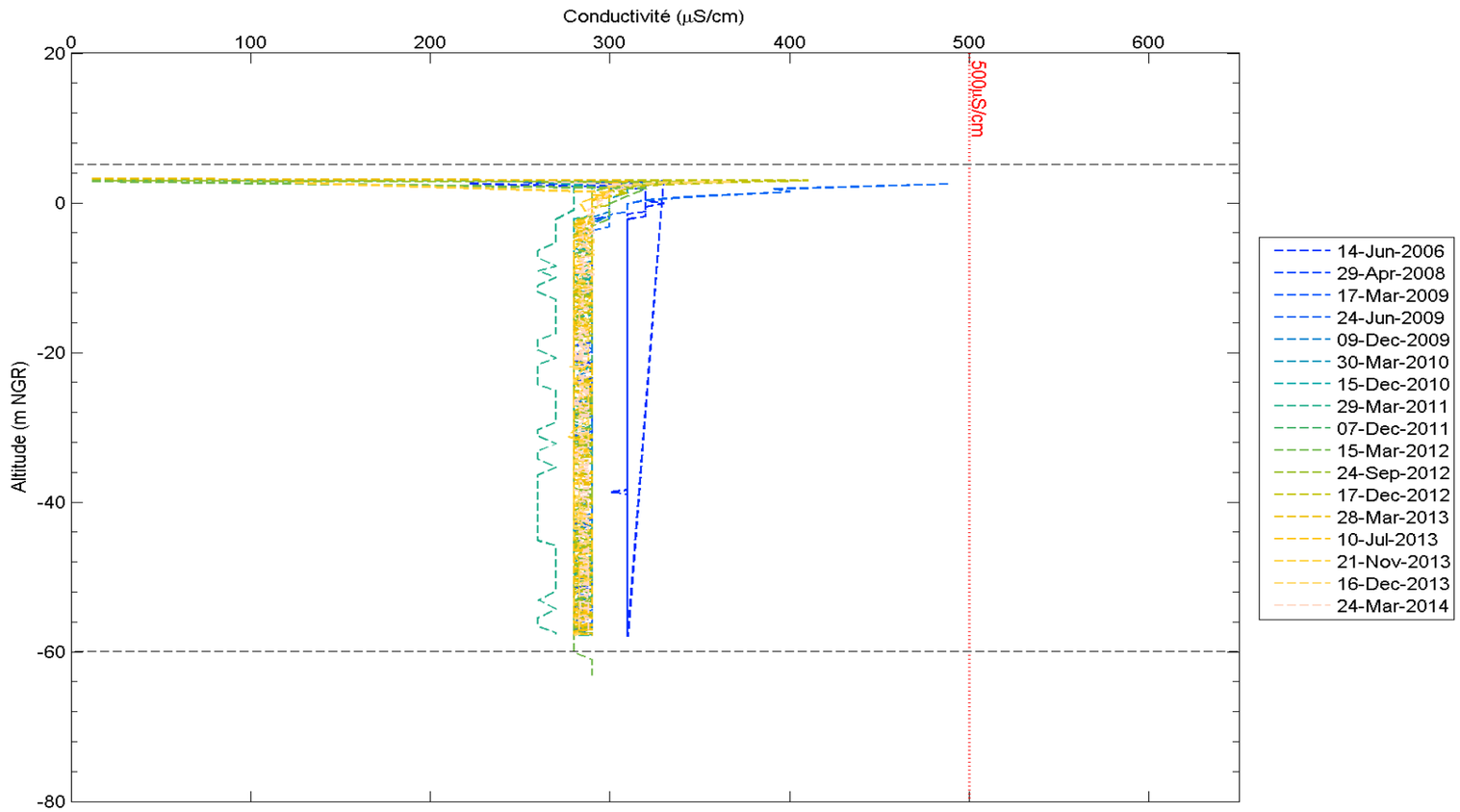
Conduire d'autres logs de conductivités en profondeur afin de vérifier une possible variabilité saisonnière. La majorité des logs ayant été réalisée est hors des crépines.



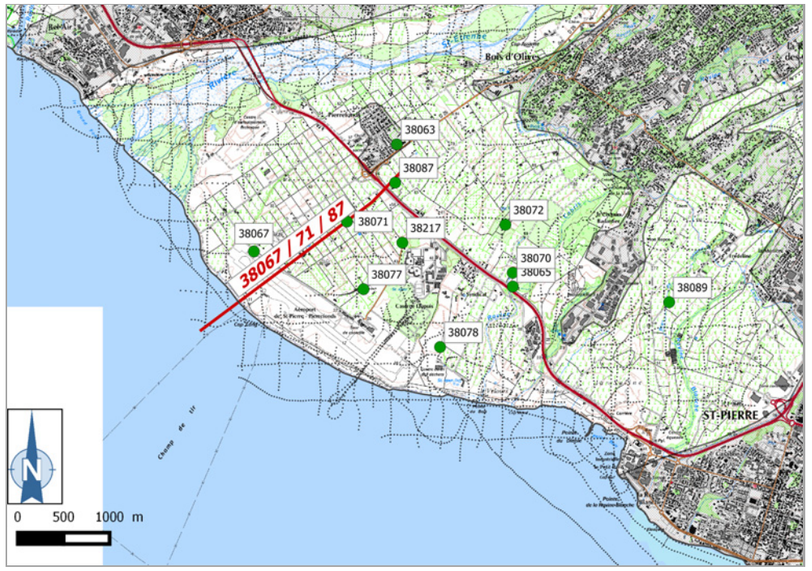
Code Office de l'eau :	**38067**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	F12 aérodrome Pierrefonds
Code BSS :	12288X0067/F12

X (m NGR)	335714
Y (m NGR)	7642433
Altitude (m NGR)	20.09
Profondeur (m NGR)	-59.91



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

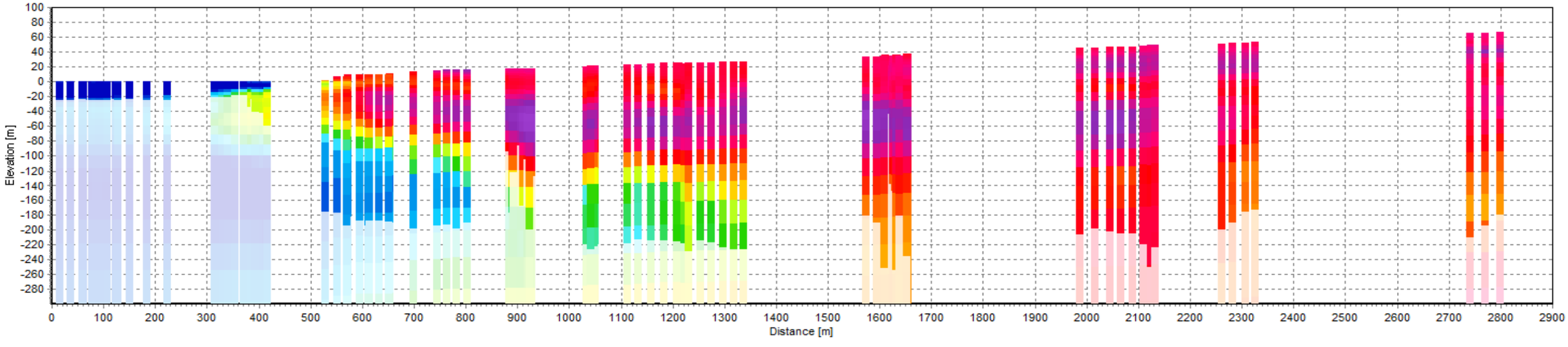
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline. Pas de variations temporelles.

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline à -140 m NGR (7/10 Ω.m) au droit du piézomètre F12. L'épaisseur de la zone de transition est d'environ ≈ 40 m.

Représentativités du point RIS

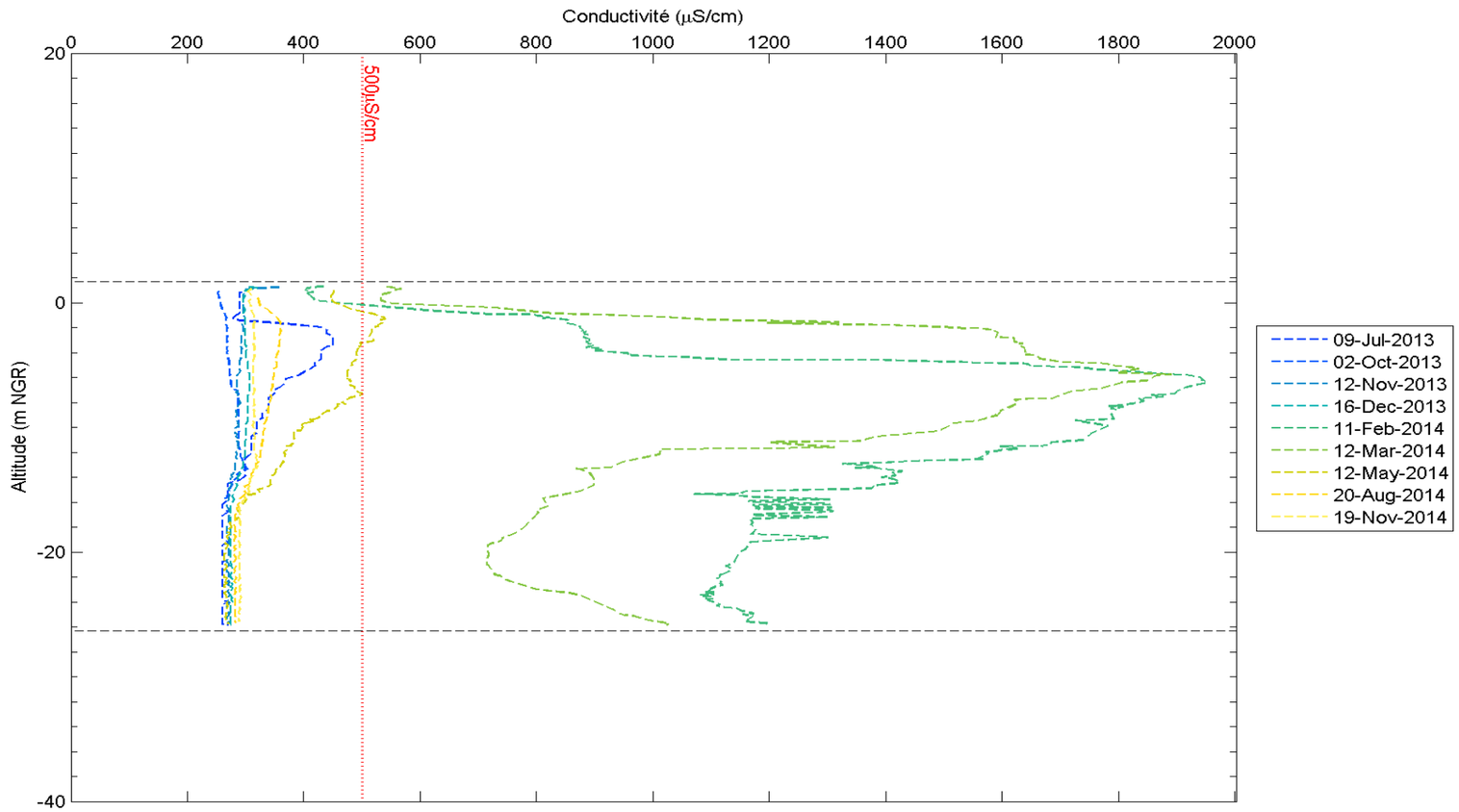
L'ouvrage suivi est bien positionné pour imager l'intrusion. Néanmoins il n'est pas assez profond pour l'atteindre. Le piézomètre est un bon indicateur en cas de dégradation de la ressource.
Revoir la précision +10/-10 µS/cm des sondes CTD.



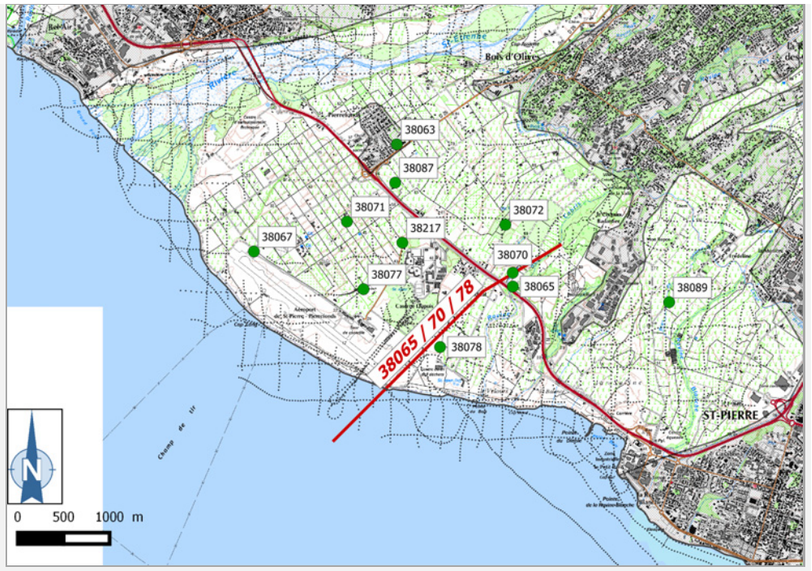
Code Office de l'eau :	**38070**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	ɔ ravine des Cabris Syndicat Pierrefor
Code BSS :	12288X0070/F10

X (m NGR)	338533
Y (m NGR)	7642201
Altitude (m NGR)	47.84
Profondeur (m NGR)	-27.16



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

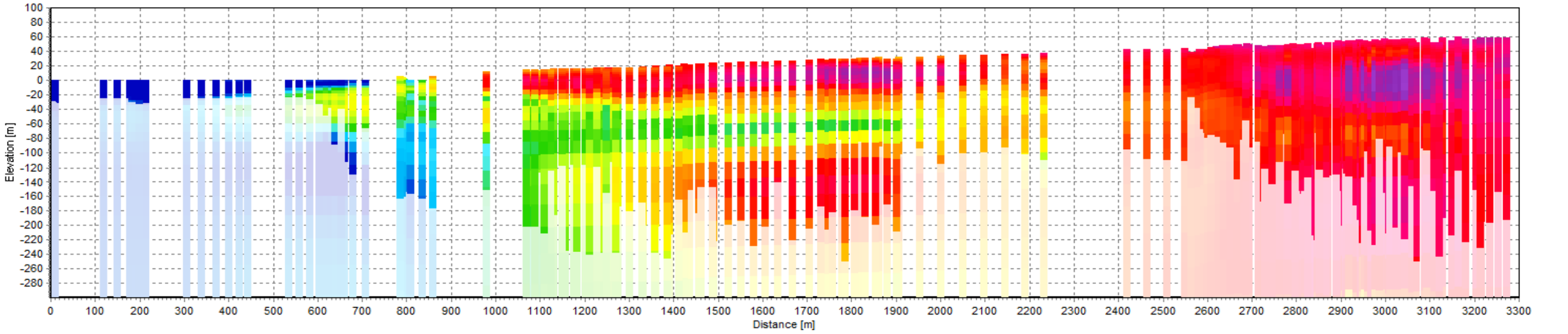
Les logs CE illustrent deux classes de conductivités différentes. Une première inférieure à 500 µS/cm (basses eaux) alors que la seconde atteint 1900 µS/cm (hautes eaux). Le phénomène de minéralisation ne semble pas être expliqué par l'intrusion saline. D'autres phénomènes peuvent être évoqués (lessivage, pollution via l'écoulement de surface de la Ravine des Cabris).

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline double avec une première anomalie horizontale entre - 80 et -120 m NGR (eau saumâtre - 10/30 Ω.m) et une seconde plus profonde en dessous de - 200 m NGR (eau salée 7 Ω.m).

Représentativités du point RIS

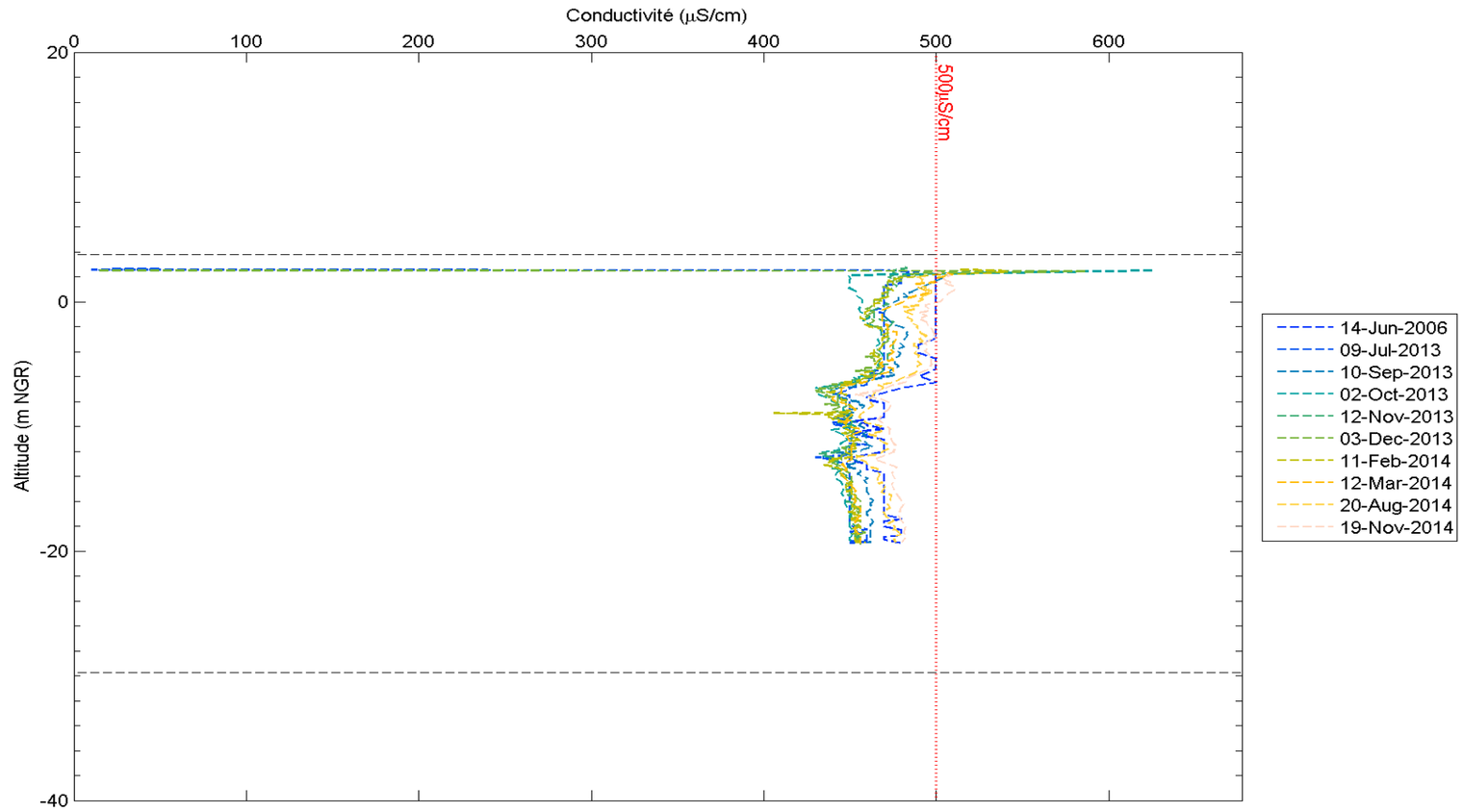
Déterminer l'origine des variations de CE. L'utilisation d'outils chimiques et isotopiques pourrait permettre de caractériser l'origine de la minéralisation.
Ne semble pas adapté pour un réseau RIS.


Elevation [m]
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
-240
-260
-280
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
Distance [m]

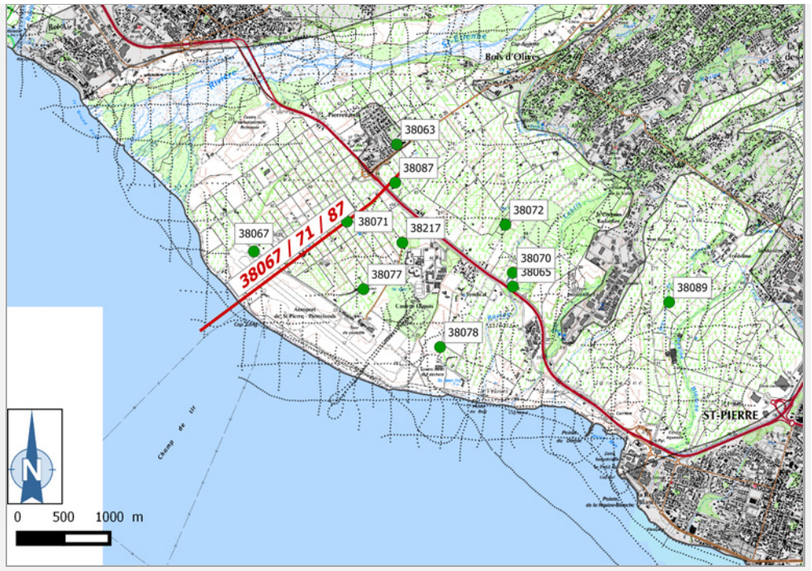
Code Office de l'eau :	**38071**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	F7 Pierrefonds 3
Code BSS :	12288X0071/F7

X (m NGR)	336727
Y (m NGR)	7642759
Altitude (m NGR)	45.28
Profondeur (m NGR)	-29.72



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

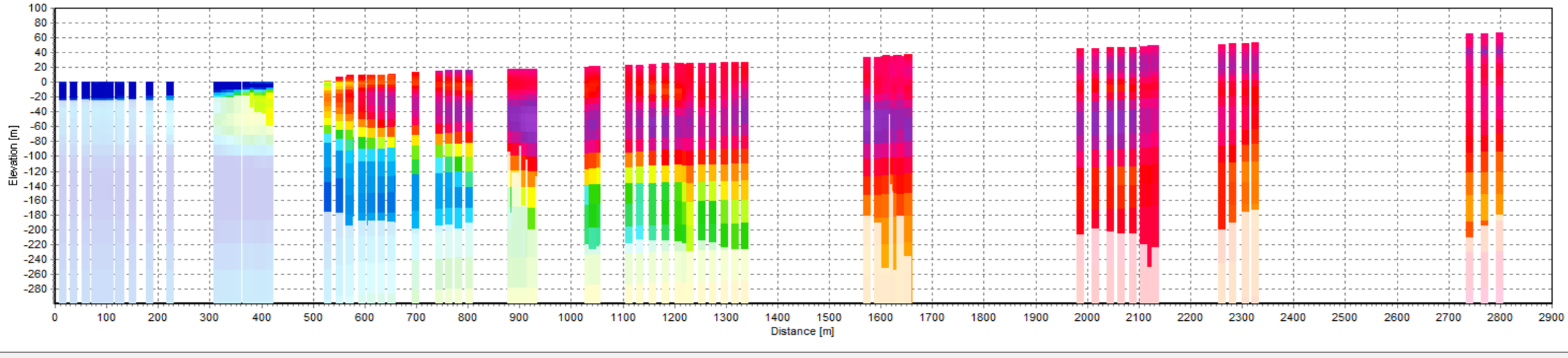
Les logs CE n'imagent pas l'intrusion saline (< 500 µS/cm).

Interprétation AEM

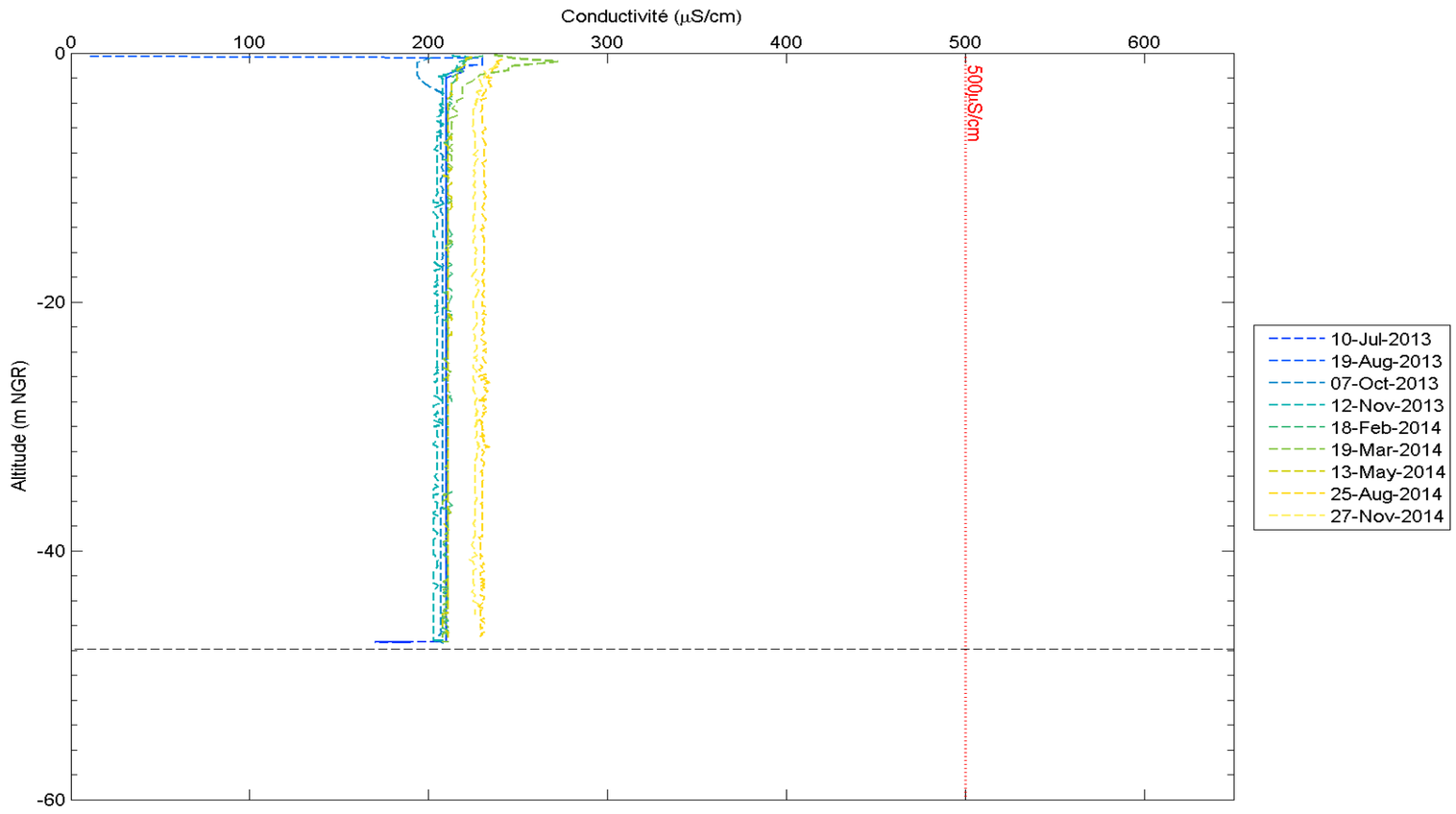
L'AEM image une intrusion saline à -140 m NGR (7/10 Ω.m) en aval du forage.
L'épaisseur de la zone de transition est d'environ ≈ 40 m.

Représentativités du point RIS

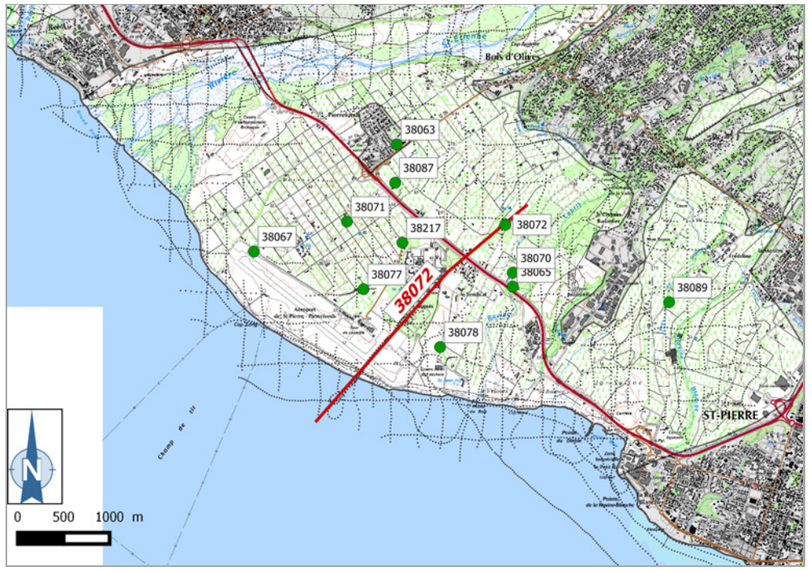
Les logs s'arrêtent à -20 m NGR (présence de la réduction de diamètre ?). Le point semble peu intéressant pour le suivi de l'intrusion saline (trop éloigné de la côte, pas assez profond).



Code Office de l'eau :	**38072**	Nom usuel :	F9 Dupuis 1 Pierrefonds	X (m NGR)	338453
Secteur d'étude :	Pierrefonds	Code BSS :	12288X0072/F9	Y (m NGR)	7642725
				Altitude (m NGR)	64.79
				Profondeur (m NGR)	-54.21



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

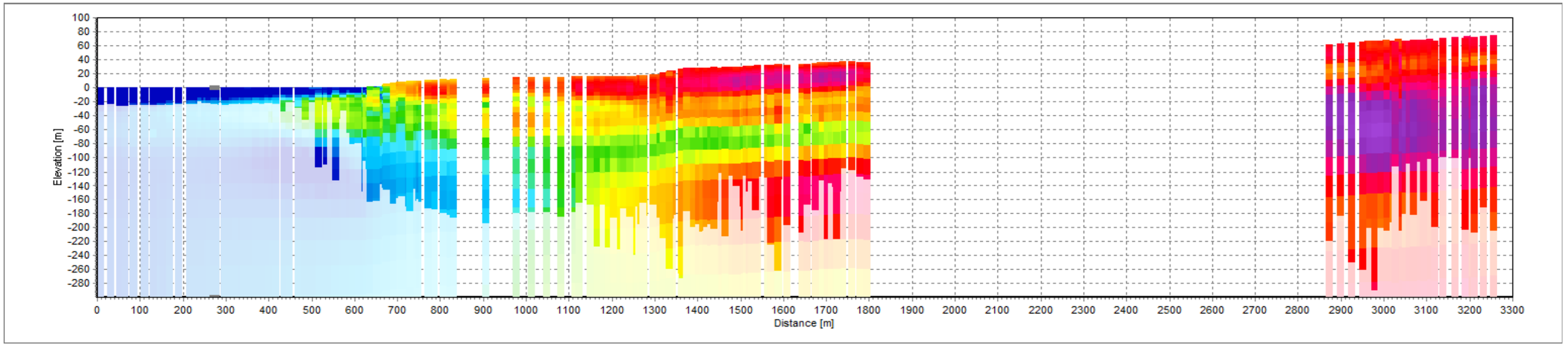
Les logs CE n'imagent pas l'intrusion saline (< 500 µS/cm).

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline double avec une première anomalie horizontale entre - 80 et -120 m NGR (eau saumâtre - 10/30 Ω.m) et une seconde plus profonde en dessous de - 200 m NGR (eau salée 7 Ω.m).

Représentativités du point RIS

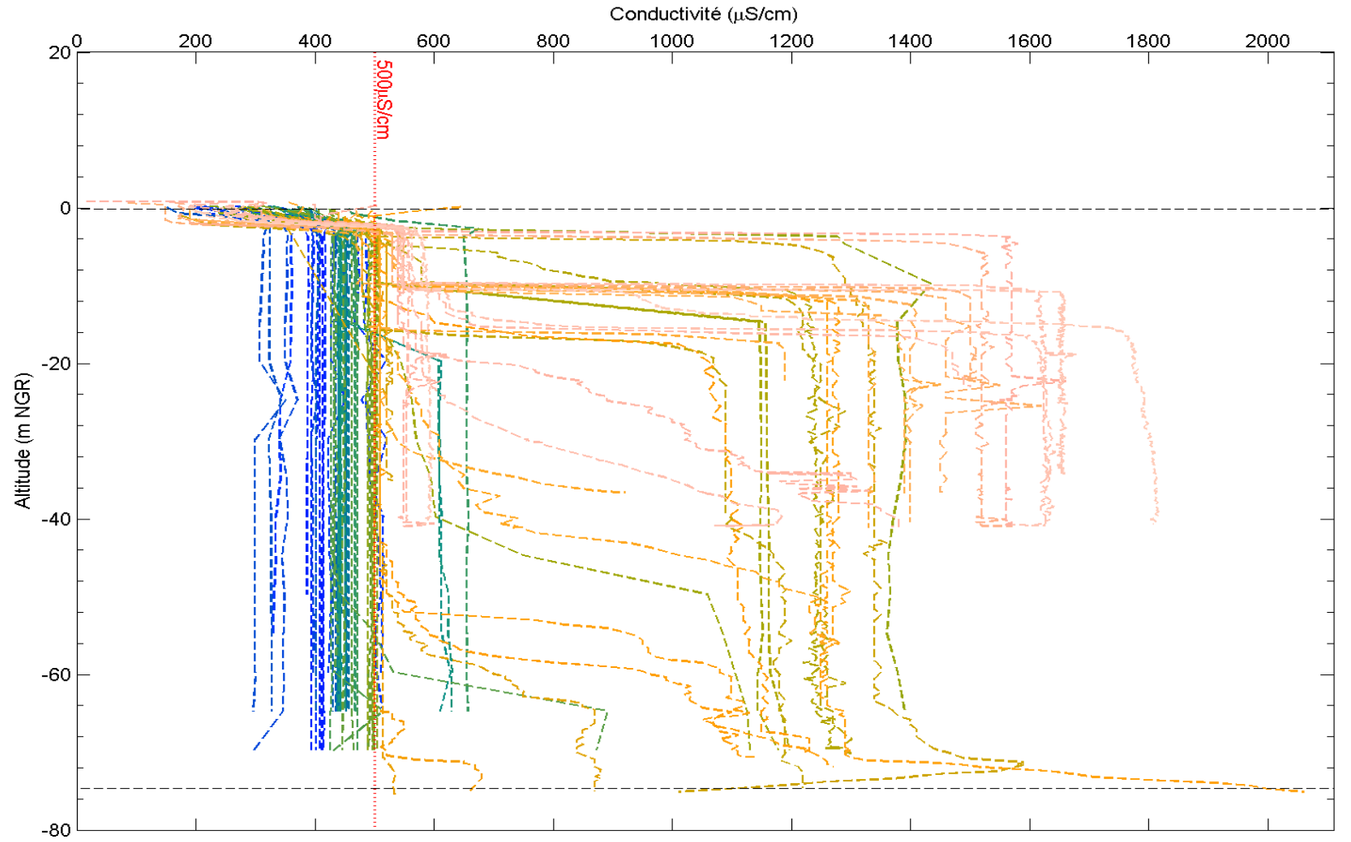
Le point semble peu intéressant pour le suivi de l'intrusion saline (trop éloigné de la côte, pas assez profond).

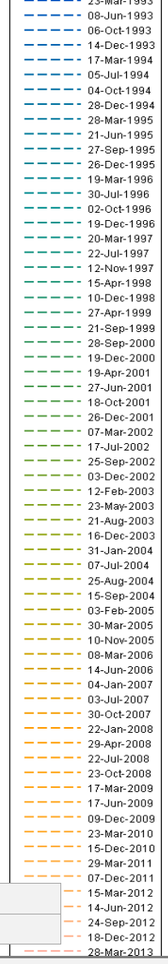


Code Office de l'eau :	**38077**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

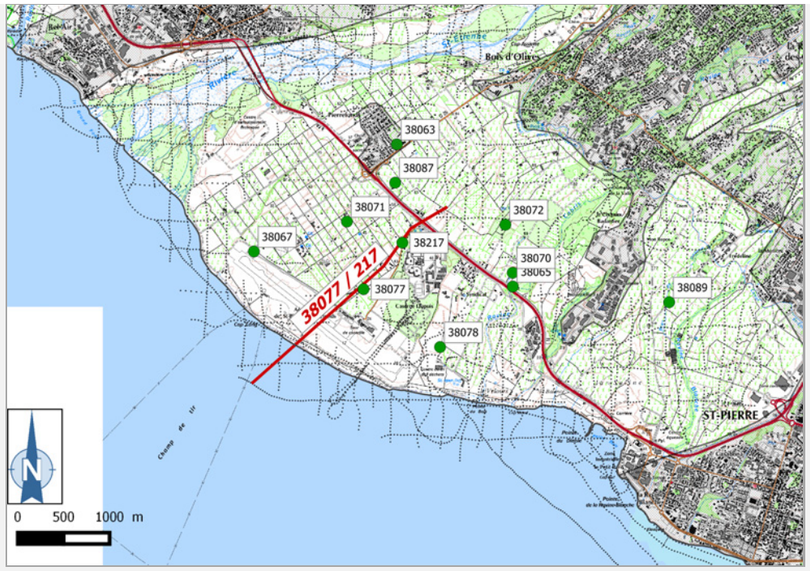
Nom usuel :	P12 aérogare ch.des pêcheurs
Code BSS :	12288X0077/P12

X (m NGR)	336908
Y (m NGR)	7642022
Altitude (m NGR)	30.81
Profondeur (m NGR)	-79.19





Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

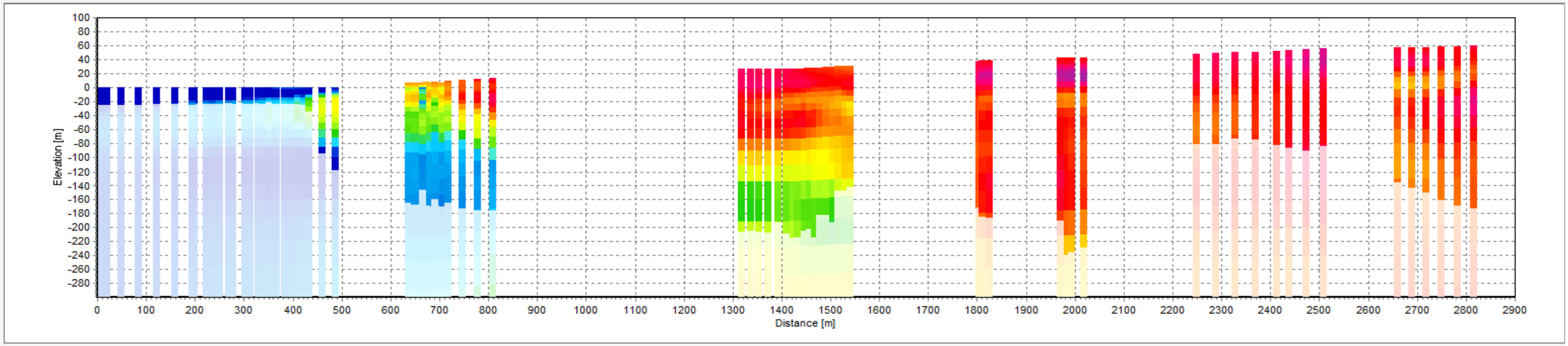
Les logs CE imagent une dégradation de la ressource (augmentation de ≈ 1000 µS/cm).

Interprétation AEM

La géométrie de l'interface eau douce / eau salée est complexe (artéfacts ou phénomène naturel ?).

Représentativités du point RIS

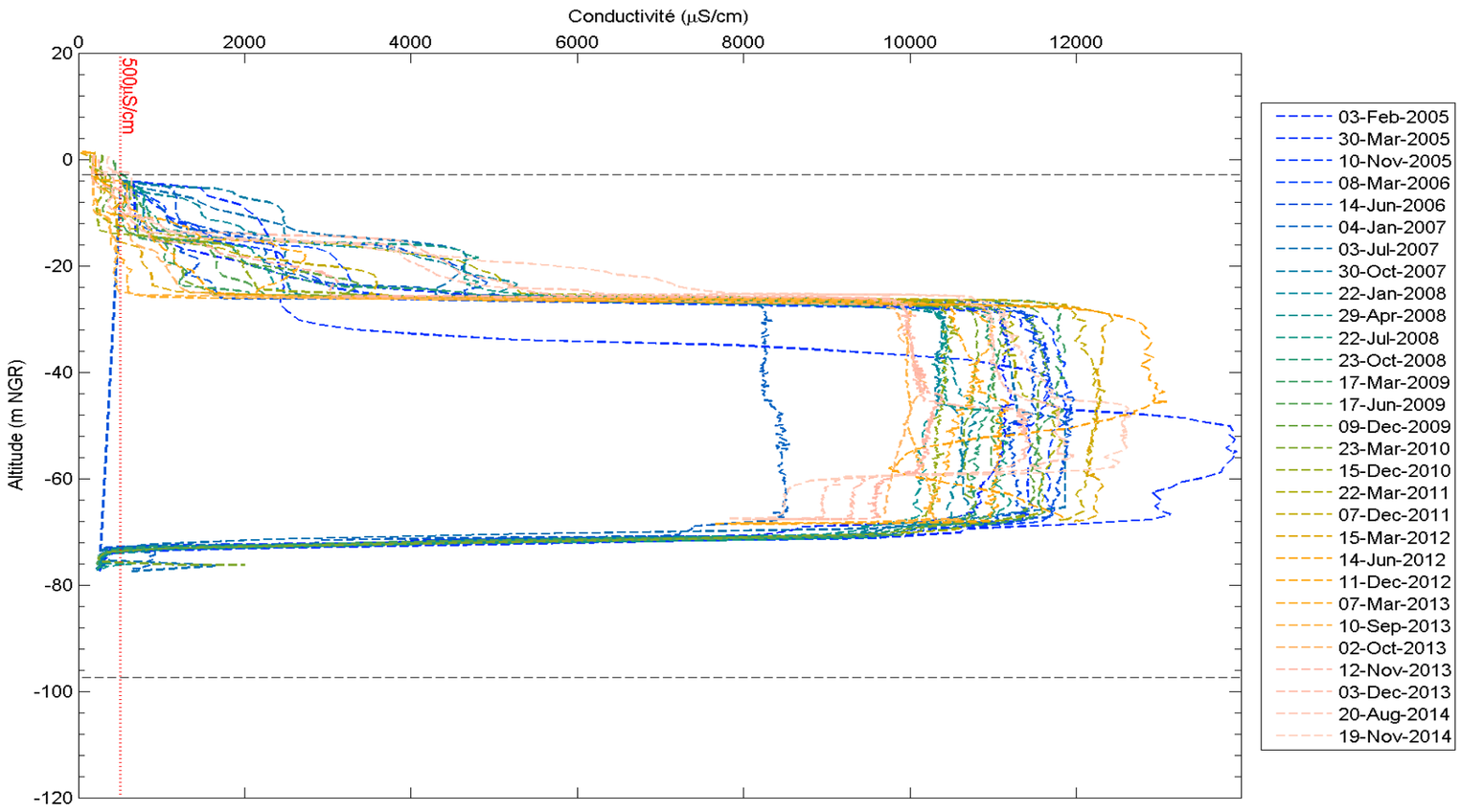
L'intrusion saline dans ce secteur est complexe et contrôlé par plusieur facteurs (géologique et/ou hydrogéologique). Cette complexité imagé par la géophysique et corrélé avec la dégradation de P12 alors que P11 semble stable dans le temps.



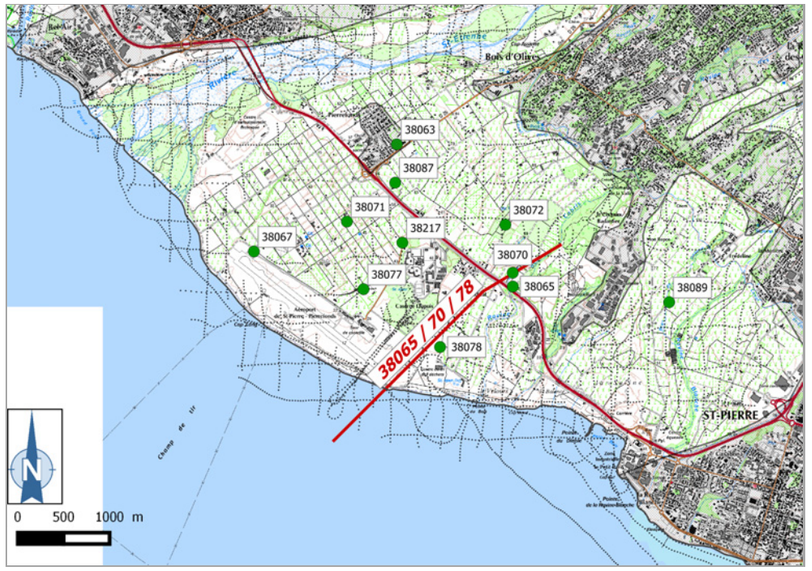
Code Office de l'eau :	**38078**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	P11 Syndicat aval Pierrefonds
Code BSS :	12288X0078/P11

X (m NGR)	337742
Y (m NGR)	7641391
Altitude (m NGR)	22.64
Profondeur (m NGR)	-97.36



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

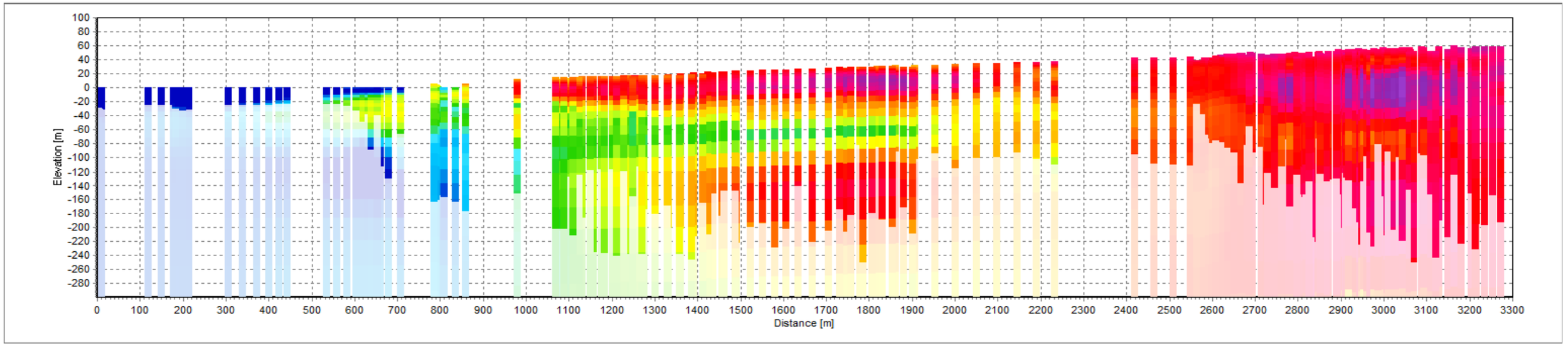
Les logs CE imagent clairement la première partie de l'intrusion saline double avec des conductivité jusqu'à 10/12 mS/cm. Contrairement à P12, pas de dégradation est visible sur les logs.

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline double avec une première anomalie horizontale entre - 20 et -80 m NGR (eau saumâtre - 10/30 Ω.m) et une seconde plus profonde en dessous de - 200 m NGR (eau salée 7 Ω.m).

Représentativités du point RIS

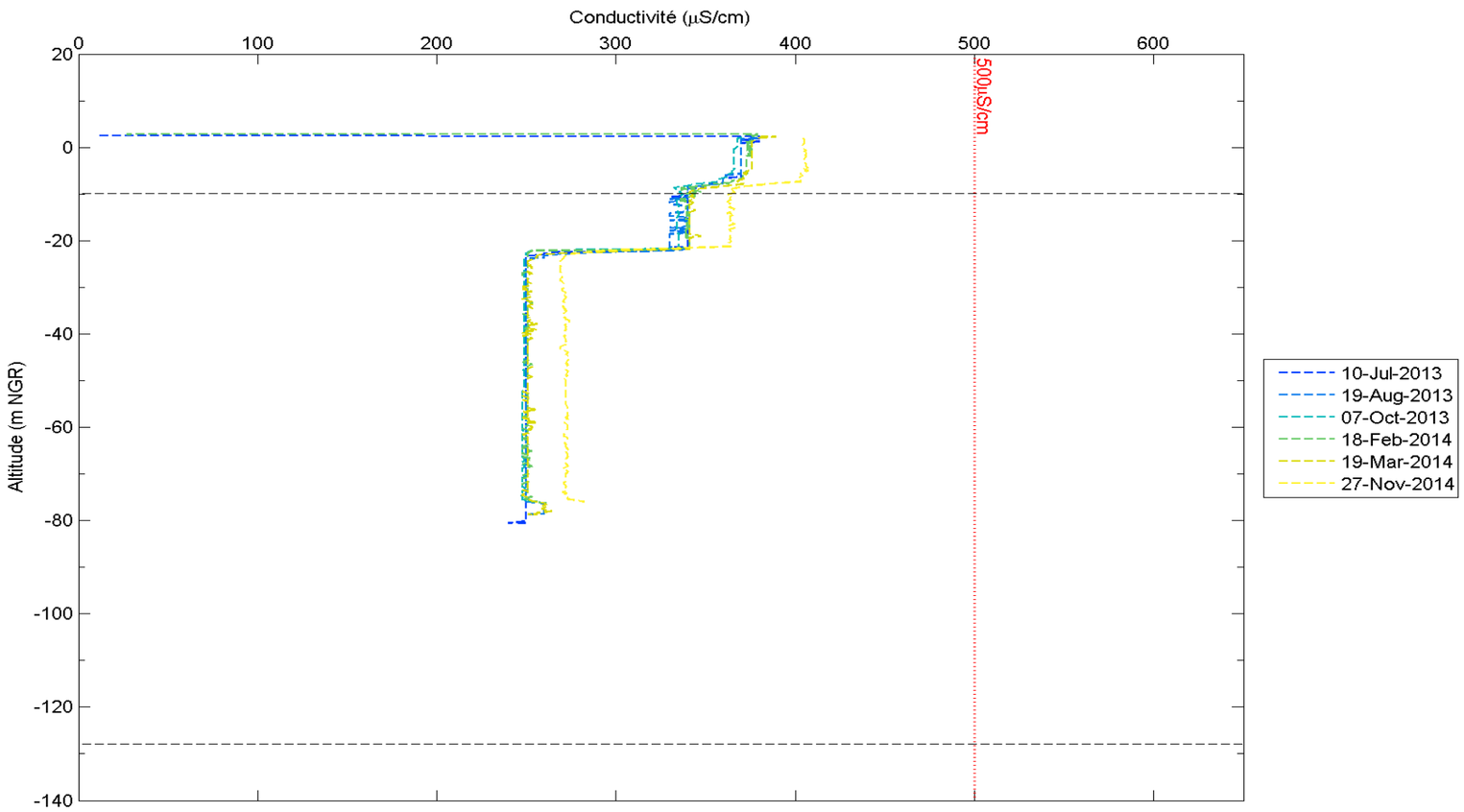
L'intrusion saline dans ce secteur est complexe et contrôlé par plusieur facteurs (géologique et/ou hydrogéologique). Cette complexité imagé par la géophysique et corrélé avec la dégradation de P12 alors que P11 semble stable dans le temps.



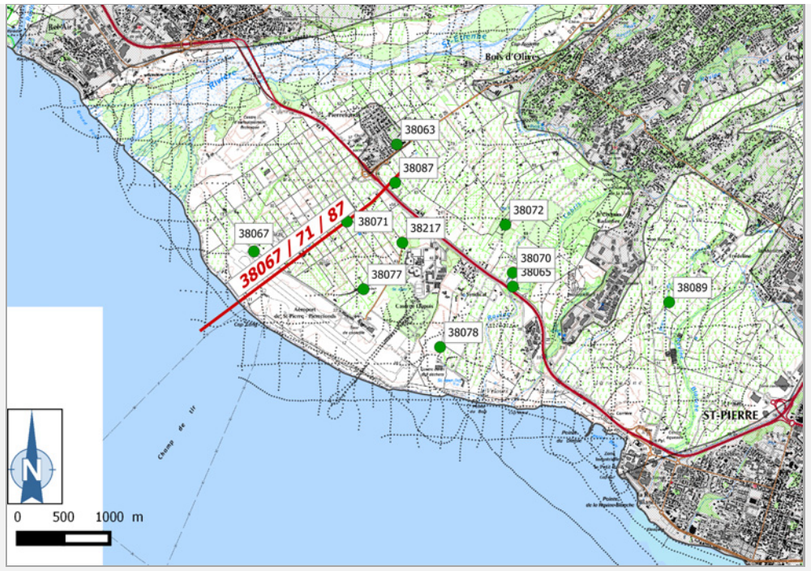
Code Office de l'eau :	**38087**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	PIERRE FONDS DUPUIS N.3
Code BSS :	12288X0087/F

X (m NGR)	337253
Y (m NGR)	7643184
Altitude (m NGR)	62.1
Profondeur (m NGR)	-127.9



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

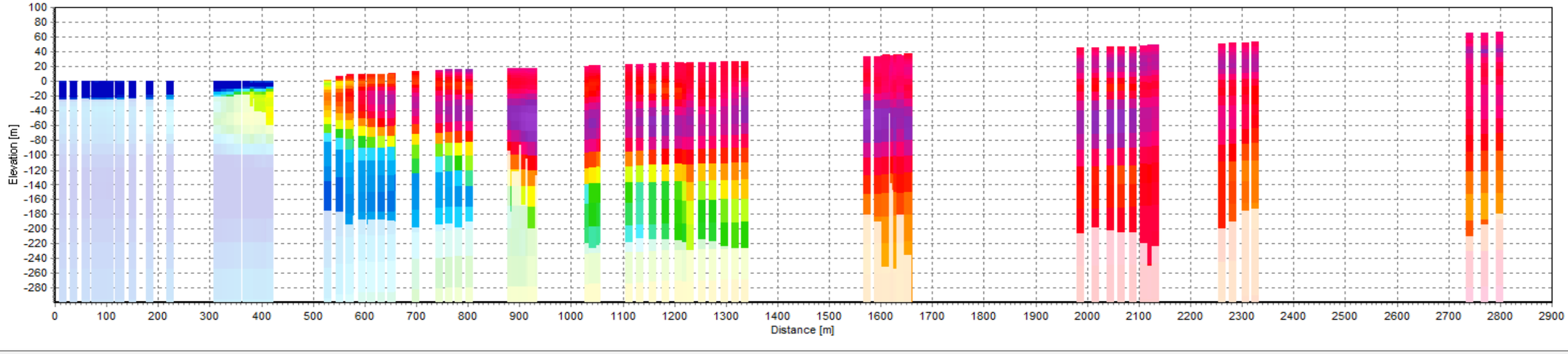
Les logs CE mesurent des conductivités plus forte au dessus de la crépine qu'en face. Pollution du tube ? Les conductivtés restent inférieure à 500 µS/cm jusqu'à -80 m NGR.

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline à -140 m NGR (7/10 Ω.m) en aval du forage. L'épaisseur de la zone de transition est d'environ ≈ 40 m.

Représentativités du point RIS

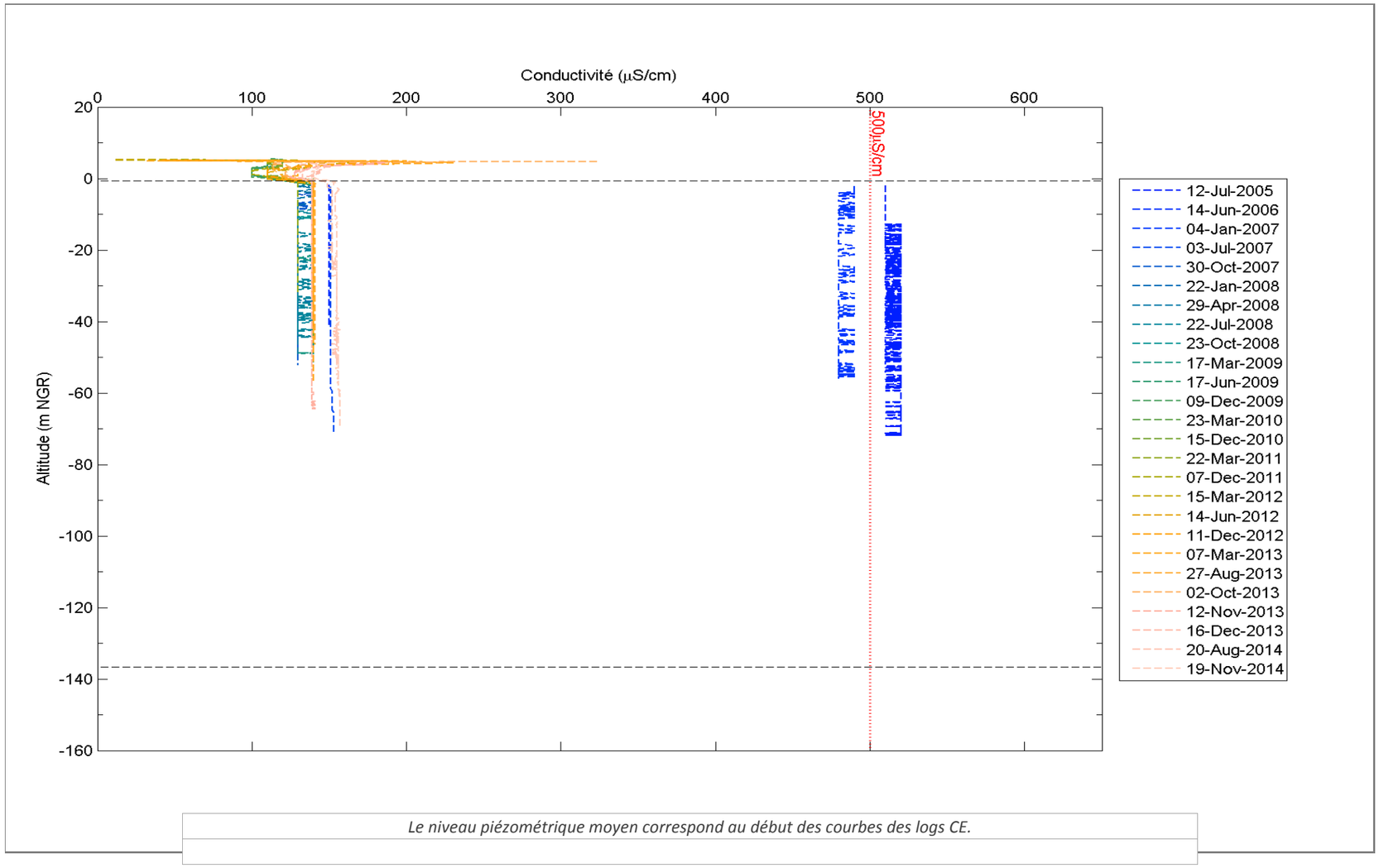
Le point semble peu intéressant pour le suivi de l'intrusion saline (trop éloigné de la côte, pas assez profond).



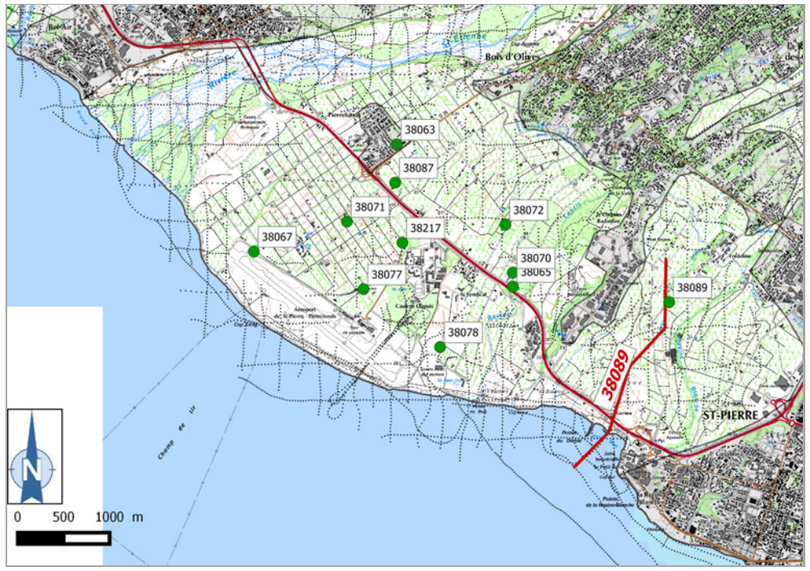
Code Office de l'eau :	**38089**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	F Ravine Blanche
Code BSS :	12288X0089/PIEZO.

X (m NGR)	340237
Y (m NGR)	7641880
Altitude (m NGR)	60.91
Profondeur (m NGR)	-137.09



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

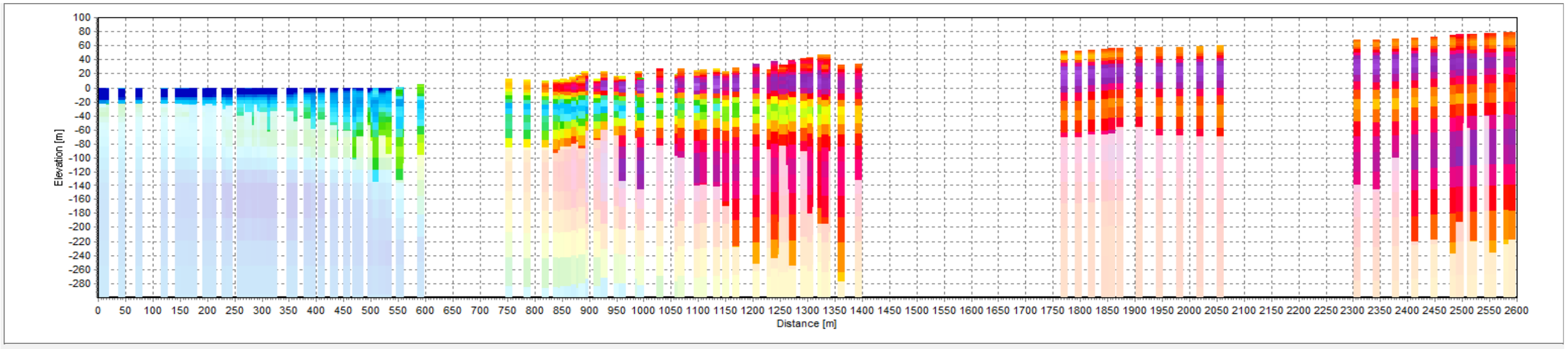
Les logs CE n'imagent pas d'intrusion saline avec une eau très peu minéralisé (≈ 150 µS/cm). Néanmoins deux logs (12/07/2005 et 04/01/2007) sont plus minéralisé (≈ 500 µS/cm). Ce phénomène de minéralisation ne semble pas être expliqué par l'intrusion saline. D'autres phénomènes peuvent être évoqués (lessivage, pollution via l'écoulement de surface de la Ravine des Cabris).

Interprétation AEM

L'AEM image une intrusion saline double avec une première anomalie horizontale entre - 20 et -60 m NGR (eau saumâtre - 10/30 Ω.m) et une seconde plus profonde en dessous de - 200 m NGR (eau salée 7 Ω.m). La prmeière anomalie pénètre plus profondément que pour les autres points de suivis.

Représentativités du point RIS

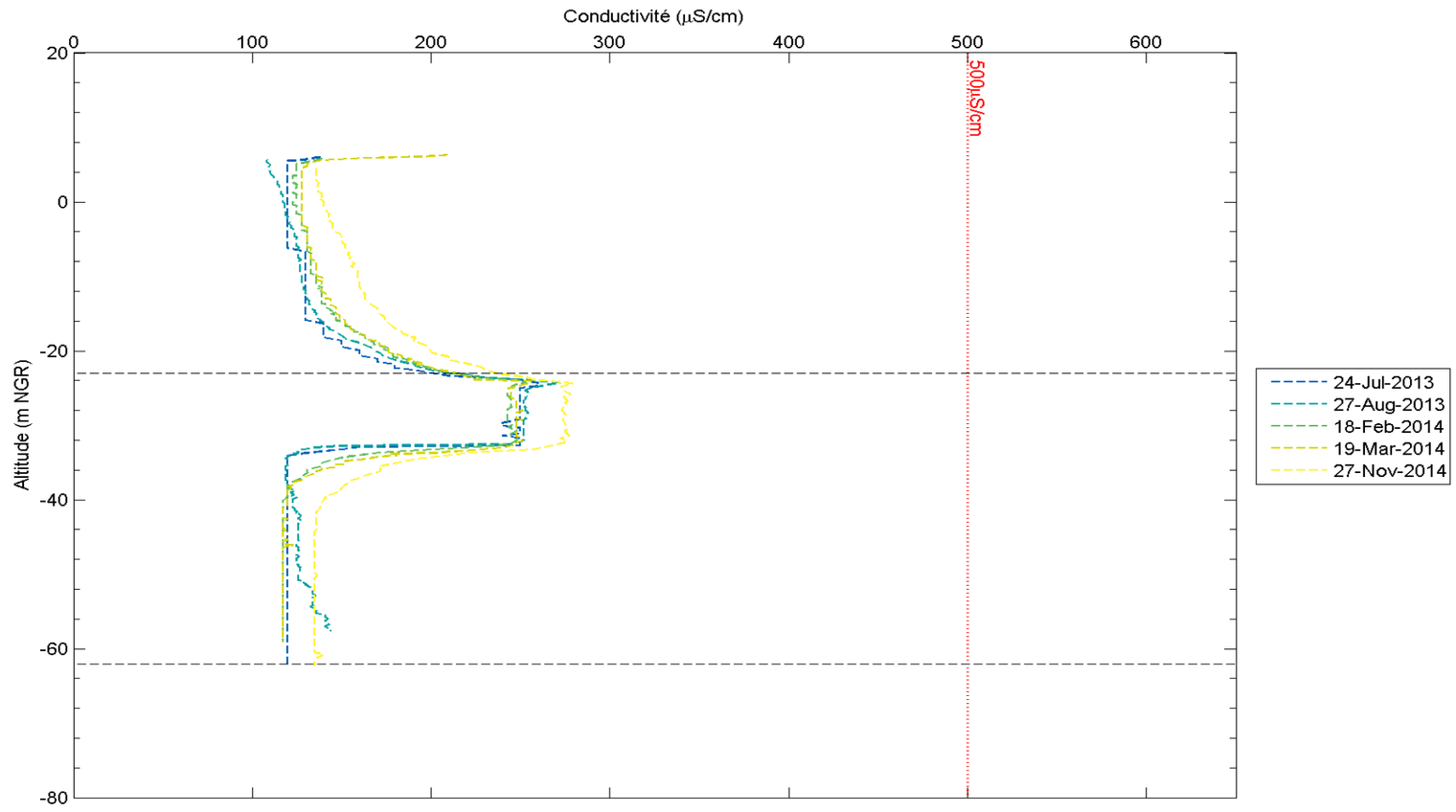
Attention à la précision à 10 µS/cm près des logs. La première anomalie conductrice imageant l'intrusion saline se prolonge jusqu'au forage avec des résistivités assez faible (≈ 30/50 Ω.m). Des analyses chimiques et isotopiques semble nécessaire pour précisé se fonctionnement hydrogéologique particulier.


Elevation [m]
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
-240
-260
-280
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750 1800 1850 1900 1950 2000 2050 2100 2150 2200 2250 2300 2350 2400 2450 2500 2550 2600
Distance [m]

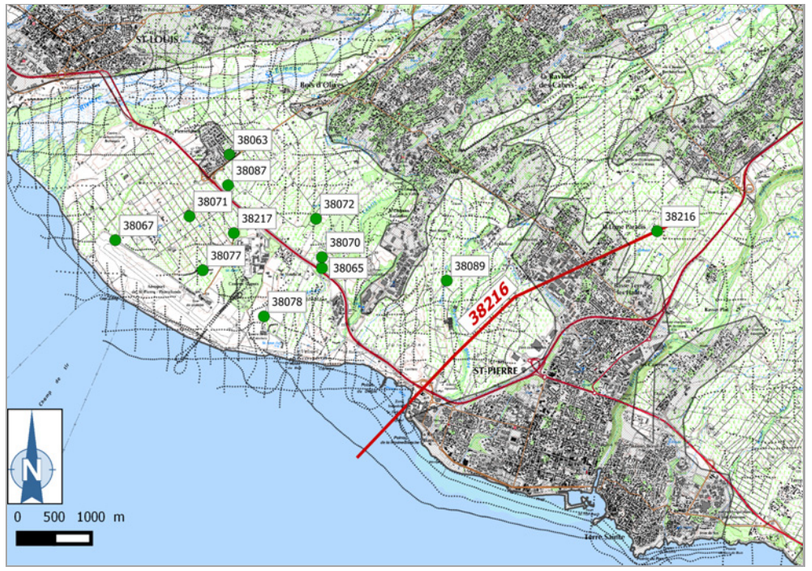
Code Office de l'eau :	**38216**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	F Chemin Salette ? Ligne Paradis
Code BSS :	12288X0216/F

X (m NGR)	343107
Y (m NGR)	7642556
Altitude (m NGR)	194.97
Profondeur (m NGR)	-62.03



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

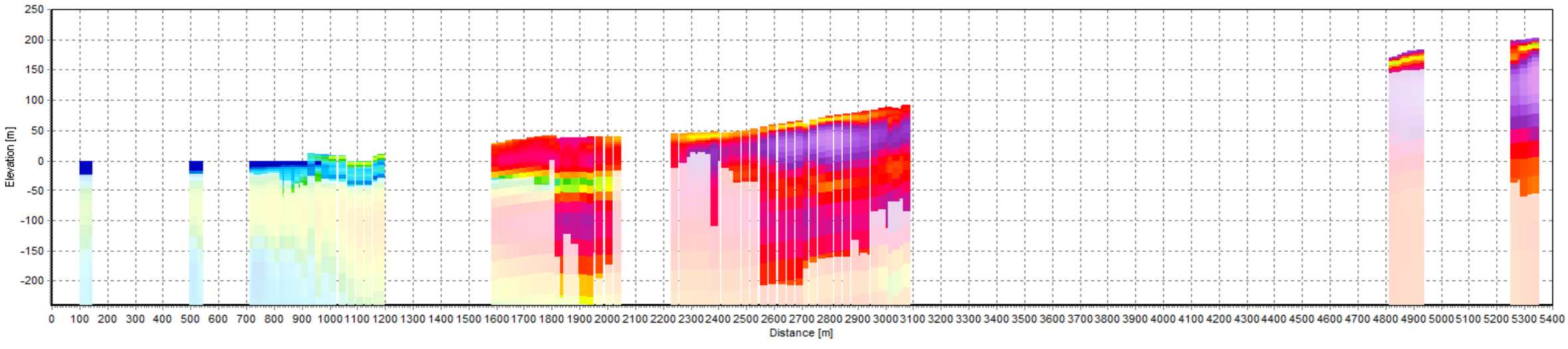
Les logs CE image une légère augmentation de la salinité entre -24 et -32 m NGR.

Interprétation AEM

La géophysique image une intrusion saline proche du littorale ainsi qui semble se prolonger dans les terres. Néanmoins cette anomalie s'arrête avant d'atteindre l'ouvrage suivi.

Représentativités du point RIS

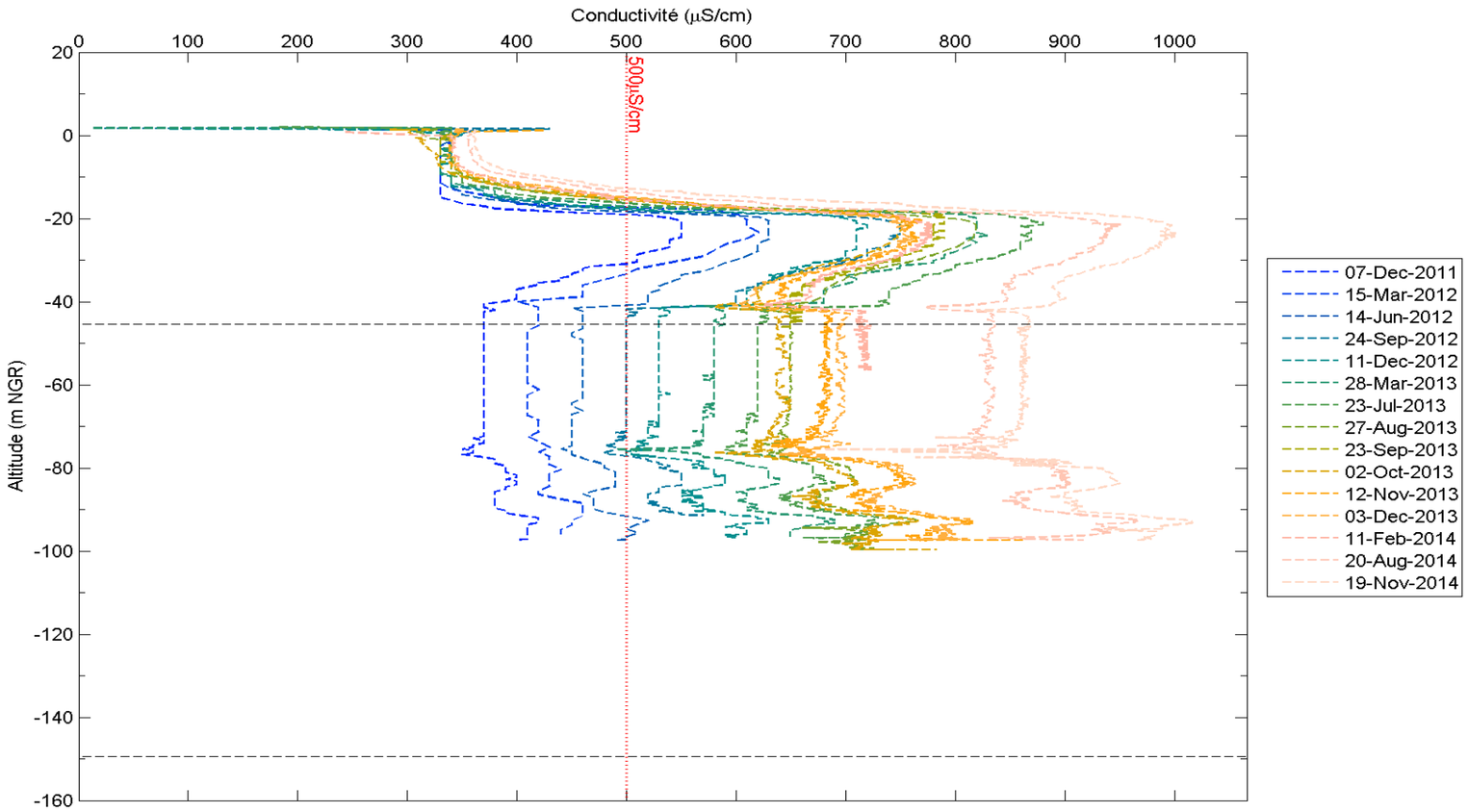
Les variations de CE ne semblent pas liées à l'intrusion saline. Le point semble peu intéressant pour le suivi de l'intrusion saline (trop éloigné de la côte, pas assez profond).



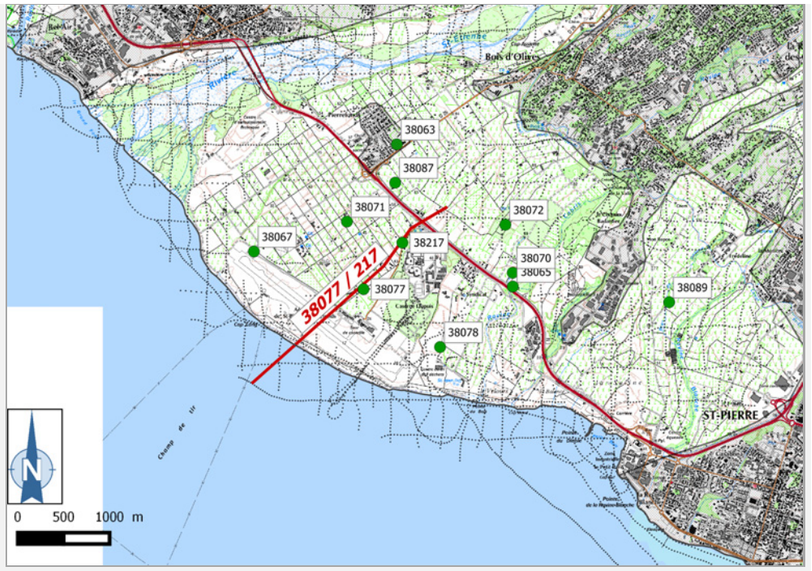
Code Office de l'eau :	**38217**
Secteur d'étude :	Pierrefonds

Nom usuel :	S2 Caserne Pierrefonds
Code BSS :	12288X0217/P

X (m NGR)	337331
Y (m NGR)	7642529
Altitude (m NGR)	48.49
Profondeur (m NGR)	-151.51



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

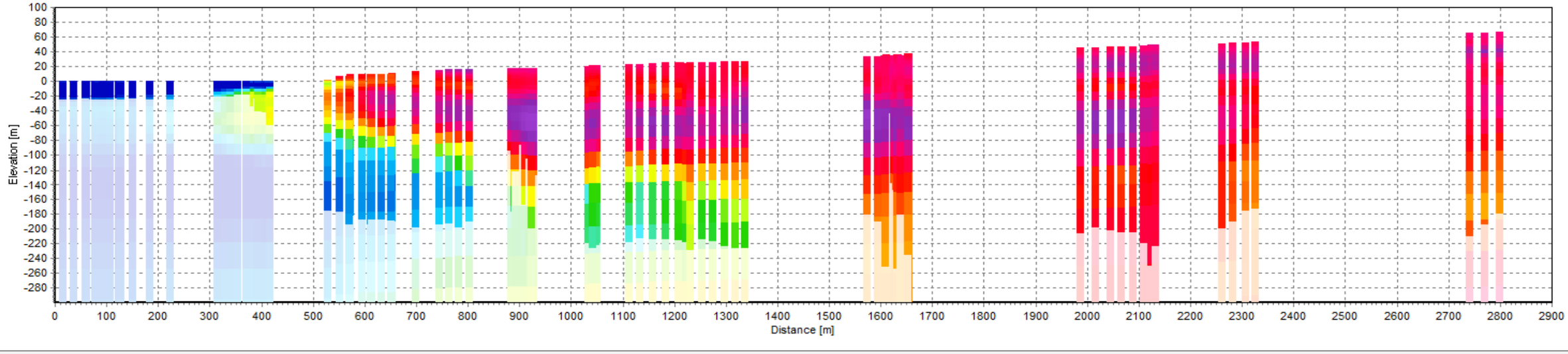
Les logs CE imagent une dégradation de la ressource (augmentation de ≈ 600 µS/cm). Cette évolution est en accord avec le piézomètre P12 plus en aval. De plus le suivi CE permet de visualiser les différentes arrivées d'eau.

Interprétation AEM

La géométrie de l'interface eau douce / eau salée est complexe (artéfacts ou phénomène naturel ?).

Représentativités du point RIS

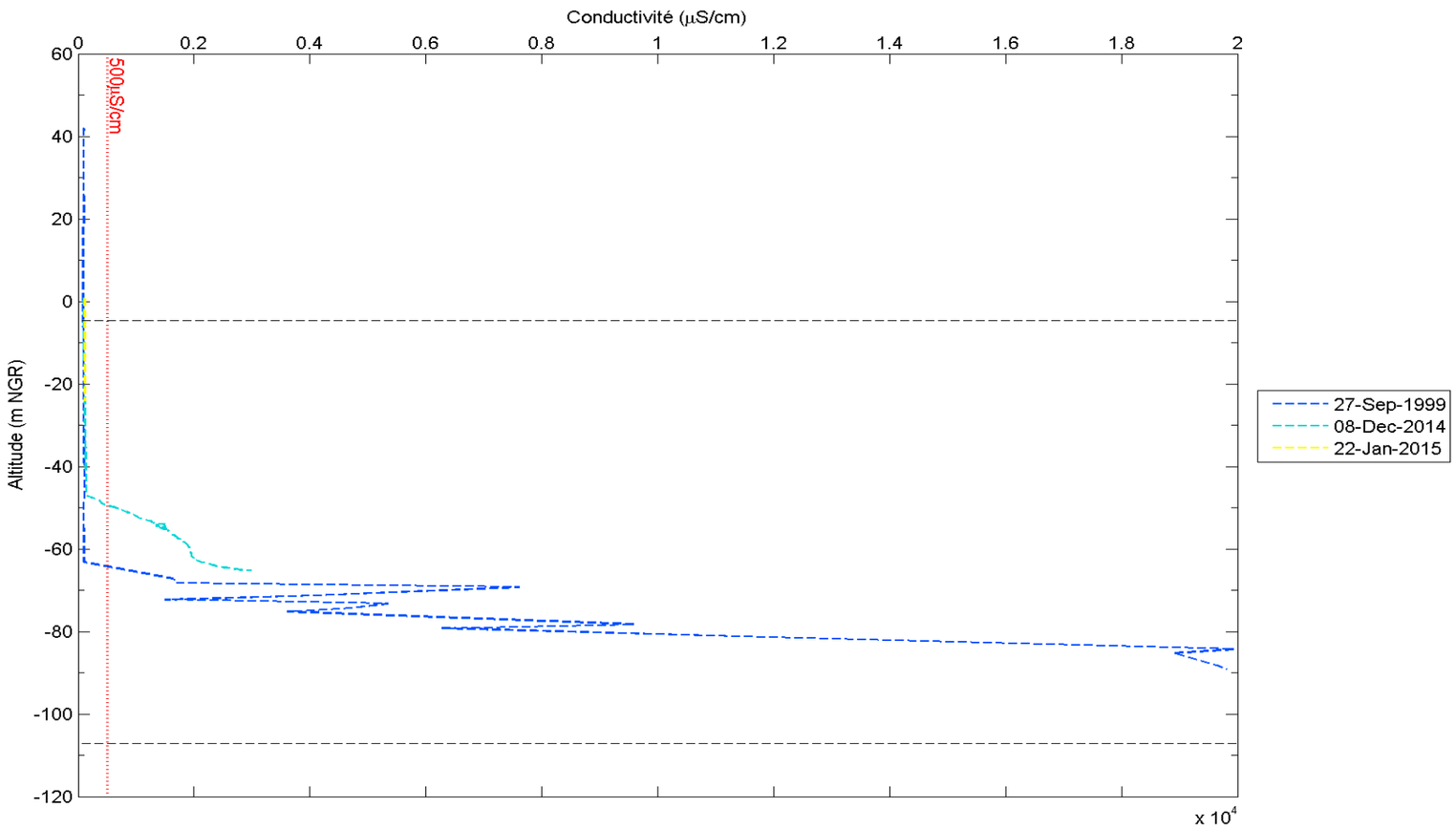
L'intrusion saline dans ce secteur est complexe et contrôlé par plusieur facteurs (géologique et/ou hydrogéologique). Néanmoins le piézomètre semble contrôlé par les même paramètres que P12 qui est plus en aval.



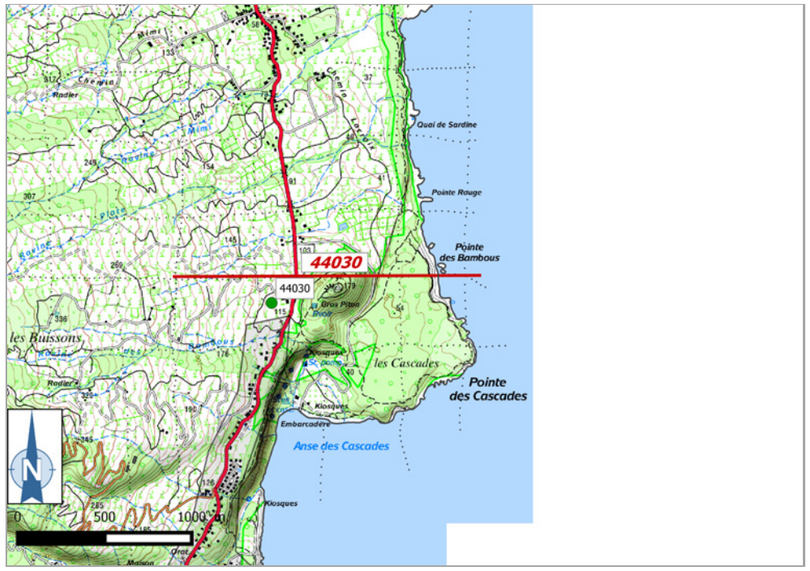
Code Office de l'eau :	**44030**
Secteur d'étude :	Anse des Cascades

Nom usuel :	F Piton Sainte-Rose
Code BSS :	12294X0030/F

X (m NGR)	378072
Y (m NGR)	7657467
Altitude (m NGR)	120.77
Profondeur (m NGR)	-129.23



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

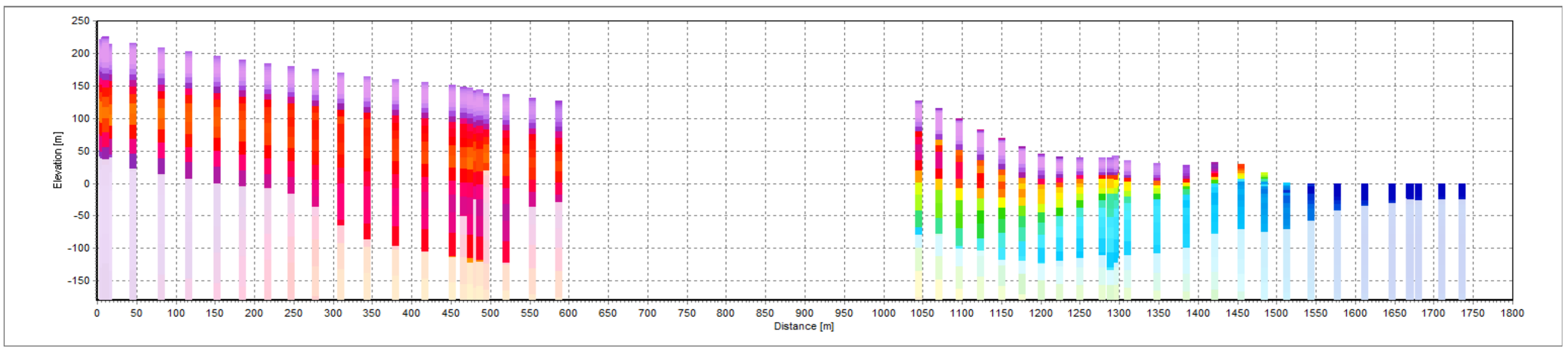
Le forage est cimenté à -62 m NGR actuellement. Le log CE de 1999 provient de la foration (effectué sur plusieurs jours d'où la forte variabilité probablement due à la marée).

Interprétation AEM

La géophysique image l'intrusion saline sous le secteur d'Anse des Cascades. Néanmoins après la falaise, elle ne détecte plus l'intrusion situé à -80 m NGR. Il est possible que le signal géophysique soit trop atténué par les 180 m de coulée de lave très résistante.

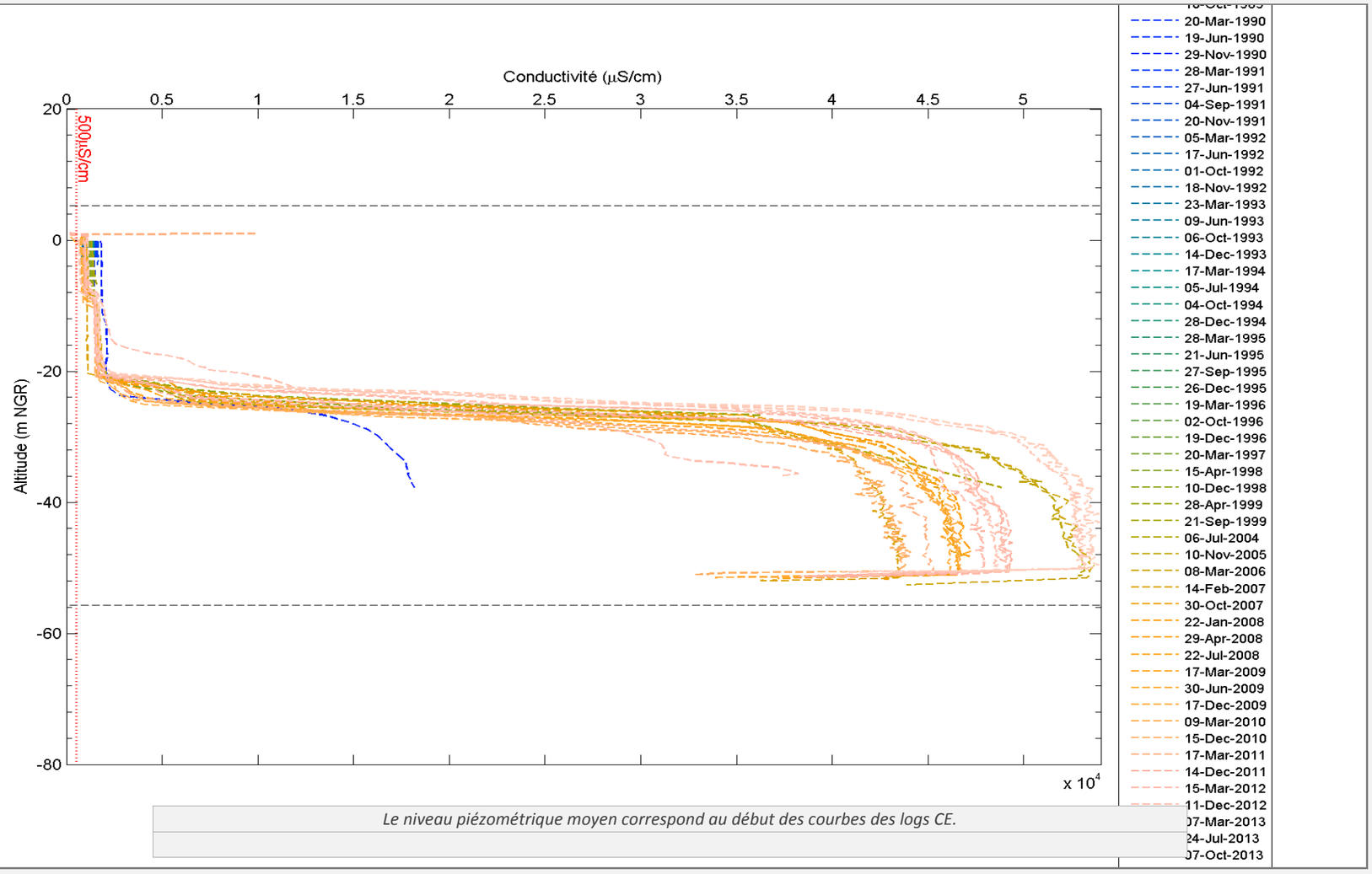
Représentativités du point RIS

En ajoutant les données CE provenant de la foration, on visualise l'augmentation de la salinité dans le forage. De plus, ce point est le seul du secteur.

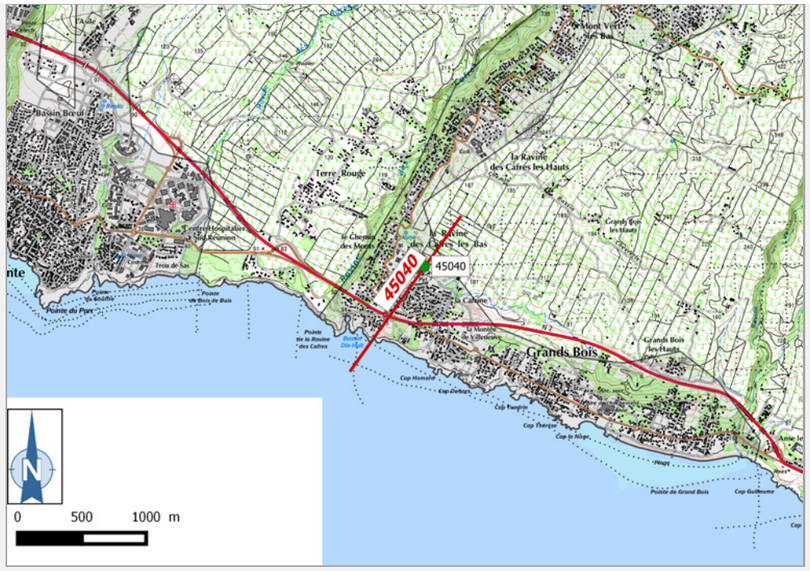


Code Office de l'eau :	**45040**	Nom usuel :	P1 La Cafrine
Secteur d'étude :	St-Joseph	Code BSS :	12295X0040/P1

X (m NGR)	345775
Y (m NGR)	7638427
Altitude (m NGR)	91.85
Profondeur (m NGR)	-57.15



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

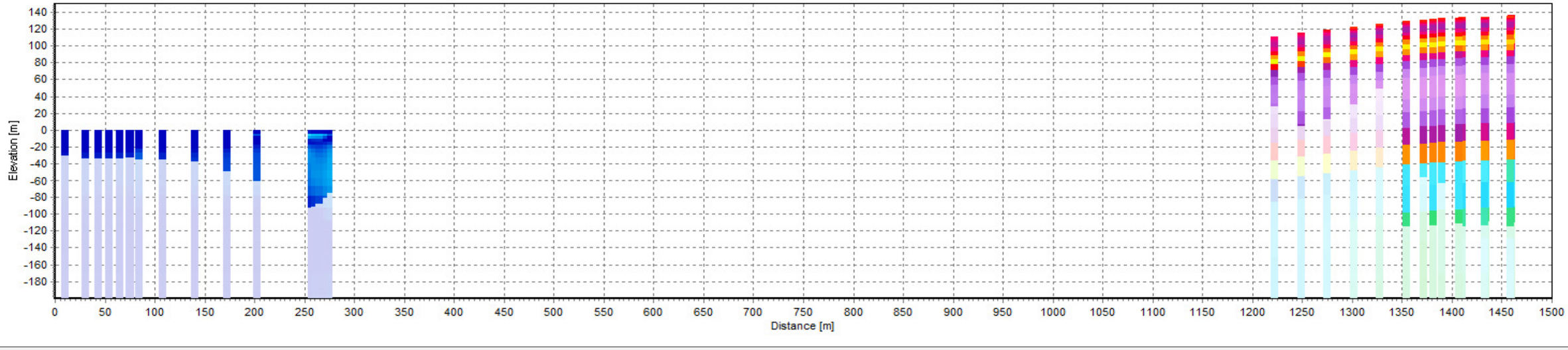
Les logs CE mesurent l'ensemble de la zone de diffusion pour atteindre l'eau salée. La géométrie ainsi imagée montre une transition rapide entre l'eau douce à l'eau salée.

Interprétation AEM

La géophysique image autour de Gd Bois l'intrusion saline, néanmoins aucune donnée n'est disponible autour du forage. En aval du forage P1, la géophysique image clairement l'intrusion saline autour de - 30m NGR ce qui correspond au logs CE.

Représentativités du point RIS

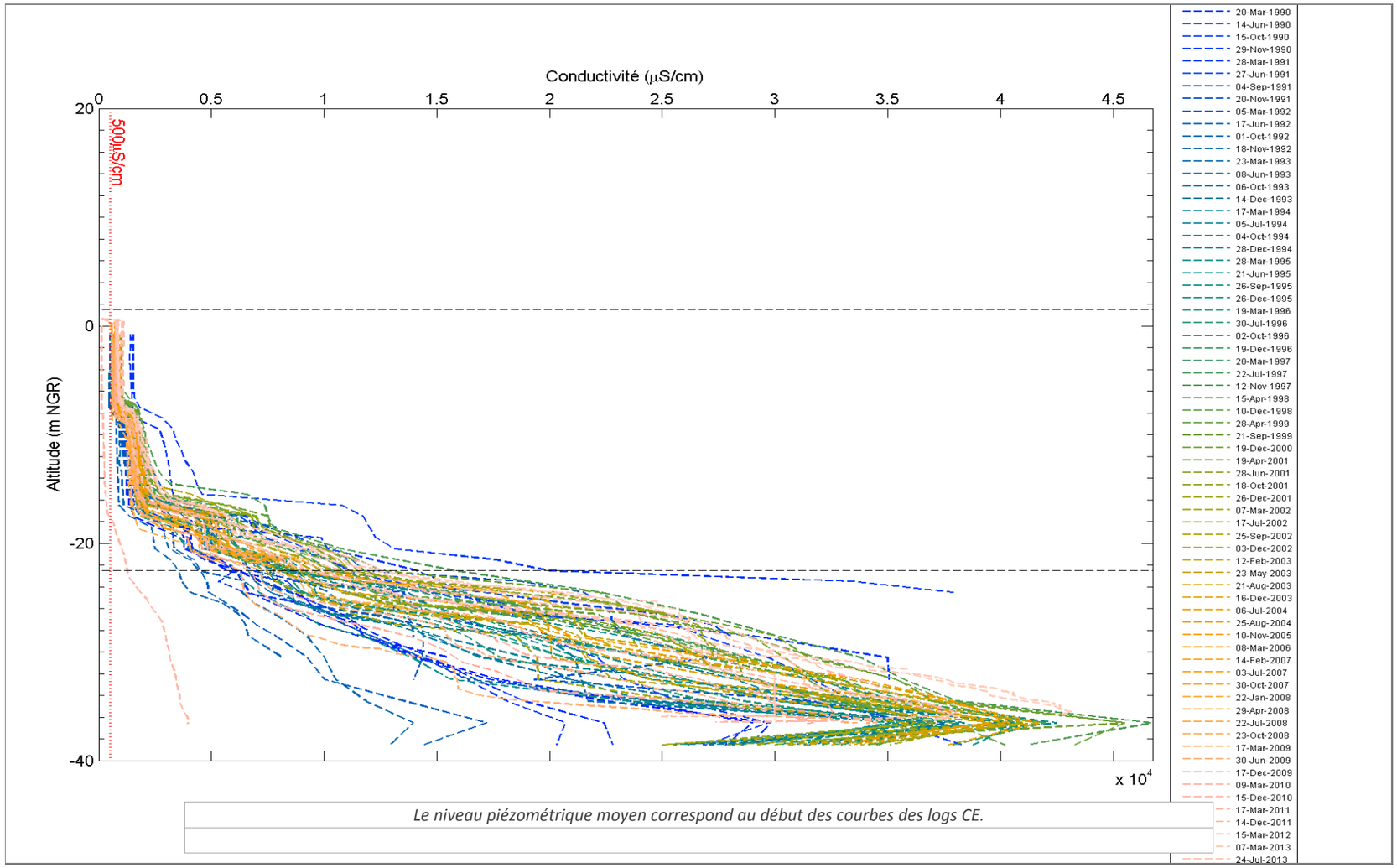
Ce point image précisément l'intrusion saline qui s'étend sur la côte autour de Gd Bois jusqu'à Grande Anse.



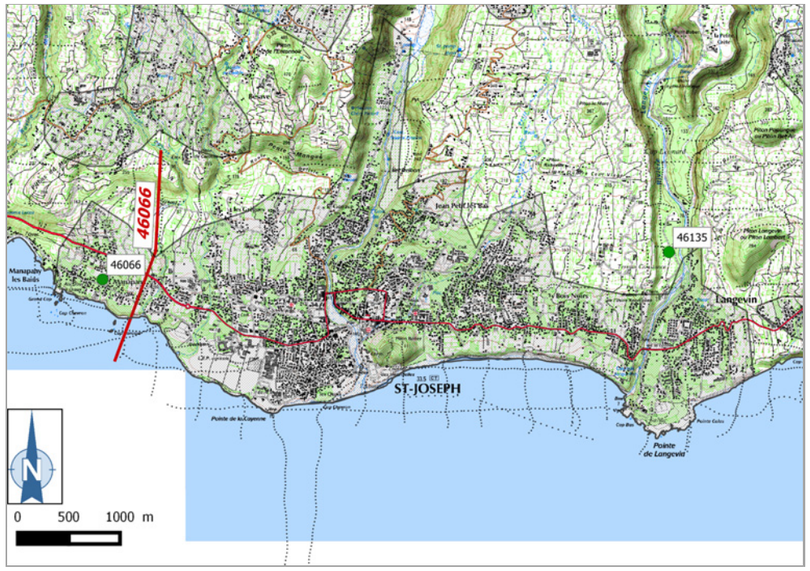
Code Office de l'eau :	**46066**
Secteur d'étude :	St-Joseph

Nom usuel :	F1 Manapany les Bains
Code BSS :	12296X0066/F1

X (m NGR)	354259
Y (m NGR)	7635675
Altitude (m NGR)	41.63
Profondeur (m NGR)	-38.37



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.



Interprétation log

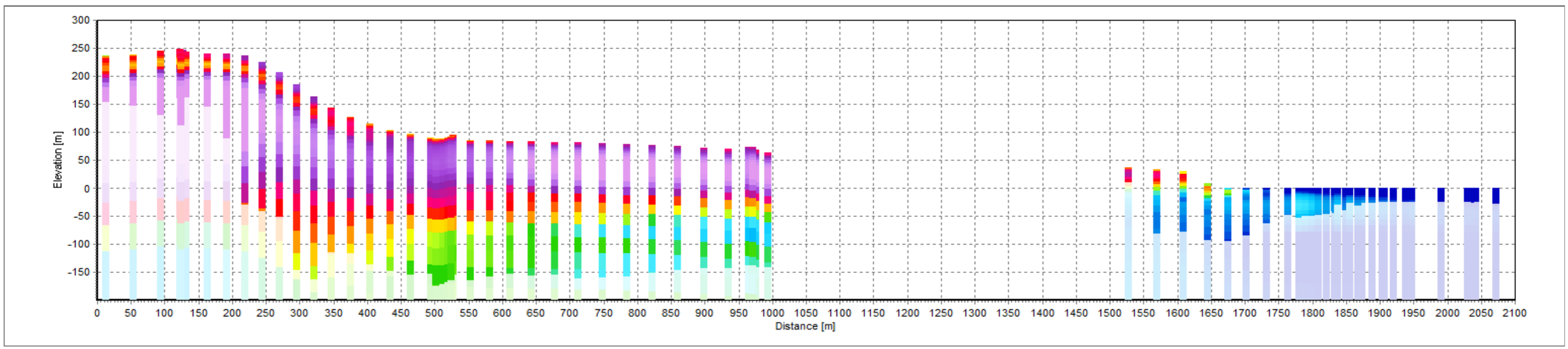
Les logs CE image l'intrusion saline jusqu'à 45 mS/cm grâce à la double crépine. Néanmoins la géométrie entre -21 et -31 m NGR n'est pas fiable.

Interprétation AEM

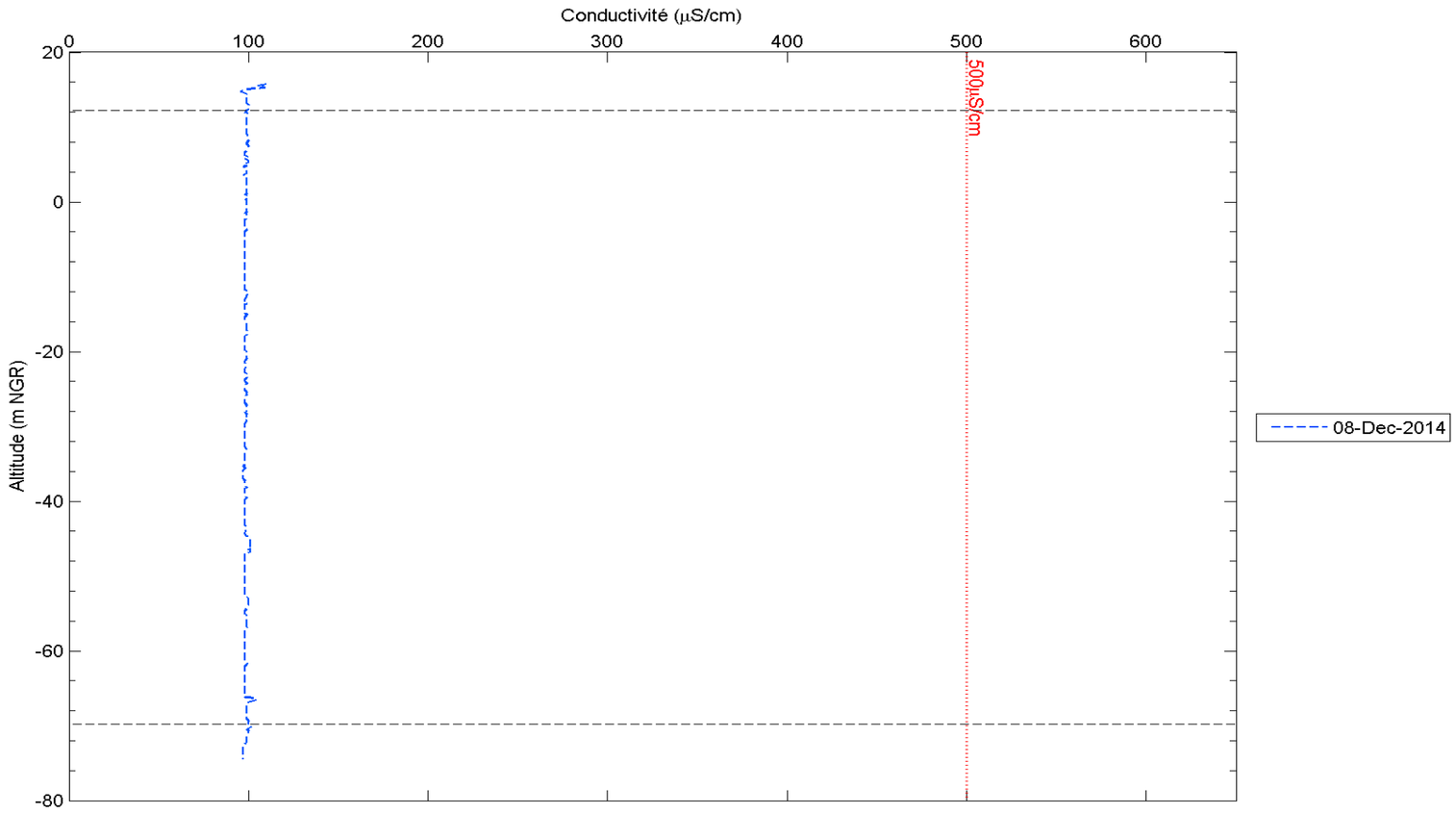
Aucune donnée n'est disponible à proximité du forage. Néanmoins la géophysique image clairement une intrusion saline qui s'enfonce dans les terres avec une faible pente en accord avec les logs CE.

Représentativités du point RIS

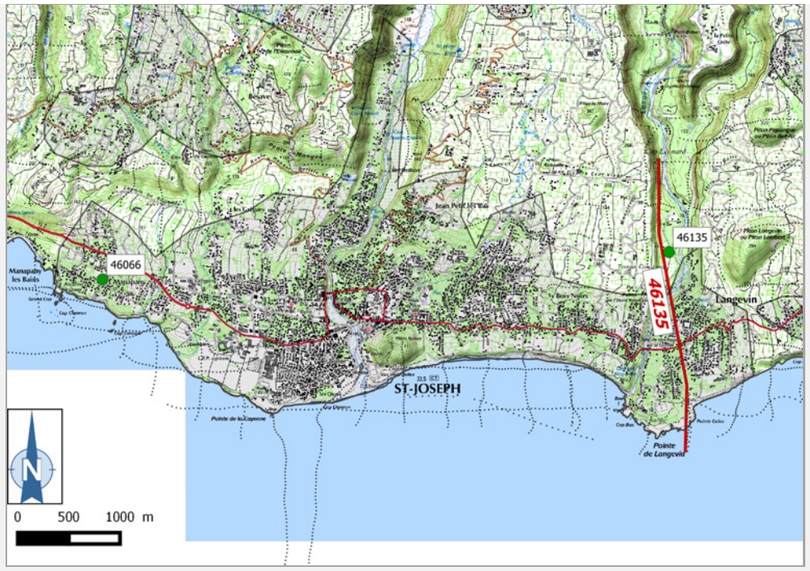
Ce point image précisément l'intrusion saline qui semble s'étendre sur la côte autour de St-Joseph.



Code Office de l'eau :	**46135**	Nom usuel :	F Kerveguen	X (m NGR)	359801
Secteur d'étude :	St-Joseph	Code BSS :	12296X0135/KER	Y (m NGR)	7635943
				Altitude (m NGR)	75.2
				Profondeur (m NGR)	-74.8



Le niveau piézométrique moyen correspond au début des courbes des logs CE.

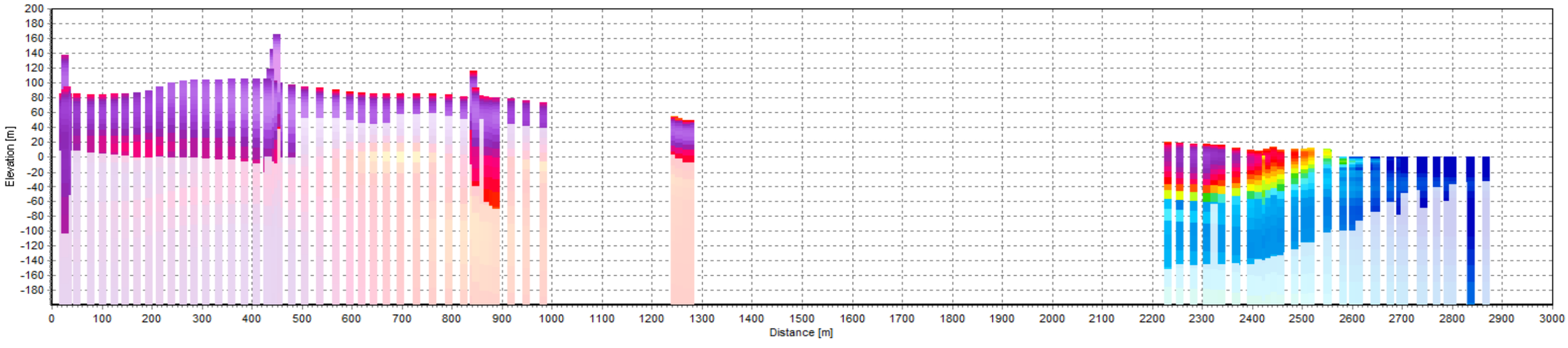


Interprétation log

Le log CE n'image aucune intrusion saline.

Interprétation AEM

La géophysique image une intrusion saline dans la zone littorale à -40 m NGR.
Cette intrusion semble concentrée à proximité du littorale (cartes de résistivités).

Représentativités du point RIS

Le point semble peu intéressant pour le suivi de l'intrusion saline (trop éloigné de la côte, pas assez profond).