Réalisation du suivi hydrologique et hydrogéologique sur SM-LT

Rapport final

Octobre 2009 – Septembre 2010

Rapport Ra-10-0243-OC

Version	Numérotation	Date	Rédacteur	Relecteur
1	Ra-10-0243-OC	28/10/2010	OC	AK

Tables des matières

1. INTRODUCTION 7

2. BILAN DU DEROULEMENT DES MISSIONS TERRAIN D'OCTOBRE 2009 A SEPTEMBRE 2010 9

2.1. SUIVI HYDROLOGIQUE 9

2.1.1 Bilan des jaugeages 9
2.1.2 Bilan des mesures physico-chimiques in situ 10
2.1.3 Bilan des mesures hydrochimiques in-situ 11
2.1.4 Bilan des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire 12

2.2. SUIVI HYDROGEOLOGIQUE 13

2.2.1 Bilan des mesures piézométriques manuelles 13
2.2.2 Bilan des mesures piézométriques relevées par les sondes automatiques 15
2.2.3 Bilan des mesures hydrochimiques in-situ 17
2.2.4 Bilan des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire 19
2.2.5 Bilan des diagraphies 20

2.3. BILAN DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES DISPONIBLES 20

3. PRESENTATION DES MISSIONS ET VALIDATION DES DONNEES DU SUIVI PIEZOMETRIQUE 21

3.1. LA PLUVIOMETRIE 21

3.2. SUIVI HYDROLOGIQUE 22

3.3. SUIVI PIEZOMETRIQUE 27

3.3.1 Niveau 0 à niveau 2 : Contrôle de la chaîne de mesure avec corrections 30

3.4. MISSIONS TRIMESTRIELLES 47

3.4.1 Les diagraphies de conductivité et température 47
3.4.2 La caractérisation hydrochimique des nappes et des rivières 49

4. RESULTAT DE L'ANALYSE DES DONNEES PERMETTANT DE CARACTERISER LE MILIEU SUR SM-LT 50

4.1. SUIVI HYDROLOGIQUE 50

4.1.1 Résultats des mesures de débit sur les différentes sections de jaugeage 50
4.1.2 Analyse des mesures physico-chimiques sur les différentes sections de jaugeage 57
4.1.2.1 Bilan des mesures de pH 57
4.1.2.2 Bilan des mesures de conductivité (µS/cm) 59
4.1.2.3 Bilan des mesures de températures (°C) 60

4.2. SUIVI PIEZOMETRIQUE 61

4.2.1 Résultats sur l'évolution des différents paramètres des eaux souterraines 61
4.2.1.1 Evolution des profondeurs piézométriques 61
4.2.1.2 Analyse de la pluviométrie 65
4.2.1.3 Analyse de la température des eaux souterraines 66

4.3. DIAGRAPHIES DE CONDUCTIVITE ET DE TEMPERATURE 70

4.4. HYDROCHIMIE 76

4.4.1 Hydrochimie in-situ 76
4.4.1.1 Hydrochimie in-situ sur rivières 76
4.4.1.2 Hydrochimie in situ sur nappes 77
4.4.2 Hydrochimie au laboratoire 78

5. CONCLUSION 84

BIBLIOGRAPHIE 87

ANNEXES **88**

ANNEXE 1 : PRESENTATION DES SITES DE JAUGEAGES **89**

ANNEXE 2 : TABLEAU RECENSANT LES COORDONNEES RGNC DES DIFFERENTS PIEZOMETRES **93**

ANNEXE 3 : PRESENTATION DES DIFFERENTS PIEZOMETRES **95**

ANNEXE 4 : CALCULS DES ERREURS AU NIVEAU DU CAPTEUR DES SONDES **100**

ANNEXE 5 : TABLEAU RECENSANT TOUTES LES CORRECTIONS PERMETTANT UNE CODIFICATION DES DONNEES AU NIVEAU 3 ..... **104**

ANNEXE 6 : TABLEAU DES DEBITS ET DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ENTRE OCTOBRE 2009 ET SEPTEMBRE 2010 ..... **107**

ANNEXE 7 : RESULTATS DE L'HYDROCHIMIE IN SITU EN NAPPE EN DECEMBRE 2009 (1ER TABLEAU), MARS 2010 (2EME TABLEAU) ET JUILLET 2010 (3EME TABLEAU) **111**

ANNEXE 8 : RESULTATS DES ANALYSES HYDROCHIMIQUES AU LABORATOIRE DE DECEMBRE 2009 (1ER TABLEAU), MARS 2010 (2EME TABLEAU), JUIN 2010 (3EME TABLEAU) ET JUILLET 2010 (4EME TABLEAU) **115**

ANNEXE 9 : CD **120**

Tables des illustrations

- **Figures :**

Figure 1: Cadre d'étude du futur Stock de Minerai Long Terme (SM-LT)..... 7
Figure 2: Feuille de jaugeage de la section KO5 en février 2010 23
Figure 3: Carte de localisation des sites de jaugeages mensuels (losange rouge) et trimestriels (croix rose) réalisés en décembre 2009. Leurs coordonnées RGNC sont également présentées sous forme de tableau..... 25
Figure 4 : Carte de localisation des sites de jaugeages mensuels (losange rouge) et trimestriels (croix rose) réalisés en mars 2010. Leurs coordonnées RGNC sont également présentées sous forme de tableau 26
Figure 5: Localisation de l'ensemble des plateformes (en bleu) et piézomètres (en noir) sur SM-LT 29
Figure 6: Les différentes étapes du traitement des données au niveau 1 32
Figure 7: Schéma illustrant un piézomètre et les différentes étapes de calculs réalisées au niveau 1 32
Figure 8 : Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en décembre 2009. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune. 54
Figure 9: Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en mars 2010. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune. 55
Figure 10: Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en juin 2010. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune. 56
Figure 11: Diagramme de Piper pour les analyses de décembre 2009..... 80
Figure 12 : Diagramme de Piper suite aux analyses de mars 2010..... 81
Figure 13: Diagramme de Piper suite aux analyses de juin 2010 81
Figure 14: Diagramme de Piper suite aux analyses de juillet 2010..... 82

- **Graphiques :**

Graphique 1: Graphique illustrant les grands épisodes pluvieux entre le 22/09/09 et le 17/09/10 au niveau de la station SMA A 22
Graphique 2: Profondeur piézométrique (en bleu) et mesures manuelles (en orange), en m.NGNC, en fonction du temps, au niveau 1, sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17) 33
Graphique 3: Signal piézométrique du piézomètre 09ex0038 avant (en noir) et après corrections (en rouge) en fonction de la pluviométrie (en bleu), de septembre 2009 à avril 2010. Les mesures manuelles sont en vert..... 34
Graphique 4: Profondeur piézométrique (en bleu) et mesures manuelles (en rose), en m.NGNC, en fonction du temps, au niveau 2, sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17) 36
Graphique 5: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir), sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 1, et sur le PEC 09ex0030 (en bleu) et le PEL 09ex0027 (en rose) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en vert), de septembre 2009 à décembre 2009..... 37
Graphique 6: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir), sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 1, et sur le PEC 09ex0030 (en bleu) et le PEL

09ex0027 (en rose) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en vert), de novembre 2009 à janvier 2010 38
Graphique 7: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0026 (en noir) de la plateforme 4, et sur le PEC 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de décembre 2009 à avril 2010 39
Graphique 8: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0022 (en noir) et sur le PEC 09ex0025 (en rouge) de la plateforme 16, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de janvier 2010 à mai 2010 40
Graphique 9: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0012 (en noir) de la plateforme 8, sur le PEC 09ex0029 (en rouge) et sur le PEL 09ex0047 (en vert) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de juin 2010 à septembre 2010 41
Graphique 10: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0051 (en noir) de la plateforme 19, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), d'octobre 2009 à septembre 2010 41
Graphique 11: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEC 09ex0041 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de mai 2010 à septembre 2010 42
Graphique 12: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0038 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de septembre 2009 à octobre 2009 43
Graphique 13: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0041 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de octobre 2009 à novembre 2009 43
Graphique 14: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0070 (en noir) de la plateforme 22, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de janvier 2010 à avril 2010 44
Graphique 15: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0022 de la plateforme 16, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009 49
Graphique 16 : Evolution du débit en fonction du temps sur les trois sections mensuelles que sont Source KN1(en bleu), KN1 (en rose) et KO5 (en orange) 51
Graphique 17: Evolution du débit en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières 52
Graphique 18: Evolution du pH en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire 58
Graphique 19: Evolution de la conductivité en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire 59
Graphique 20: Evolution de la température en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire 60
Graphique 21: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0009 (en rouge) et sur le PEL 09ex0007 (en noir) de la plateforme 14, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010 62
Graphique 22: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir) et sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010 63
Graphique 23: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0058 (en noir) et sur le PEL 09ex0054 (en rouge) de la plateforme 5, en relation avec la pluviométrie enregistré sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à septembre 2010 64
Graphique 24: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0023 (en rouge) et sur le PEL 09ex0018 (en noir) de la plateforme 21, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010 65
Graphique 25: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0029 (en noir) et sur le PEL 09ex0047 (en rouge) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à avril 2010 66

Graphique 26: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0034 (en rose) et sur le PEL 09ex0031 (en vert) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010 67
Graphique 27: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0029 (en rouge) et sur le PEL 09ex0047 (en vert) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rose), de novembre 2009 à avril 2010 68
Graphique 28: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0044 (en noir) et sur le PEL 09ex0040 (en rouge) de la plateforme 21, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à avril 2010 69
Graphique 29: Relevé des profondeurs piézométriques et des températures, mesurées sur le PEC 09ex0030 (respectivement en noir et rouge) et sur le PEL 09ex0027 (respectivement en bleu et vert) de la plateforme 1, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rose), de novembre 2009 à avril 2010 70
Graphique 30: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0017 de la plateforme 20, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009 71
Graphique 31: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0027 de la plateforme 1, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009 72
Graphique 32: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0054 de la plateforme 5, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en mars 2010 73
Graphique 33: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0034 de la plateforme 2, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en juillet 2010 74
Graphique 34: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0079 de la plateforme 23, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en juillet 2010 75
Graphique 35: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0026 de la plateforme 4, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009 75

- **Tableaux :**

Tableau 1: Tableau des lacunes au niveau des jaugeages 10
Tableau 2 : Bilan des lacunes au niveau des mesures physico-chimiques in situ 11
Tableau 3: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques in-situ 12
Tableau 4: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire 12
Tableau 5: Bilan des lacunes au niveau des mesures piézométriques manuelles 14
Tableau 6: Bilan des lacunes au niveau des mesures piézométriques relevées par les sondes automatiques 16
Tableau 7: Bilan des lacunes au niveau des piézomètres sur lesquels ont été réalisés l'hydrochimie in-situ 17
Tableau 8: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques in-situ 19
Tableau 9:Bilan des lacunes au niveau des piézomètres sur lesquels ont été réalisés l'hydrochimie au laboratoire 19
Tableau 10: Bilan des lacunes au niveau des diagraphies 20
Tableau 11: Bilan des lacunes au niveau des données pluviométriques de la station SMA A ... 21
Tableau 12: Les grands épisodes pluvieux enregistrés par SMA A entre le 22/09/09 et le 17/09/2010 21
Tableau 13: Caractéristiques des différentes sondes installées dans les piézomètres sur SM-LT 28

Tableau 14: Exemple d'une partie du niveau 0 du piézomètre 09ex0007 (PF 14) en septembre 2009 31
Tableau 15: Exemple de tableau au niveau 2 (piézomètre 09ex0038 (PF 17)) 35
Tableau 16: Niveau 3 du piézomètre 09ex0041 avec codifications des valeurs selon la nomenclature SANDRE. Les données correctes sont en vert, les données incertaines sont en oranges et les données incorrectes sont en rouges 46
Tableau 17: Ensemble des corrections de dérives effectuées sous Hydras 3 pour le piézomètre 09ex0041 (PF 17) 46
Tableau 18: Tableau d'indicateurs de performance des données du piézomètre 09ex0041 (PF 17) 47
Tableau 19: Variables prises en compte pour la réalisation des diagraphies de conductivité et de température sur le piézomètre 09ex0022 (PF 16) 48
Tableau 20: Hydrochimie in situ en rivière en décembre 2009 76
Tableau 21: Hydrochimie in situ en rivière en mars 2010 76
Tableau 22: Hydrochimie in situ en rivière en juin 2010 76
Tableau 23: Calculs des balances ioniques pour les analyses de décembre 2009 et mars 2010. En rouge le analyses dont mauvaises, en jaune elles sont moyenne et en vert elles sont bonnes 79

1. Introduction

La société VALE INCO Nouvelle-Calédonie a lancé, depuis début octobre 2009, une étude d'impacts environnementaux concernant le futur Stock de Minerai Long Terme (SM-LT)

Ce site se situe au nord-est de l'usine Goro Nickel. D'un point de vue géomorphologique, SM-LT est un bassin versant reposant sur un plateau latéritique. Il est bordé par plusieurs rivières : à l'Ouest par la Kwé Ouest 5, à l'Est par la Kwé Nord et au Sud par la Kwé Ouest et la Kwé. De plus, il est délimité au Nord par une chaîne de montagnes constituée de péridotite. Un traçage réalisé en mai 2010 a permis de mettre en évidence l'existence d'une relation entre la Plaine des Lacs, située au nord-est de la zone, et la Kwé Nord (
Figure 1).

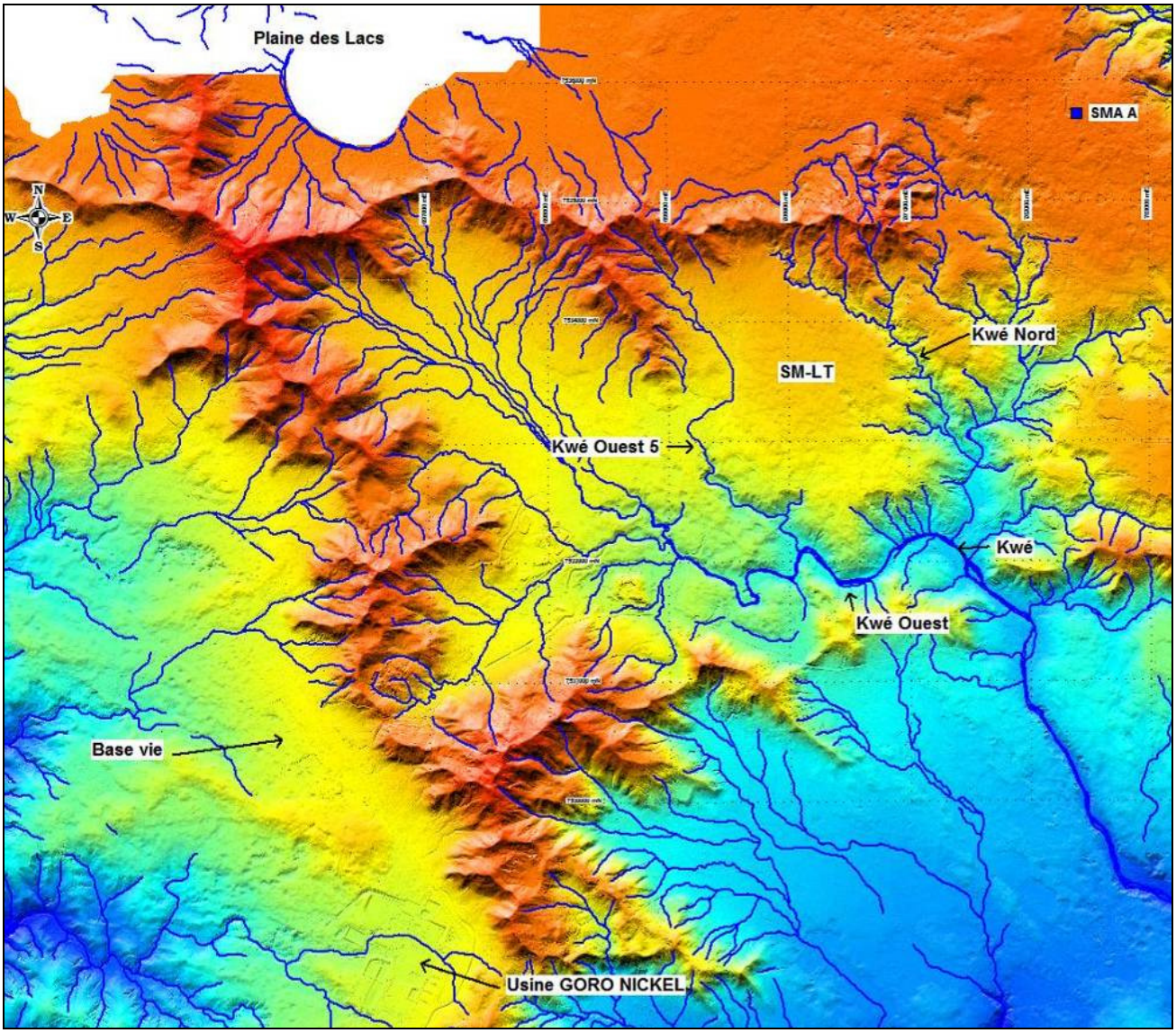


Figure 1: Cadre d'étude du futur Stock de Minerai Long Terme (SM-LT)

Dans le cadre de l'étude d'impacts sur SM-LT, le développement de la connaissance dans les domaines de l'hydrologie et de l'hydrogéologie a été identifié comme indispensable afin de connaitre le comportement des cours d'eau et des nappes, ainsi que leurs interactions. L'objectif

final est d'identifier les mesures nécessaires lors de l'édification du stock de minerai afin de préserver la ressource en eau (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009).
Dans le cadre de ce programme d'acquisition de données hydrologiques et hydrogéologiques, trois types de données ont été collectées entre octobre 2009 (date de lancement de la mission) et septembre 2010 :

- données pluviométriques :

La présence d'une station pluviométrique (SMA A) et située à proximité de la zone d'étude (Fig.1), permet de mettre en relation la pluviométrie et le comportement des eaux de surface et des eaux souterraines face à celle-ci (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009).

- données hydrologiques :

Des campagnes de jaugeages mensuels et des campagnes de jaugeages différentiels trimestriels ont été lancées depuis octobre 2009. Elles permettent de connaître le comportement des différentes rivières, présentes sur le site, en différents points, lors des phases de moyennes et basses eaux. Pour des raisons de sécurité et de moyens très importants à mettre en place, les jaugeages de crue n'ont pas été envisagés pour le moment. Associées à ces mesures de débit, des mesures physico-chimiques – pH, conductivité, température - sont effectuées grâce à des sondes physico-chimiques (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009).

- données hydrogéologiques :

Pour avoir une vue globale de la zone concernant les eaux souterraines, 25 plateformes piézométriques ont été édifiées. Elles comprennent, pour chacune d'entre elles, un Piézomètre Environnemental Long (PEL), implanté dans l'aquifère saprolitique (profond), et un Piézomètre Environnemental Court (PEC) implanté dans l'aquitard latéritique (superficiel).
Le suivi piézométrique concerne au total 51 piézomètres dont 38 sont équipés de sondes Level Troll ou Aqua Troll ; celles-ci mesurant la hauteur d'eau des nappes. Une sonde Barotroll, mesurant en continue la pression atmosphérique, est en plus implantée dans un des piézomètres. Tous les mois, une mesure piézométrique manuelle est effectuée et les sondes sont contrôlées et leurs données déchargées.
En complément, lors des missions trimestrielles, des diagraphies de conductivité et de température sont réalisées sur les 48 piézomètres présents sur le site et une caractérisation hydrochimique des nappes et des rivières est réalisée (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009).

2. Bilan du déroulement des missions terrain d'octobre 2009 à septembre 2010

Le bilan du déroulement des missions permet de montrer les points positifs et les points négatifs relevés lors des interventions sur le terrain, réalisées entre octobre 2009 et septembre 2010. Ceci permet d'améliorer le suivi en corrigeant les imperfections.

2.1. Suivi hydrologique

Au total, 12 missions mensuelles et 3 missions trimestrielles (en décembre 2009, mars 2010 et juin - juillet 2010) ont été réalisées entre octobre 2009 et septembre 2010. Il est cependant important de noter qu'en décembre 2009, lors de la mission trimestrielle, la sonde multi-paramètres appartenant à EMR est tombée à l'eau. Tous les jaugeages ont été effectués mais l'ensemble des paramètres physico-chimiques n'ont pu être pris. D'autre part, les analyses au laboratoire sur KO5 et KN1 n'ont pas été faites en mars 2010. Pour combler cette lacune, celles-ci ont été effectuées en juin 2010.

Nota : En juin 2010, date de la 3ème mission trimestrielle, les jaugeages différentiels ont été effectués et les paramètres physico-chimiques in-situ en rivière ont été relevés. Par contre, les pompes appartenant au service Environnement de Vale Inco n'étant pas disponible en juin 2010, les analyses des échantillons d'eau des nappes et des rivières ont été réalisées en même temps en juillet 2010.

Lors des missions mensuelles, seuls trois jaugeages sont effectués : sur KN1 Source, KN1 et KO5.
Lors des missions trimestrielles, en plus des 3 sections jaugées tous les mois, 12 jaugeages différentiels ont été accomplis au mois de décembre 2009 et 14 au mois de mars et juin 2010.

2.1.1 Bilan des jaugeages

A chaque campagne de terrain, E.M.R. est chargé de réaliser des mesures de débit ponctuels appelés jaugeages.

Entre octobre 2009 et septembre 2010, 12 campagnes de jaugeage et 3 campagnes de jaugeage différentiel ont été réalisées (en décembre 2009, mars 2010 et juin 2010).

Le tableau ci-dessous (Tbl.1) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.
Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).
Le code couleur suivant a été choisi par Jean-Luc Folio, hydrogéologue chez Vale Inco :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 1: Tableau des lacunes au niveau des jaugeages

Points	% lacune
Source KN1	0%
KN1	0%
KN1	0%
K05	0%
Confluence_ K05	0%
KN1A	0%
KN1B	0%
KN1C	0%
KN1D	0%
KO5A	0%
KO5B	0%
KO5C	0%
KO5D	0%
KO5E	0%
KOA	0%
KOB	0%
KOC	0%
K1	0%

Comme nous pouvons le constater, les valeurs sont considérées comme bonnes car toutes les sections ont pu être jaugées que se soit pendant les missions mensuelles que pendant les missions trimestrielles.

2.1.2 Bilan des mesures physico-chimiques in situ

A chaque campagne de terrain, E.M.R. a en charge de réaliser des mesures physico-chimiques in-situ, sur les paramètres suivants :

- pH,
- conductivité,
- température.

Douze campagnes de terrain ont eut lieu entre octobre 2009 et septembre 2010.

Le tableau ci-dessous (Tbl.2) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.
Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).
Le code couleur suivant a été choisi :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 2 : Bilan des lacunes au niveau des mesures physico-chimiques in situ

	% lacune		
Points	pH	Conductivité	Température
Source KN1	0%	0%	8%
KN1	8%	8%	8%
KO5	0%	0%	0%
Confluence_KO5	0%	0%	0%
KN1A	0%	0%	0%
KN1B	0%	0%	0%
KN1C	0%	0%	0%
KN1D	0%	0%	0%
KO5A	0%	0%	0%
KO5B	0%	0%	0%
KO5C	0%	0%	0%
KO5D	0%	0%	0%
KO5E	0%	0%	0%
KOA	33%	33%	33%
KOB	33%	33%	33%
KOC	0%	0%	33%
K1	0%	0%	0%

Nous constatons que les valeurs sont considérées comme correctes pour la majeure partie. Les secondes prises de mesures ne sont pas toujours marquées sur les feuilles de terrain, en particulier jusqu'à fin novembre, mais elles ont toujours été prises.

Les 8% sur KN1 et les 33% sur KOA et KOB sont dus au fait que la sonde multi-paramètres est tombée à l'eau lors de la mission trimestrielle de décembre 2009 ; par conséquent les mesures physico-chimiques n'ont pu être prises.

D'autre part, la température n'a pas été prise en décembre 2009 sur KOC (d'où les 33%) et en avril 2010 sur Source_KN1 (d'où les 8%).

Afin d'améliorer le suivi et la prise de mesure sur le terrain, un protocole pour les jaugeages a été rédigé début 2010, afin de minimiser les erreurs ou les oublis, sur le terrain et lors du traitement des données.

2.1.3 Bilan des mesures hydrochimiques in-situ

Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a en charge de réaliser des mesures hydrochimiques in-situ sur les sections de jaugeages KN1 et KO5. Les paramètres relevés sont les suivants :

- pH,
- conductivité,
- température.

Le tableau ci-dessous (Tbl.3) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.
Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite sur le terrain).
Le code couleur suivant a été choisi :

- 0 à 5 % : bon (vert),

- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 3: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques in-situ

	Prélèvement_rivière in_situ			
	pH	Conductivité	Température	
KN1	100%	100%	100%	Déc_2009
KO5	0%	0%	0%	
KN1	0%	0%	0%	Mars_2010
KO5	0%	0%	0%	
KN1	0%	0%	0%	Juin_2010
KO5	0%	0%	0%	

Nous constatons que les mesures hydrochimiques ont dans l'ensemble des valeurs correctes, exceptées en décembre 2009 où toutes les valeurs sont mauvaises pour KN1.

En effet, sur KN1 en décembre 2009, comme pour la physico-chimie, la sonde est tombée à l'eau et les mesures n'ont pu être relevées.

Un protocole d'hydrochimie a été rédigé début 2010 mentionnant les tâches à effectuer en rivière. Ce protocole, mis en place dans un souci d'amélioration, permet dorénavant qu'aucune mesure ne soit oubliée.

2.1.4 Bilan des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire

Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a en charge de prélever des échantillons d'eau sur les sections de jaugeage KN1 et KO5. Ces prélèvements sont ensuite analysés par la Calédonienne des Eaux de Nouméa (CDE). Plusieurs paramètres - physico-chimiques, indésirables et toxiques – sont pris en compte.

Le tableau ci-dessous (Tbl.4) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.
Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).
Le code couleur suivant a été choisi :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 4: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire

	Prélèvement rivière_labo	
Section de jaugeage	KN1	KO5
% lacune_déc_2009	0%	0%
% lacune_mars_2010	100%	100%
% lacune_juillet_2010	0%	0%

Les prélèvements en rivière ont été effectués et analysés par la CDE en décembre 2009 et juillet 2010. Par contre, aucune analyse n'a été effectuée en mars 2010. Pour combler cette lacune, des prélèvements sur KO5 et KN1 ont été effectués en juin 2010 et analysés par la CDE.

2.2. Suivi hydrogéologique

Le suivi piézométrique concerne 48 piézomètres répartis sur 24 plateformes. A partit de juillet 2010, 3 autres piézomètres (09GT0042, 09GT0042A, 10EX0178) ont été suivis par E.M.R. Trente huit de ces piézomètres sont équipés de sondes Level Troll ou Aqua Troll ; celles-ci mesurent en continue la pression en mètre de colonne d'eau. Seul le piézomètre 09ex0022 situé sur la plateforme 16 est en plus équipé d'une sonde Barotroll qui mesure la pression atmosphérique en continue.

Au total, 12 missions ont été réalisées entre octobre 2009 et septembre 2010, sans problème notable.

Lors de chaque mission, les niveaux piézométriques ont été relevés, les sondes contrôlées et déchargées. Un protocole piézométrique a été mis en place depuis début 2010 afin que toutes les tâches soient correctement effectuées et les données correctement traitées.
Lors des missions trimestrielles qui ont eut lieu en décembre 2009, mars 2010 et juillet 2010, des diagraphies et une caractérisation hydrochimique des nappes ont en plus été réalisées.

2.2.1 Bilan des mesures piézométriques manuelles

Comme cela a été dit précédemment, lors de chaque mission des mesures piézométriques manuelles ont été prises afin de connaître le niveau piézométrique et de comparer ces données à celles prises par les sondes Level Troll ou Aqua Troll.

Le tableau ci-dessous (Tbl.5) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.

Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).
Le code couleur suivant a été choisi :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 5: Bilan des lacunes au niveau des mesures piézométriques manuelles

Plateforme	Piézomètre	Nb de mesure manuelle / 11 à 12 missions	% lacune
N°014	09EX0007 (59m)	12	0%
N°013	09EX0008 (52,5m)	12	0%
N°014	09EX0009 (36,5m)	12	0%
N°013	09EX0010 (32,4m)	12	0%
N°008	09EX0012 (27m)	12	0%
N°008	09EX0013 (12m)	12	0%
N°009	09EX0014 (63m)	12	0%
N°020	09EX0017 (24m)	12	0%
N°020	09EX0015 (92m)	12	0%
N°021	09EX0018 (124,9m)	12	0%
N°010	09EX0019 (92m)	12	0%
N°009	09EX0020 (26m)	12	0%
N°010	09EX0021 (16m)	12	0%
N°016	09EX0022 (48m)	12	0%
N°016	09EX0022_barotroll	12	0%
N°021	09EX0023 (28,4m)	12	0%
N°016	09EX0025 (16,5m)	12	0%
N°004	09EX0026 (54m)	12	0%
N°001	09EX0027 (31,1m)	12	0%
N°004	09EX0028 (22m)	12	0%
N°018	09EX0029 (30m)	12	0%
N°001	09EX0030 (6,70m)	12	0%
N°002	09EX0031 (27m)	12	0%
N°002	09EX0034 (5m)	12	0%
N°012	09EX0035 (52m)	12	0%
N°012	09EX0036 (25m)	12	0%
N°015	09EX0037 (97m)	12	0%
N°0017	09EX0038 (105,45m)	11	9%
N°015	09EX0039 (23m)	12	0%
N°003	09EX0040 (31m)	12	0%
N°017	09EX0041 (16m)	12	0%
N°003	09EX0044 (11m)	12	0%
N°024	09EX0045 (84,19m)	12	0%
N°018	09EX0047 (111m)	12	0%
N°024	09EX0048 (15m)	12	0%
N°007	09EX0050 (52,75m)	12	0%
N°019	09EX0051 (68m)	12	0%
N°007	09EX0053 (11m)	12	0%
N°005	09EX0054 (71m)	12	0%
N°005	09EX0058 (10m)	12	0%
N°0019	09EX0059 (18m)	12	0%
N°006	09EX0060 (71m)	12	0%
N°006	09EX0062 (22m)	12	0%
N°022	09EX0070(92m)	12	0%
N°023	09EX0073 (96m)	11	0%
N°022	09EX0074 (15m)	12	0%
N°025	09EX0075 (82,1m)	11	0%
N°025	09EX0078 (5m)	11	0%
N°023	09EX0079 (16m)	11	9%
	09GT0042	3	0%
	09GT0042A	3	0%
	10EX0178 (5m)	3	0%

Nous constatons que la majorité des valeurs sont bonnes.

Pour les piézomètres 09ex0073 (PF 23), 09ex0075 (PF 25), 09ex0078 (PF 25) et 09ex0079 (PF 23) seules 11 missions ont pu être effectuées car les forages de ces piézomètres étaient en cours de réalisation en octobre 2009. Les piézomètres 09GT0042, 09GT0042A et 10EX0178 affiche quant à eux seulement 3 missions car ils ont été suivis tardivement par E.M.R., à la demande de Jean-Luc Folio.

La valeur moyenne (9%) obtenue pour le piézomètre 09ex0038 (PF 17) est due à la sonde piézométrique qui était trop courte lors de la mission d'octobre 2009, le piézomètre mesurant 105,45m.

Le piézomètre 09ex0079 (PF 23) affiche 9% car en mai 2010 l'eau de la nappe débordait du piézomètre par le capot. Aucune mesure du niveau piézométrique n'a donc pu être prise.

Pour finir certains piézomètres (piézomètres 09ex0044, 09ex0053, 09ex0073 et 09ex0074) étaient à secs lors du passage des équipes EMR mais ceci a quand même été comptabilisé comme une mesure.

2.2.2 Bilan des mesures piézométriques relevées par les sondes automatiques

Sur les 51 piézomètres présents sur le site, 38 de ces ouvrages contiennent une sonde automatiques Level Troll ou Aqua Troll. Le piézomètre 09ex0022 (PF 16) comporte une sonde Barotroll supplémentaire.

Le tableau ci-dessous (Tbl.6) récapitule les lacunes au niveau des mesures relevées sur site.

Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).

Le code couleur suivant a été choisi :
- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Il est important de noter que ce pourcentage prend en compte le relevé du niveau piézométrique par les sondes automatiques et non la fiabilité des sondes. Ceci ne peut en effet être véritablement vu qu'après traitement des données.

Lors du changement des sondes quelques heures ont sauté mais ces lacunes étant infime sur l'ensemble de la période d'étude, celles-ci n'ont pas été comptabilisées.

Tableau 6: Bilan des lacunes au niveau des mesures piézométriques relevées par les sondes automatiques

Plateforme	Piézomètre	Nb de mois avec données piézométriques / Nb de missions	% lacune
N°014	09EX0007 (59m)	12	0%
N°013	09EX0008 (52,5m)	Pas de sonde	/
N°014	09EX0009 (36,5m)	12	0%
N°013	09EX0010 (32,4m)	Pas de sonde	/
N°008	09EX0012 (27m)	12	0%
N°008	09EX0013 (12m)	11	0%
N°009	09EX0014 (63m)	Pas de sonde	/
N°020	09EX0017 (24m)	12	0%
N°020	09EX0015 (92m)	12	8%
N°021	09EX0018 (124,9m)	12	0%
N°010	09EX0019 (92m)	Pas de sonde	/
N°009	09EX0020 (26m)	Pas de sonde	/
N°010	09EX0021 (16m)	Pas de sonde	/
N°016	09EX0022 (48m)	12	0%
N°016	09EX0022_barotroll	12	0%
N°021	09EX0023 (28,4m)	12	0%
N°016	09EX0025 (16,5m)	12	0%
N°004	09EX0026 (54m)	12	0%
N°001	09EX0027 (31,1m)	11	0%
N°004	09EX0028 (22m)	12	0%
N°018	09EX0029 (30m)	11	0%
N°001	09EX0030 (6,70m)	11	0%
N°002	09EX0031 (27m)	11	0%
N°002	09EX0034 (5m)	12	0%
N°012	09EX0035 (52m)	Pas de sonde	/
N°012	09EX0036 (25m)	Pas de sonde	/
N°015	09EX0037 (97m)	11	0%
N°0017	09EX0038 (105,45m)	12	0%
N°015	09EX0039 (23m)	11	0%
N°003	09EX0040 (31m)	11	0%
N°017	09EX0041 (16m)	12	0%
N°003	09EX0044 (11m)	11	0%
N°024	09EX0045 (84,19m)	11	0%
N°018	09EX0047 (111m)	11	0%
N°024	09EX0048 (15m)	11	9%
N°007	09EX0050 (52,75m)	11	0%
N°019	09EX0051 (68m)	11	0%
N°007	09EX0053 (11m)	Pas de sonde	/
N°005	09EX0054 (71m)	11	0%
N°005	09EX0058 (10m)	11	0%
N°0019	09EX0059 (18m)	11	0%
N°006	09EX0060 (71m)	Pas de sonde	/
N°006	09EX0062 (22m)	Pas de sonde	/
N°022	09EX0070(92m)	11	0%
N°023	09EX0073 (96m)	Pas de sonde	/
N°022	09EX0074 (15m)	11	0%
N°025	09EX0075 (82,1m)	11	0%
N°025	09EX0078 (5m)	11	0%
N°023	09EX0079 (16m)	Pas de sonde	/
	09GT0042	3	0%
	09GT0042A	3	0%
	10EX0178 (5m)	3	0%

Parfois, seules 11 mesures piézométriques ont été relevées car lors de la première mission réalisée en octobre 2010, de nombreuses sondes n'étaient pas encore installées.
Les piézomètres 09GT0042, 09GT0042a et 10EX0178 n'ont été suivi qu'à partir de juillet 2010.

Les mesures piézométriques relevées par les sondes automatiques ont toutes dans l'ensemble un pourcentage correct (0%).
Cependant, la sonde du piézomètre 09ex0015 (PF 20) n'a pas été relancée lors de la mission de novembre créant une perte de données du 11/11/09 à 10h jusqu'au 30/11/09 à 17h, d'où les 8%.
Le fichier du piézomètre 09ex0048 relevé en mai 2010 est introuvable créant une perte de données du 27/04/2010 à 16h au 26/05/2010 à 11h, d'où les 9%.

2.2.3 Bilan des mesures hydrochimiques in-situ

Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a en charge de réaliser des mesures hydrochimiques in-situ sur 10 piézomètres. Cinq de ces piézomètres sont situés dans l'aquitard latéritique (les PEC) et les 5 autres sont implantés dans l'aquifère saprolitique (les PEL). Les paramètres relevés sont les suivants :

- pH,
- conductivité,
- température.

Les tableaux ci-dessous (Tbl.7 et 8) récapitulent les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.

Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).

Le code couleur suivant a été choisi :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 7: Bilan des lacunes au niveau des piézomètres sur lesquels ont été réalisés l'hydrochimie in-situ

	Piézomètre in_situ		
Nb piézo total	5 PEL	5PEC	10 piézo
Nb piezo fait_déc_2009	6	4	10
% lacune	0%	20%	0%
Nb piezo fait_mars_2010	5	5	10
% lacune	0%	0%	0%
Nb piezo fait_juillet_2010	5	5	10
% lacune	0%	0%	0%

En décembre 2009, l'hydrochimie a été faite sur 10 piézomètres mais deux étaient à sec (piézomètres 09ex0013 (PF 8) et 09ex0074 (PF 22)). Par contre, au lieu que 5 caractérisations hydrochimiques soient réalisées dans l'aquitard latéritique et 5 dans l'aquifère saprolitique, conformément au cahier des charges, il y en a eut 4 dans l'aquitard (d'où les 20%) et 6 dans l'aquifère.

En mars 2010, aucun piézomètre n'était à sec et le nombre de PEL et de PEC a été respecté.

En juillet 2010, le nombre de PEC et de PEL a également été respecté. Par contre, les piézomètres 09ex0012 (PF 8) et 09ex0074 (PF 22) étaient à sec. Ce dernier piézomètre a été remplacé par le 3ème piézomètre existant sur la plateforme 22.
Le piézomètre 09ex0013 (PF 8) s'est asséché lors de la caractérisation hydrochimie. Il a donc fallu attendre un réapprovisionnement en eau dans le piézomètre pour effectuer un prélèvement.

Tableau 8: Bilan des lacunes au niveau des mesures hydrochimiques in-situ

	Piézomètre in_situ		
	pH	Conductivité	Température
in_situ déc_2009	0%	0%	0%
in_situ mars_2010	0%	0%	0%
in_situ juillet_2010	0%	0%	0%

Les valeurs obtenues, pour la caractérisation hydrochimique des nappes, sont correctes pour les 3 missions trimestrielles.

Un protocole d'hydrochimie a été rédigé début 2010 mentionnant les tâches à effectuer sur les piézomètres Ce protocole, mis en place dans un souci d'amélioration, permet d'appliquer une méthodologie de travail et qu'aucune mesure ne soit oubliée.

2.2.4 Bilan des mesures hydrochimiques réalisées au laboratoire

Lors des campagnes hydrochimiques effectuées sur piézomètres, un échantillon d'eau est prélevé lorsque que la conductivité s'avère stable. Ces prélèvements sont ensuite analysés par la Calédonienne des Eaux de Nouméa. Plusieurs paramètres - physico-chimiques, indésirables et toxiques – sont pris en compte.

Le tableau ci-dessous (Tbl.9) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.

Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).

Le code couleur suivant a été choisi :
- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 9:Bilan des lacunes au niveau des piézomètres sur lesquels ont été réalisés l'hydrochimie au laboratoire

	Piézomètre labo		
Nb piézo total	5 PEL	5PEC	10 piézo
Nb piezo fait déc 2009	6	2	8
% lacune	0%	60%	20%
Nb piezo fait mars 2010	5	5	10
% lacune	0%	0%	0%
Nb piezo fait juillet 2010	5	4	9
% lacune	0%	20%	10%

En décembre 2009, seul 8 piézomètres ont été analysés au laboratoire ce qui vaut d'avoir des valeurs moyennes à mauvaises car les piézomètres 09ex0013 (PF 8) et 09ex0074 (PF 22) étaient à secs.

En mars 2010, aucun piézomètre n'étant à sec, tous les piézomètres ont pu être analysés.

En juillet 2010, deux piézomètres étaient à sec (09ex0074 et 09ex0012) mais l'analyse sur le piézomètre 09ex0074 a été remplacé par le 3ème piézomètre existant sur la même plateforme

(PF 22). Cela incombe donc des analyses sur 4 PEC au lieu de 5 et au total sur 9 piézomètres au lieu de 10, d'où des valeurs moyennes (10 à 20%) en juillet 2010.

2.2.5 Bilan des diagraphies

Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a en charge de réaliser des diagraphies de conductivité et de température sur l'ensemble des piézomètres de SM-LT, c'est-à-dire sur les 48 piézomètres suivis par E.M.R. Les 3 piézomètres suivis depuis juillet 2010 n'ont pas été pris en compte car les diagraphies auraient normalement du avoir lieu en juin 2010.

Le tableau ci-dessous (Tbl.10) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site. Un pourcentage a été calculé, en comparant les mesures réalisées par rapport au nombre de mesures possibles (nombre de visite terrain).

Le code couleur suivant a été choisi :
- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 10: Bilan des lacunes au niveau des diagraphies

Diagraphie		
Missions	Nb de mesure sur 48 piézomètres	% lacune
Déc_09	48	0%
Mars_10	48	0%
Juillet_10	48	0%

Les valeurs obtenues sont toutes correctes. Certains piézomètres étaient à secs lors des campagnes mais ceci a été comptabilisé comme une mesure. Ce fut le cas des piézomètres 09ex0029, 09ex0053 et 09ex0074 en décembre 2009 et à nouveau du piézomètre 09ex0053 en mars et juillet 2010.

2.3. Bilan des données pluviométriques disponibles

Vale Inco NC possède plusieurs stations pluviométriques. La station SMA A étant la mieux située par rapport à notre secteur d'étude, c'est donc celle qui a été retenue pour l'étude.

Les données sont collectées et traitées par Vale Inco NC.

Le tableau ci-dessous (Tbl.11) récapitule les lacunes au niveau des mesures réalisées sur site.

Un pourcentage de lacune a été réalisé en comparant les données manquantes aux données théoriquement disponibles.

Le code couleur suivant a été choisi :
- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Tableau 11: Bilan des lacunes au niveau des données pluviométriques de la station SMA A

	Nombre de jours	Nb de jours de lacune	Bilan
Station A	359	0	0%

Les données pluviométriques ont été prises entre le 22/09/2009 et le 17/09/2010, dates auxquelles fut réalisée la mission SM-LT. Nous constatons que sur les 359 jours, aucune donnée ne manque. La station pluviométrique SMA A fonctionne donc bien.

3. Présentation des missions et validation des données du suivi piézométrique

3.1. La pluviométrie

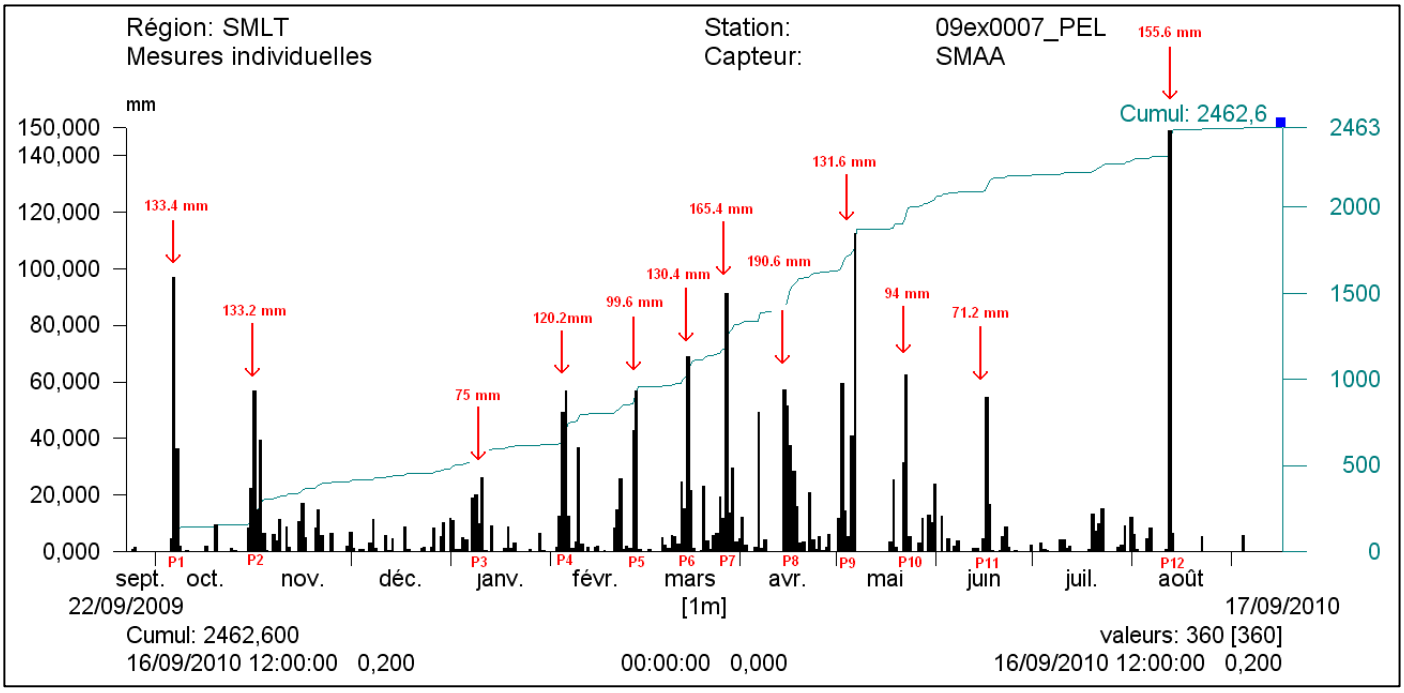
Trois stations pluviométriques sont présentes sur le site de Goro. La station pluviométrique SMA A, localisée au nord-est de SM-LT, est la mieux située par rapport à la zone d'étude (Fig.1). C'est donc cette station pluviométrique qui a été retenue pour l'étude de la zone.

Après analyses des données pluviométriques journalières, recueillies auprès du service Environnement de Vale Inco NC, 12 grands épisodes pluvieux ont été répertoriés entre le 22/09/2009 et le 17/09/2010. Ces épisodes sont retrouvés dans le tableau ci-dessous (Tbl.12) :

Tableau 12: Les grands épisodes pluvieux enregistrés par SMA A entre le 22/09/09 et le 17/09/2010

Episodes de pluie	Début de pluie	Fin de pluie	Nb de jours	Pluie cumulée (mm)
P1	06/10/2009	08/10/2009	2	133,4
P2	30/10/2009	03/11/2009	4	133,2
P3	07/01/2010	11/01/2010	4	75,0
P4	03/02/2010	07/02/2010	3	120,2
P5	26/02/2010	28/02/2010	2	99,6
P6	13/03/2010	17/03/2010	4	130,4
P7	25/03/2010	30/03/2010	5	165,4
P8	14/04/2010	19/04/2010	5	190,6
P9	01/05/2010	07/05/2010	6	131,6
P10	21/05/2010	24/05/2010	3	94,0
P11	16/06/2010	18/06/2010	2	71,2
P12	12/08/2010	14/08/2010	2	155,6

Ces épisodes pluvieux sont également répertoriés sur le graphique ci-dessous (Graph.1). Ce graphique représente la pluviométrie enregistrée par SMA A et une courbe de cumul pluviométrique y est associée.



Graphique 1: Graphique illustrant les grands épisodes pluvieux entre le 22/09/09 et le 17/09/10 au niveau de la station SMA A

Le cumul total de pluie enregistré sur la période d'étude (du 22/09/09 au 17/09/10) est de 2462,6 mm.

Ces données pluviométriques sont la base de l'étude car des comparatifs vont être effectués avec l'ensemble des missions accomplies sur le Stock de Minerai Long Terme.

3.2. Suivi hydrologique

E.M.R. a en charge d'assurer un suivi hydrologique sur les 4 rivières parcourant la zone d'étude. Il s'agit de la Kwé Ouest 5 à l'Ouest, de la Kwé Ouest et de la Kwé au Sud, et de la Kwé Nord à l'Est (Fig.1). Ce suivi est réalisé mensuellement depuis octobre 2009. Des mesures de débit sont effectuées et les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, température) de la rivière sont relevés.

Concernant les mesures de débit, les jaugeages sont réalisés dans le lit du cours d'eau à l'aide d'un micromoulinet. Cette méthode permet de connaitre la hauteur d'eau en différents points de la section et de relever pour chacun d'entre eux un nombre de tour d'hélice. L'hélice n°1 est la plus souvent utilisée car le nombre de tour de celle-ci dépasse rarement 300 tours pour un pas de temps de 30 secondes. A partir de ces données terrain, une macro a été réalisée afin de calculer le débit, le périmètre et la surface mouillée de la section. Voici un exemple de feuille de jaugeage conçue lors de chaque mesure de débit (Fig.2).

Station KO5 le 18/02/2010

Station	Date
KO5	18/02/2010

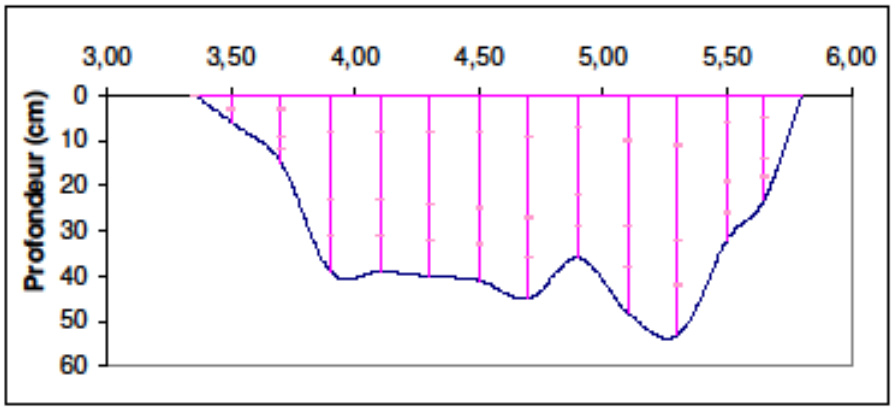
Débit : 0,018 m3/s
Perimètre mouillé : 2,896 m
Surface mouillée : 0,813 m²

Moulinet	Helice	Pas
C2	1	30

	Début	fin
Heure	10h10	10h36
Echelle		-
Limnimètre	-	-

Rive gauche	Rive droite	Opérants :
3,35	5,8	CKa,OCa, MFa

Section de jaugeage :
Eau claire. Photo KO5



Verticales	Hauteur d'eau	Hauteur de mesure	Nb tours
3,5	6	3	0
3,7	15	3	0
		6	0
		12	0
3,9	39	8	0
		16	10
		31	14
4,1	39	8	0
		16	9
		31	13
4,3	40	8	0
		16	0
		32	9
4,5	41	8	0
		16	0
		33	9
4,7	45	9	0
		18	0
		36	5
4,9	36	7	0
		14	3
		29	11
5,1	48	10	0
		19	7
		38	14
5,3	53	11	0
		21	0
		42	0
5,5	32	6	0
		13	7
		26	13
5,65	23	5	0
		9	10
		18	13

Figure 2: Feuille de jaugeage de la section KO5 en février 2010

Pour des raisons de sécurité, seules des mesures de basses et moyennes eaux sont accomplies. Aucune mesure de débit en période de crue n'est disponible pour le moment. En effet, si les jaugeages hors crue sont réalisables avec un moulinet de jaugeage sans problème particulier, les mesures de débit lors d'une crue demandent la mise en place de matériels spécifiques couteux. Pour des raisons de sécurité évidente, il est impossible de se mettre à l'eau pour effectuer les mesures.

Entre octobre 2009 et septembre 2010, 12 missions mensuelles et 3 missions trimestrielles ont été réalisées.
Lors des missions mensuelles, seuls 3 jaugeages sont effectués : sur Source KN1et KN1 sur la rivière Kwé Nord et sur KO5 sur la rivière Kwé Ouest 5 (Fig.3 et 4).
Lors des missions trimestrielles qui ont eu lieu en décembre 2009 (correspondant à la période des basses eaux), mars et juillet 2010 (correspondant à la période des moyennes eaux), 14 jaugeages différentiels sont accomplis, en plus des 3 sections jaugées tous les mois (les sections « Confluence_KO5 » et « K1 » ont été rajoutées par rapport à la trimestrielle de décembre 2009). En accord avec la société Vale Inco NC, le nom des sites et parfois leurs emplacements ont changé entre les deux missions trimestrielles, ceci dans un souci de meilleur compréhension ou de sections mieux placées. Concernant Confluence_KO5, ce point a été jaugé pour la première fois en février 2010 afin de quantifier des apports d'eau latéraux et a depuis été intégré à la campagne de jaugeages différentiels.

La présentation des différents sites de jaugeage est retrouvée en Annexe 1 et des cartes positionnant les sections de jaugeage en décembre 2009 et mars 2010 figurent respectivement en figure 3 et 4.

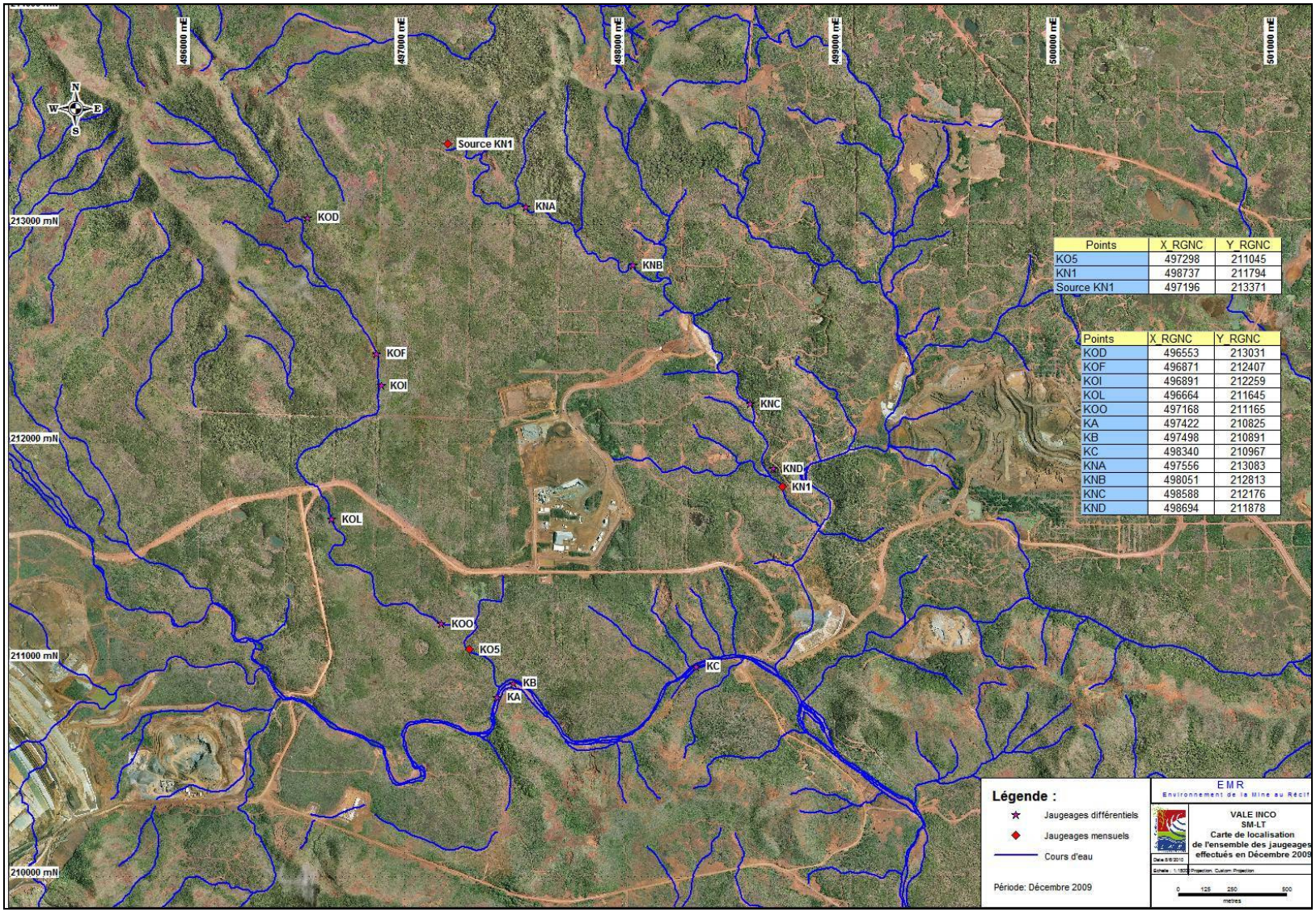
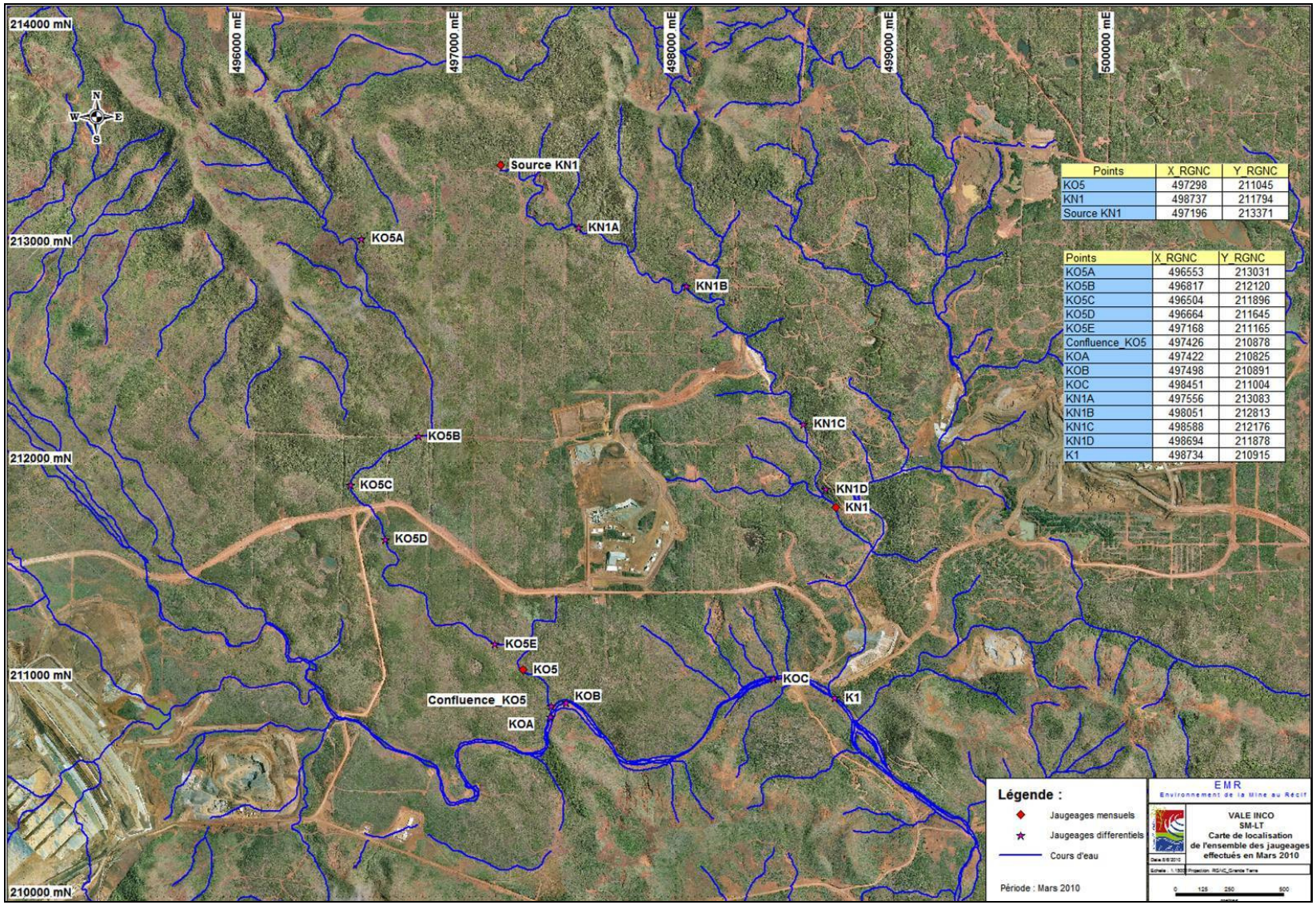


Figure 3: Carte de localisation des sites de jaugeages mensuels (losange rouge) et trimestriels (croix rose) réalisés en décembre 2009. Leurs coordonnées RGNC sont également présentées sous forme de tableau



Points	X_RGNC	Y_RGNC
KO5	497298	211045
KN1	498737	211794
Source KN1	497196	213371

Points	X_RGNC	Y_RGNC
KO5A	496553	213031
KO5B	496817	212120
KO5C	496504	211896
KO5D	496664	211645
KO5E	497168	211165
Confluence_KO5	497426	210878
KOA	497422	210825
KOB	497498	210891
KOC	498451	211004
KN1A	497556	213083
KN1B	498051	212813
KN1C	498588	212176
KN1D	498694	211878
K1	498734	210915

Figure 4 : Carte de localisation des sites de jaugeages mensuels (losange rouge) et trimestriels (croix rose) réalisés en mars 2010. Leurs coordonnées RGNC sont également présentées sous forme de tableau

Lors de chaque campagne mensuelle et trimestrielle, E.M.R. a également en charge de réaliser des mesures physico-chimiques in-situ dans les rivières à l'aide de sondes multi-paramètres. Ces mesures sont faites au même moment que les jaugeages. Les paramètres relevés sont les suivants :

- le pH ;
- la conductivité (µS/cm) ;
- la température (°C).

Le pH permet de mesurer le caractère acide ou basique du milieu.

La conductivité de l'eau fournit une indication sur la qualité et la quantité de matières dissoutes dans l'eau. La mesure de la conductivité de l'eau dépend d'une large variété de substances ou de matières inorganiques solides dissoutes dans les solutions d'eau. Les substances dissoutes communes sont le sodium, le chlorure, les sulfates, le calcium, le bicarbonate, les nitrates, les phosphates, le fer et le magnésium. Tous ces matériaux à certaines concentrations ont la capacité de porter un courant électrique. Si la conductivité est un paramètre permettant de suivre une éventuelle pollution par variation à la hausse d'une des substances dissoutes, elle a aussi pour intérêt de permettre d'évaluer l'origine des eaux. En effet, une eau de pluie possède une conductivité très faible. A mesure de son ruissellement et surtout de son infiltration dans le sol, elle se charge en éléments et voit donc sa conductivité augmenter. Ainsi, une eau peu conductrice est une eau plutôt issue de ruissellement de surface tandis qu'une eau plus conductrice correspondra plutôt à de l'eau issue d'une nappe souterraine.

La température de l'eau est principalement influencée par les conditions météorologiques. En effet, pendant les périodes de sécheresse, où les apports d'eau de pluie sont réduits et les températures de l'air élevées, la température de l'eau a tendance à augmenter. Toutefois, la température de l'eau souterraine étant moins élevée que l'eau de surface, une baisse soudaine de la température le long d'un creek peut trahir la présence d'une résurgence.

Suivant le cahier des charges (2009), une double mesure manuelle est effectuée par deux opérateurs différents. Les sondes sont placées dans le lit du cours d'eau, dans un endroit assez calme, où le courant n'est pas fort, afin de ne pas trop perturber les mesures. Une fois la stabilisation de ces dernières, les paramètres physico-chimiques sont relevés.
Au total, 12 missions mensuelles et 3 missions trimestrielles ont eut lieu entre octobre 2009 et septembre 2010.

3.3. Suivi piézométrique

E.M.R. a en charge d'assurer le suivi piézométrique sur le site de SM-LT. Ce suivi mensuel concerne 51 piézomètres. Trois de ces piézomètres ne sont suivis que depuis juillet 2010. Les autres piézomètres sont répartis sur 24 plateformes. Chaque plateforme (PF) contient donc 2 piézomètres : un Piézomètre Environnemental Court, appelé PEC, implanté dans l'aquitard latéritique ; et un Piézomètre Environnemental Long, appelé PEL, implanté dans l'aquifère saprolitique. Trente huit d'entre eux sont équipés de sondes Level Troll ou Aqua Troll ; celles-ci mesurent la hauteur d'eau d'une nappe. Seul le piézomètre 09ex0022 situé sur la plateforme 16 est en plus équipé d'une sonde Barotroll qui mesure la pression atmosphérique en continue. Les paramètres mesurés par chacune des sondes sont trouvés dans le tableau ci-dessous (Tbl.13) :

Tableau 13: Caractéristiques des différentes sondes installées dans les piézomètres sur SM-LT

Barotroll	Level Troll	Aqua Troll
Date + Temps	Date + Temps	Date + Temps
Temps cumulé	Temps cumulé	Temps cumulé
Température (°C)	Température (°C)	Température (°C)
Pression (Bar)	Pression (Bar)	Pression (Bar)
	Hauteur d'eau (m)	Hauteur d'eau (m)
		Conductivité (µS)
		Salinité (PSU)
		TDS (g/L)
		Résistivité (ohm-cm)
		Densité de l'eau (g/cm3)

La figure 5 localise les différentes plateformes. Leurs coordonnées GPS et leurs présentations photographiques sont respectivement retrouvées en Annexe 2 et 3.

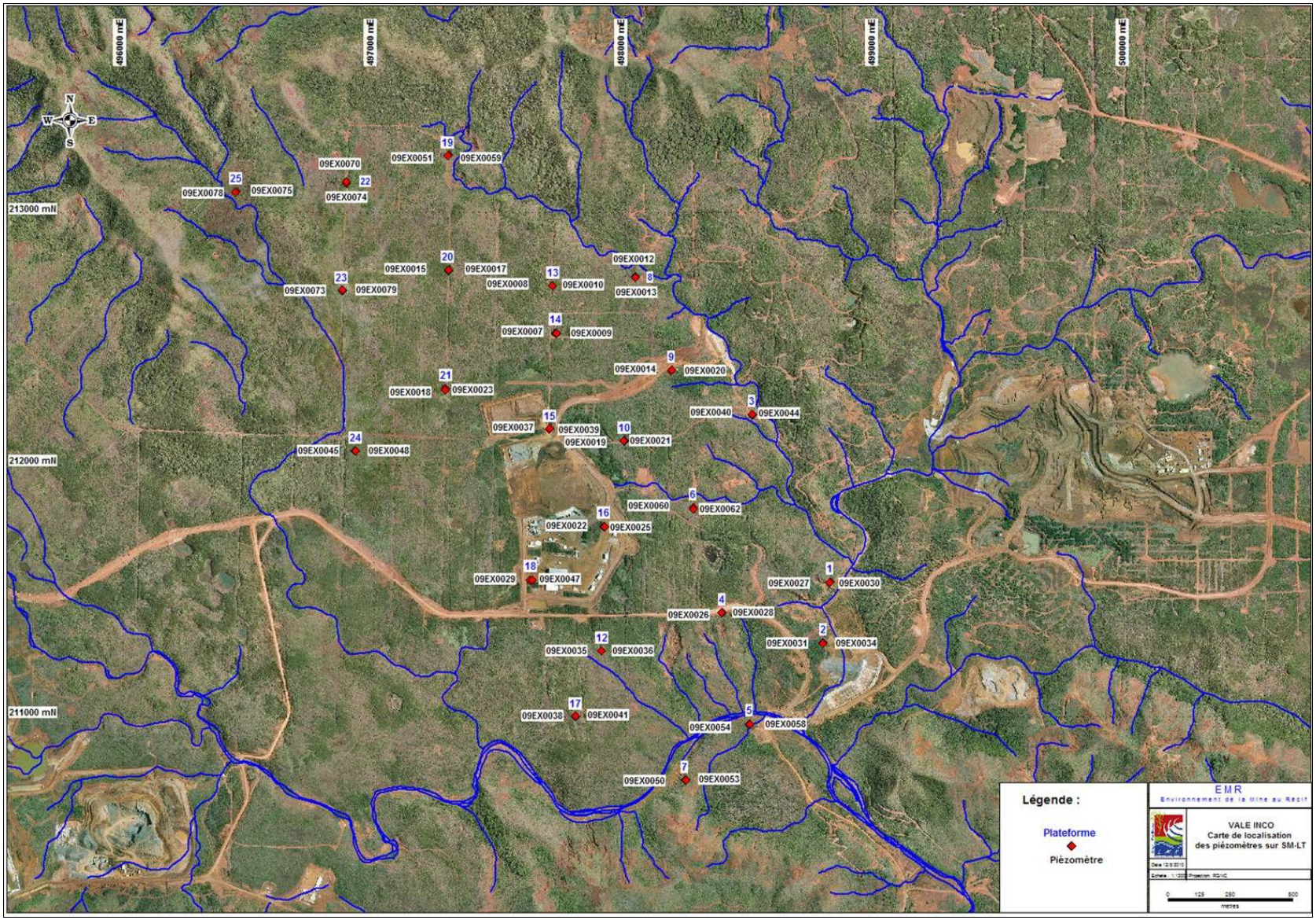


Figure 5: Localisation de l'ensemble des plateformes (en bleu) et piézomètres (en noir) sur SM-LT

Lors de chaque mission, une double mesure manuelle est effectuée par deux opérateurs différents. L'état du piézomètre et des sondes sont contrôlés et tout problème est noté et retranscrit dans le rapport mensuel. Les 38 sondes présentes sur le site sont déchargées sur un pocket-pc, suivant un protocole piézométrique mis en place début 2010, et les données sont vérifiées. Un contrôle de la dérive de l'appareil est également fait sur le terrain et au bureau.

L'intérêt de ce processus est de comparer le niveau piézométrique mesuré manuellement, et servant de référence, à celui pris par les sondes Level Troll ou Aqua Troll. En effet, afin de vérifier le bon fonctionnement des sondes, mises en place dans les piézomètres, et de baser les interprétations sur des données valides et fiables, un traitement particulier des données lors du suivi piézométrique est exigé. Ces dernières sont ainsi traitées selon trois niveaux de contrôle, le but étant de codifier les données selon leur niveau de validité. Ces niveaux sont présentés par la suite.

Au total, douze missions ont été réalisées entre octobre 2009 et septembre 2010, permettant d'acquérir une importante chaine de mesure.

3.3.1 Niveau 0 à niveau 2 : Contrôle de la chaîne de mesure avec corrections

a) Niveau 0 : niveau brut

Après avoir déchargé, suivant la procédure du protocole piézométrique, les données des sondes sur un pocket-pc, les fichiers sont ensuite téléchargés sur un logiciel appelé Win-Situ puis convertis en fichier csv. De là, les données sont importées sous excel. Ceci constitue le niveau brut appelé niveau 0. Vous trouverez ci-dessous (Tbl.14) un exemple de niveau 0, cas ici du piézomètre 09ex0007 (PF 14) le 15 octobre 2009, pouvant être également retrouvé sur le CD en Annexe 9 concernant le suivi piézométrique.

Tableau 14: Exemple d'une partie du niveau 0 du piézomètre 09ex0007 (PF 14) en septembre 2009

Numéro de la sonde

Numéro du piézomètre

Date de création du fichier

Date de lancement de la sonde

Premières données mesurées par la sonde

Serial Number		129585			
Firmware Version	2.04				
Hardware Version		2			
Log Configuration					
	Log Name	09ex0007			
	Created By	SR-00-002			
	Computer Name	Field PC			
	Application	WinSituMobile.exe			
	Application Version	5.5.9.2			
	Create Date	23/09/2009 16:29			
	Notes Size(bytes)	4096			
	Type	Linear			
	Overwrite when full	Disabled			
	Scheduled Start Time	23/09/2009 17:00			
	Scheduled Stop Time	No Stop Time			
	Interval	Days: 0 hrs: 01 mins: 00 secs: 00			
Level Reference Settings At Log Creation					
	Level Measurement Mode	Depth			
	Specific Gravity	0.999			
Log Notes:					
Date and Time	Note				
23/09/2009 16:29	Sensor: 129585 Factory calibration has expired.: 16/04/2009 00:07:29				
15/10/2009 11:22	Suspend Command				
15/10/2009 11:22	Log Download - Used Battery: 7% Used Memory: 6% Name: SR-00-001				
Log Data:					
Record Count		523			
Date and Time	Elapsed Time Seconds	Sensor: Pres 35.8ft SN#: 129585 Pressure (Bar)	Sensor: Pres 35.8ft SN#: 129585 Temperature (C)	Sensor: Pres 35.8ft SN#: 129585 Depth (m)	
23/09/2009 17:00	0.000	1.486904	22.417801	15.177382	
23/09/2009 18:00	3600.000	1.484140	22.310410	15.149166	
23/09/2009 19:00	7200.000	1.483797	22.294785	15.145666	
23/09/2009 20:00	10800.000	1.483925	22.285995	15.146978	
23/09/2009 21:00	14400.000	1.483682	22.279663	15.144497	
23/09/2009 22:00	18000.000	1.483150	22.274292	15.139069	
23/09/2009 23:00	21600.000	1.482793	22.274780	15.135424	
24/09/2009 00:00	25200.000	1.482179	22.268433	15.129154	
24/09/2009 01:00	28800.000	1.481594	22.270874	15.123180	
24/09/2009 02:00	32400.000	1.480997	22.265030	15.117092	
24/09/2009 03:00	36000.000	1.480673	22.263565	15.113777	

b) Niveau 1 : Calculs et contrôles de la chaine de mesure

Au niveau 1, les données brutes sont reprises et mises en forme ; puis, une suite de calculs est réalisée afin de comparer la profondeur piézométrique (en m.NGNC) à la mesure manuelle effectuée sur le terrain (en m.NGNC), cette dernière étant considérée comme valeur de référence. De plus, à chaque calcul est mentionné un niveau d'erreur en cm. Voici une figure exposant les différentes étapes de traitement au niveau 1 (Fig.6) et un schéma illustrant les différents calculs (Fig.7) :

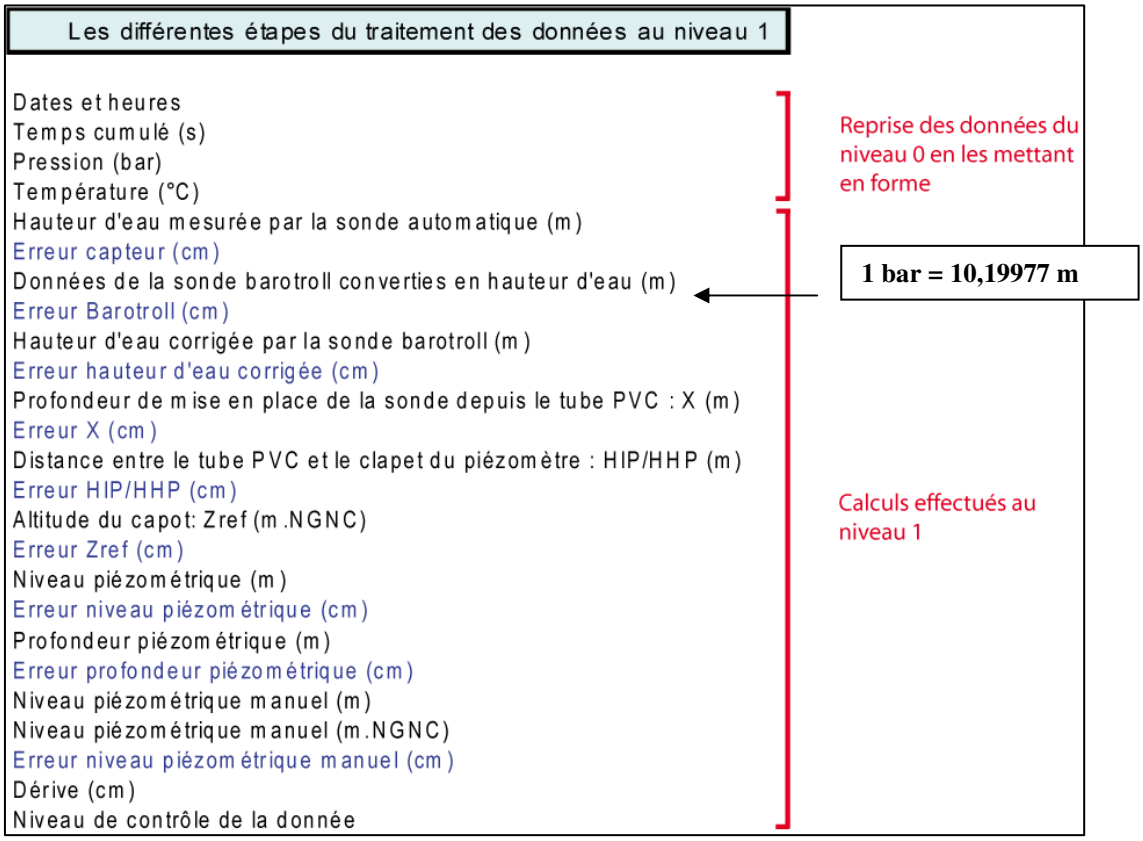


Figure 6: Les différentes étapes du traitement des données au niveau 1

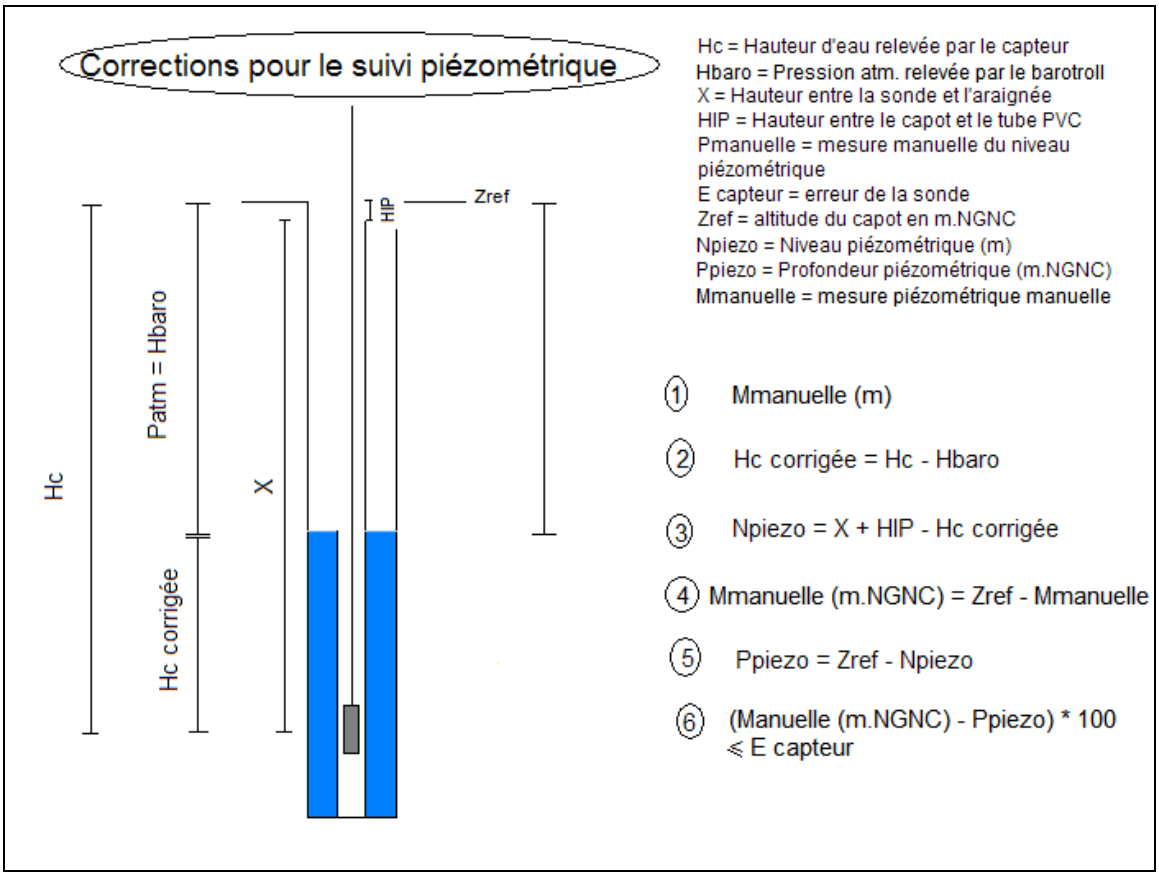


Figure 7: Schéma illustrant un piézomètre et les différentes étapes de calculs réalisées au niveau 1

Les erreurs de chaque paramètre et le calcul d'erreur pour chaque type de sonde sont donnés en Annexe 4.

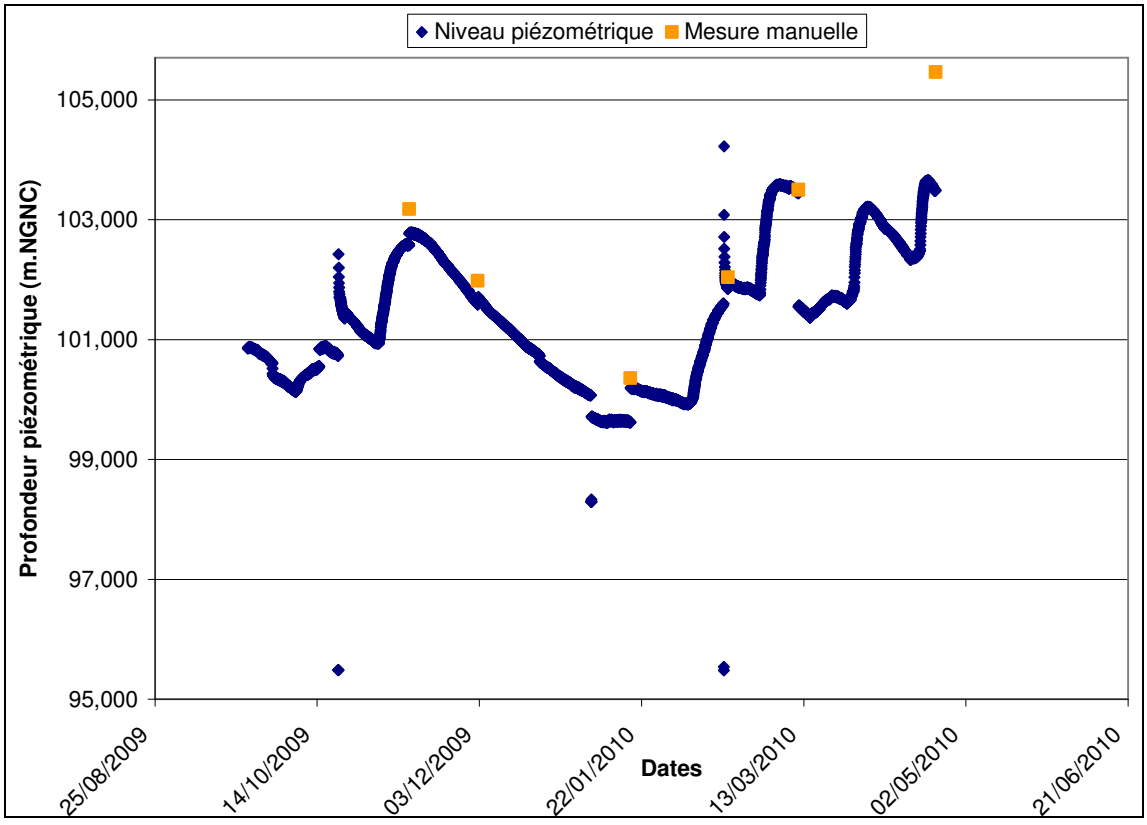
Chaque donnée est codifiée suivant la nomenclature SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau). Ce système d'information permet une codification commune pour les données sur l'eau (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2005). Ainsi, les valeurs seront déclarées comme :

- « Correcte » (« c ») lorsqu'elle est estimée valide au stade de validation indiquée dans l'information « statut de donnée » et vis-à-vis de la finalité recherchée ;
- « Incertaine » (« ince ») si la validité de la donnée reste douteuse au stade de validation indiqué dans l'information « statut de donnée ». Dans la mesure du possible, la qualification « douteuse » doit être une étape transitoire de la validation de la donnée et doit être réservée à des avancements intermédiaires de la validation ;
- « Incorrecte » (« inco ») lorsqu'elle est estimée erronée au stade de validation indiquée dans l'information « statut de donnée » et vis-à-vis de la finalité recherchée (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009).

Ainsi, au niveau 1, les données, dans le niveau de contrôle de la donnée, sont :

- « Correcte » lorsqu'elles sont comparées à une mesure piézométrique manuelle et que la dérive calculée est inférieure à l'ensemble des erreurs du capteur ;
- « Incertaine » lorsqu'elles ne sont pas comparées à une mesure piézométrique manuelle, ou si elles le sont, si la dérive calculée est supérieure à l'ensemble des erreurs du capteur ;
- « Incorrecte » lorsqu'elles sont comparées à une mesure piézométrique manuelle et que la dérive calculée est largement supérieure à l'ensemble des erreurs du capteur.

Un graphique de la profondeur piézométrique en fonction du temps est également créé à ce niveau (Graph.2).

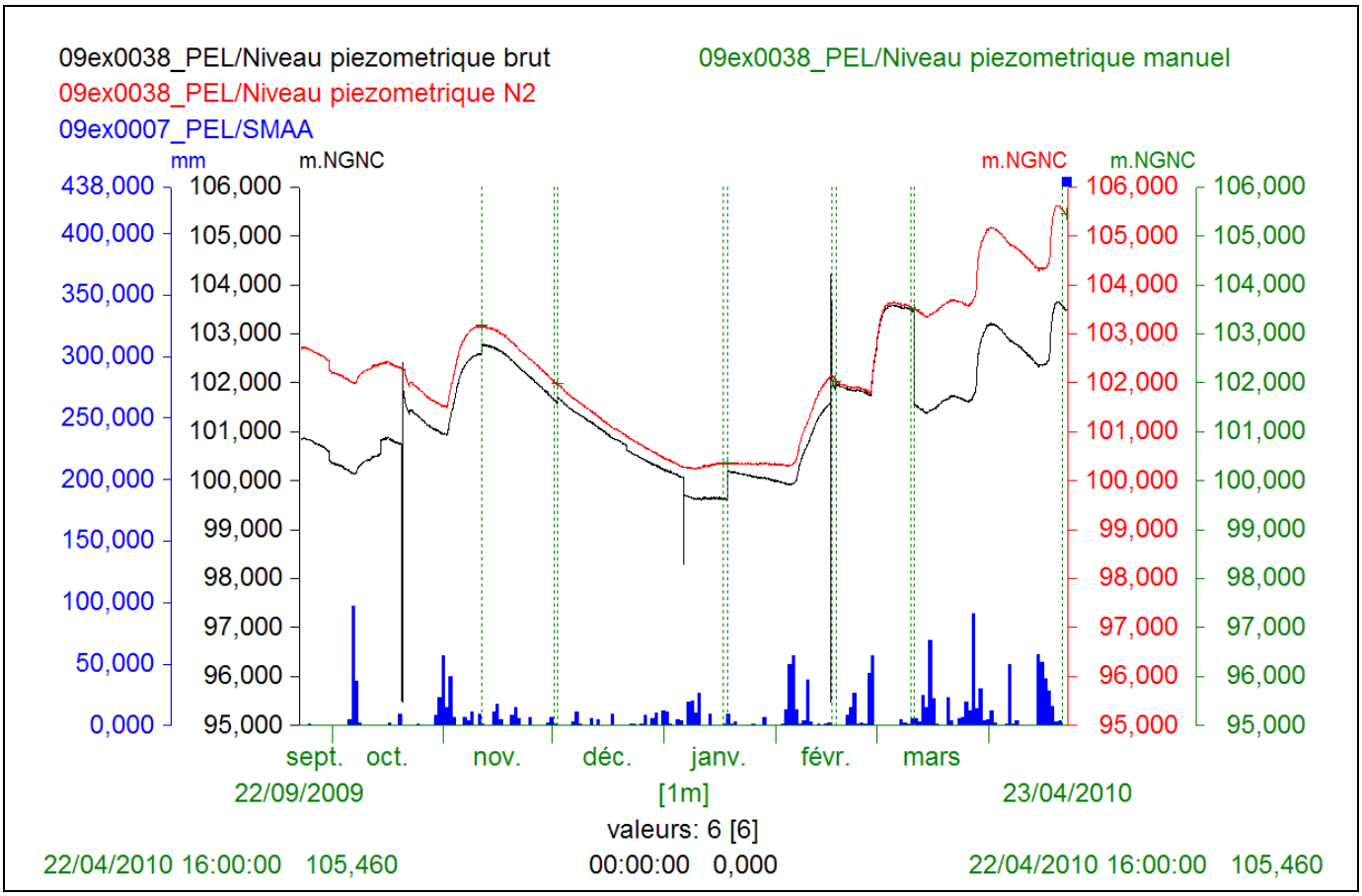


Graphique 2: Profondeur piézométrique (en bleu) et mesures manuelles (en orange), en m.NGNC, en fonction du temps, au niveau 1, sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17)

c) Niveau 2 : Corrections sous Hydras 3 et réimportation sous excel

Une fois le niveau 1 terminé, des fichiers intermédiaires sont créés afin d'être importés sous Hydras 3. Ce logiciel, spécialement conçu pour les applications dans le domaine de l'hydrogéologie, l'hydrologie et la météorologie, permet le paramétrage et la lecture des données en corrélant plusieurs représentations graphiques (OTT France, 2010).Le premier fichier dit « brut » reprend les dates, les heures et la profondeur piézométrique. Le deuxième fichier correspond aux données manuelles et reprend les dates, les heures et les mesures manuelles associées. Ces fichiers sont en fichiers texte (.txt) afin d'être importés sous Hydras 3. Le but est alors de recaler le signal piézométrique aux mesures manuelles réalisées sur le terrain, ces dernières étant considérées comme valeurs de référence. La pluviométrie de la station SMA A est également prise en compte.

Plusieurs types de corrections (translation, corrections glissantes, effacement de données) peuvent être appliqués permettant ainsi d'obtenir un signal piézométrique le plus juste possible par rapport aux mesures manuelles servant de références. Ces corrections sont notées dans le fichier excel du suivi piézométrique du piézomètre en question. Voici un exemple de signal piézométrique appartenant au piézomètre 09ex0038 (PF 17) avant (courbe noir) et après corrections (courbe rouge) (Graph.3) :



Graphique 3: Signal piézométrique du piézomètre 09ex0038 avant (en noir) et après corrections (en rouge) en fonction de la pluviométrie (en bleu), de septembre 2009 à avril 2010. Les mesures manuelles sont en vert.

Le signal piézométrique avant corrections est en noir et après corrections en rouge, les mesures manuelles en vert et la pluviométrie en bleu.

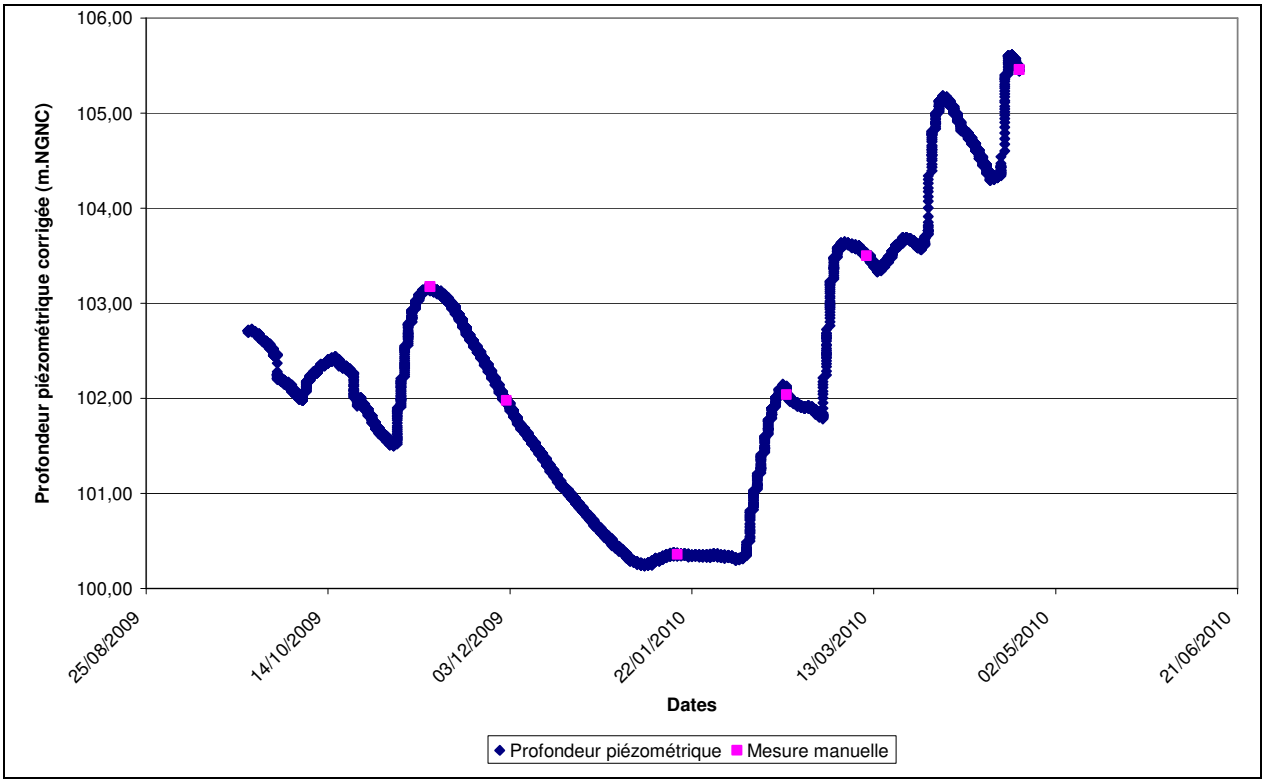
Par trois fois la sonde a été sortie à l'air (en octobre 2009, janvier 2010 et février 2010) et mal remise entraînant un pic et un décalage du signal. Le décalage de février 2010 a lieu en même temps qu'une mesure manuelle, il est donc dû à une équipe E.M.R. Par contre les décalages d'octobre 2009 et janvier 2010 ayant lieu hors des périodes d'interventions d'E.M.R., ils sont sûrement dus à une intervention de Foraco Pacifique qui est une entreprise de forage, surveillant l'état des piézomètres. Une fois les pics corrigés et le signal recalé par rapport aux mesures manuelles, une nouvelle courbe (en rouge) est obtenue. Après correction du signal piézométrique, les données corrigées sont réimportées sous excel pour constituer le niveau 2 du traitement. Ces nouvelles données sont à nouveau comparées aux mesures manuelles et leurs différences doivent être inférieures à l'ensemble des erreurs du capteur (Tbl.15).

Tableau 15: Exemple de tableau au niveau 2 (piézomètre 09ex0038 (PF 17))

Date	Heure	Profondeur piézométrique calculé à partir des valeurs mesurées par la sonde	E Profondeur piézométrique calculé à partir des valeurs mesurées par la sonde	Moyenne mesures manuelles : M	E Moyennes mesures manuelles: M	Dérive calculée	Niveau de contrôle de la donnée
		m.NGNC	cm	m.NGNC	cm	Centimètres	
09/11/2009	20:00	103,13	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
09/11/2009	21:00	103,13	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
09/11/2009	22:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
09/11/2009	23:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	0:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	1:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	2:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	3:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	4:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	5:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	6:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	7:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	8:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	9:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	10:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	11:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	12:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	13:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	14:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	15:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	16:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	17:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	18:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	19:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	20:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	21:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	22:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
10/11/2009	23:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	0:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	1:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	2:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	3:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	4:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	5:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	6:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	7:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	8:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	9:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	10:00	103,14	+/-15 cm	103,175	+/-1 cm	3,5	c
11/11/2009	11:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	12:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	13:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	14:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	15:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	16:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	17:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	18:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	19:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	20:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	21:00	103,13	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	22:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
11/11/2009	23:00	103,14	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	0:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	1:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	2:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	3:00	103,16	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	4:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	5:00	103,15	+/-15 cm		+/-1 cm		ince
12/11/2009	6:00	103,13	+/-15 cm		+/-1 cm		ince

Le niveau de contrôle des données affiche, au niveau 2, des valeurs dans l'ensemble « Incertaine » (« ince ») car elles ne sont pas comparées à des mesures piézométriques manuelles. Par contre celles qui sont comparées à des mesures piézométriques manuelles doivent être « Correcte » (« c ») puisque c'est le but des corrections effectuées sous Hydras 3.

Un graphique de la profondeur piézométrique en fonction du temps est à nouveau créé au niveau 2 reprenant les données importées d'Hydras 3 (Graph.4).



Graphique 4: Profondeur piézométrique (en bleu) et mesures manuelles (en rose), en m.NGNC, en fonction du temps, au niveau 2, sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17)

d) Niveau 3 : Contrôle des chroniques de mesures automatiques avec mise en perspective des données

Afin d'étayer de façon convaincante l'étude d'impact du futur Stock de Minerai Long Terme, une analyse rigoureuse concernant la conformité des données est demandée. Un contrôle des chroniques de mesures automatiques est donc effectué au niveau 3.

Pour ce faire, le signal piézométrique est comparé à la pluviométrie et à d'autres plateformes piézométriques. Puis, l'ensemble des corrections effectuées sous Hydras 3 est recensé. Ceci permet alors d'obtenir, au niveau 3 sous excel, la codification de chaque valeur selon la nomenclature SANDRE.

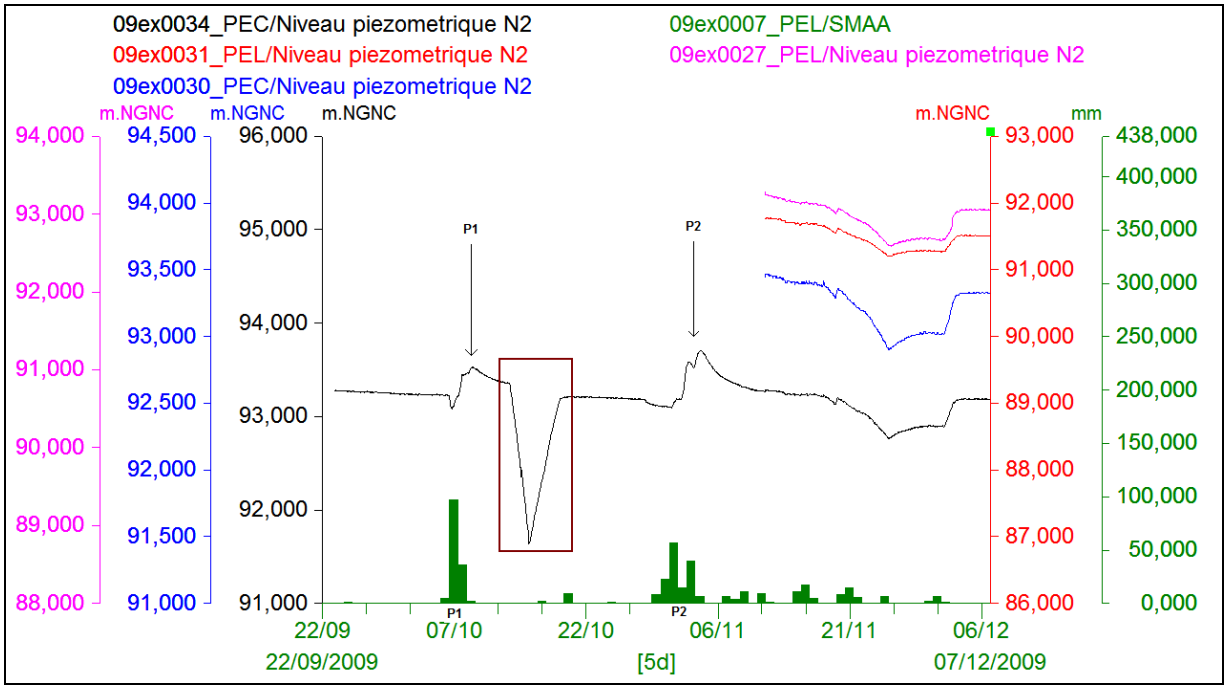
- *Comparaison du signal piézométrique avec la pluviométrie et entre station de mesure*

Pour vérifier la validité de chaque donnée, une revue attentive des fluctuations piézométriques en réponse à la pluviométrie de la station SMA-A est effectuée. Celle-ci a pour but de repérer des comportements anormaux comme par exemple une remontée des niveaux en l'absence de pluie ou au contraire des baisses brutales des niveaux, ou encore des signaux parasites. Afin de valider ou non ces comportements, les signaux piézométriques des PEL et des PEC de même plateforme ou de plateformes différentes sont confrontés.

Quelques exemples des constatations établies sont exposés ci-dessous :

Tout d'abord, le piézomètre 09ex0034 de la plateforme 2, situé au sud-est de la zone d'étude (Fig.5), enregistre une forte diminution (du 13/10/09 à 7h30 au 15/10/09 à 11h) puis une forte

augmentation (du 15/10/09 à 12h au 19/10/09 à 2h) du niveau piézométrique ; et ceci de manière progressive alors que la pluviométrie n'est pas importante (Graph.5). Aucun comparatif n'a pu être établi car les sondes des piézomètres alentours ont été mises en place plus tardivement.



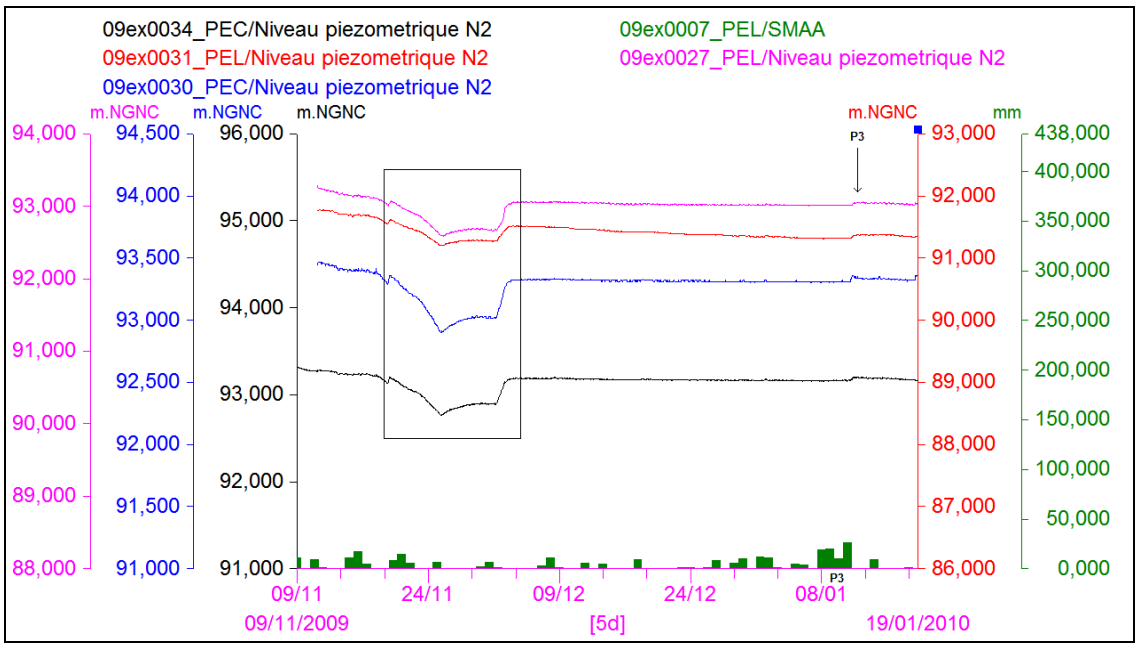
Graphique 5: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir), sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 1, et sur le PEC 09ex0030 (en bleu) et le PEL 09ex0027 (en rose) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en vert), de septembre 2009 à décembre 2009

Ceci est d'autant plus surprenant que les variations piézométriques, enregistrées à la suite des épisodes pluvieux P1 et P2, sont beaucoup moins marquées.

Cependant, il est important de noter que les plateformes 1et 2 sont situées à proximité d'un bassin de sédimentation : le Bassin de Sédimentation de la Kwé Nord (BSKN). Celui-ci fonctionne en surverse depuis sa mise en service en janvier 2009. Il a subi une seule petite vidange de moins de 1m entre le 13 et 15 octobre 2009, lors de la mise en place d'un échantillonneur sur le déversoir. Ces données ont été recueillies auprès de Daniel Contal, géotechnicien sur mine de Vale Inco NC. Cette vidange correspondant aux dates de diminution et augmentation de la profondeur piézométrique, la nappe des latérites est sûrement connectée à ce plan d'eau et ce comportement semble donc normal.

Les autres sondes ayant été installées plus tardivement, aucune donnée à ce point ne permet de dire si la nappe des saprolites est elle aussi connectée à ce plan d'eau.

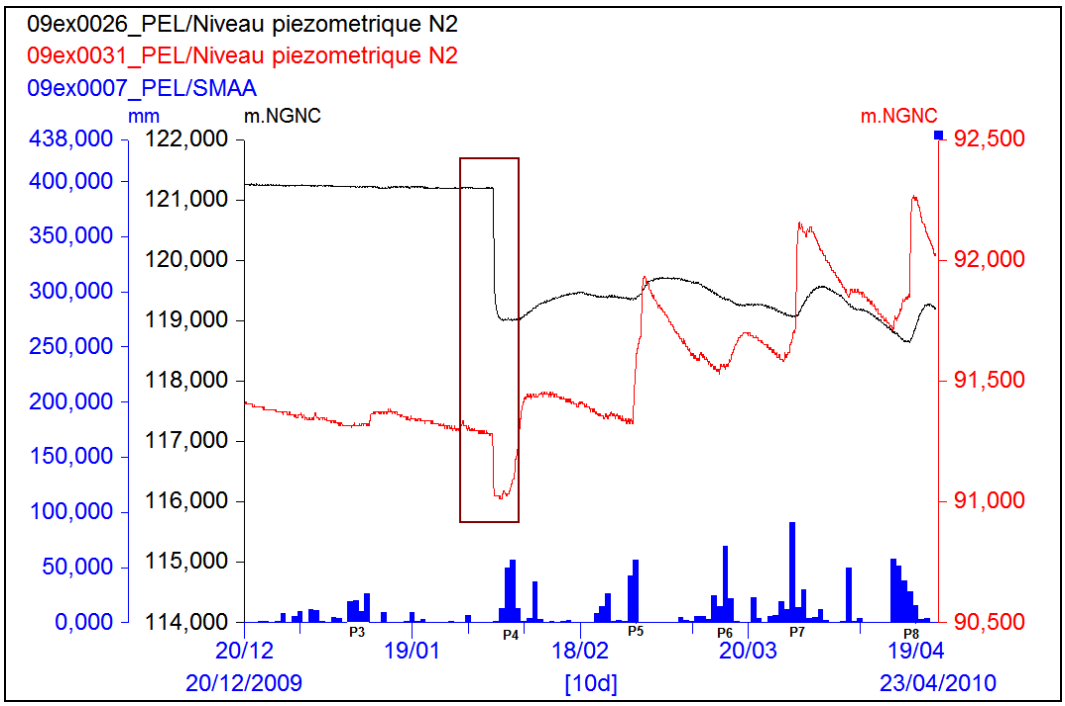
Ensuite, les plateformes 1 et 2 enregistrent au même moment une diminution (du 19/11/09 au 25/11/09) puis une augmentation du niveau piézométrique (du 01/12/09 au 03/12/09) (Graph.6). Ceci est d'autant plus surprenant que la variation piézométrique, enregistrée lors de l'épisode pluvieux P3, est très faible.



Graphique 6: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir), sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 1, et sur le PEC 09ex0030 (en bleu) et le PEL 09ex0027 (en rose) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en vert), de novembre 2009 à janvier 2010

Ce phénomène n'est pas dû à une vidange de BSKN et le trop plein d'eau du bassin se déverse en continue. Or, des auteurs comme Wirthmann en 1967 ou Trescases en 1973, ont décrit l'existence de phénomènes karstiques dans le massif du Sud. L'aquitard latéritique et l'aquifère saprolitique ont du être en décharge aux alentours du 20/11/09 puis se sont remis en charge à partir du 01/12/09.
Ce comportement ne semble donc pas être anormal.

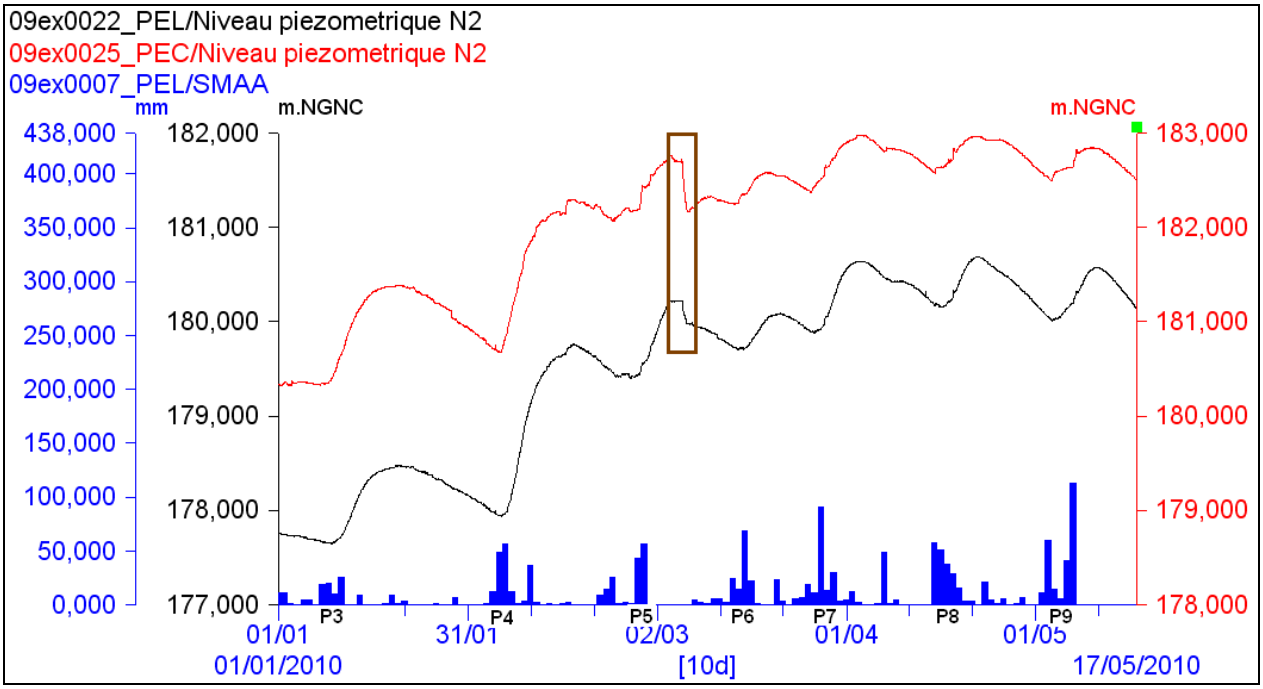
Toujours dans le même secteur d'étude, c'est-à-dire au sud-est de SM-LT, une grosse diminution de la profondeur piézométrique a été enregistrée sur les piézomètres 09ex0031 – PF 2 – (le 02/02/10 de 8h a 17h) et 09ex0026 – PF 4 – (du 02/02/10 à 13h au 03/02/10 à 10h) (Graph.7).



Graphique 7: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0026 (en noir) de la plateforme 4, et sur le PEC 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de décembre 2009 à avril 2010

Cette augmentation n'apparait pas sur le PEC 09ex0028 de la même plateforme (PF 4) mais elle a été enregistrée sur les plateformes 1 et 2. Il avait été conclu, pour ces dernières plateformes, à une recharge de la nappe. Ceci semble être également le cas pour l'aquifère saprolitique au niveau du piézomètre 09ex0026 (PF 4).
Ce comportement ne semble donc pas être anormal.

Au centre du plateau sur la plateforme 16, le piézomètre 09ex0022 enregistre une diminution brutale de 0,24 m.NGNC du 06/03/10 à 0h au 06/03/10 à 18h. La même constatation a été remarquée sur le PEC de la même plateforme (piézomètre 09ex0025) où une diminution de 0,526 m.NGNC est enregistrée du 06/03 0h au 06/03/10 20h. Ces phénomènes sont illustrés par le graphique ci-dessous (Graph.8)



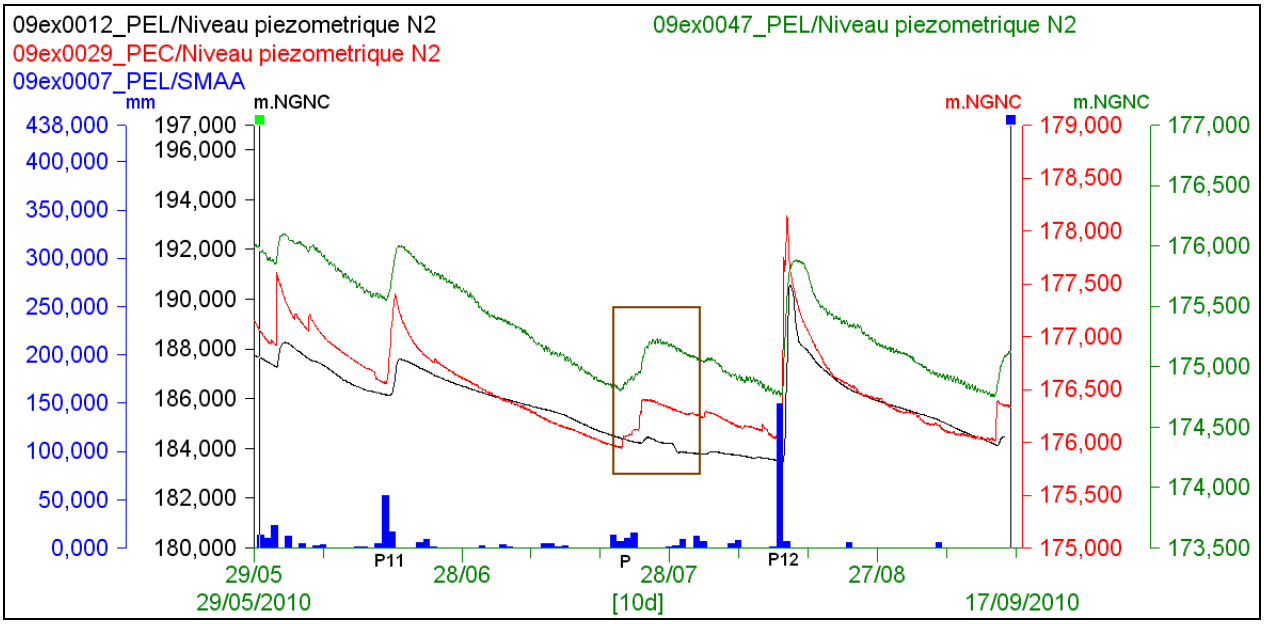
Graphique 8: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0022 (en noir) et sur le PEC 09ex0025 (en rouge) de la plateforme 16, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de janvier 2010 à mai 2010

Ces diminutions ayant eut lieu à la même date sur la même plateforme (PF 16), ce comportement ne semble donc pas anormal.

Le piézomètre 09ex0047 (PF 18), également situé au centre du plateau, enregistre une augmentation de la profondeur piézométrique de 0,43 m.NGNC suite à l'épisode ayant lieu du 19/07/10 au 23/07/10. A cause d'un cumul pluviométrique peu important (45,6 mm en 4 jours), celui-ci n'a pas été répertorié dans les grands épisodes pluvieux. Or, suite à l'épisode pluviométrique P11 (cumul de 71,2 mm en 2 jours), la réaction du signal piézométrique est marquée par une augmentation de 0,45 m.NGNC. La différence entre ces 2 augmentations est donc peu significative alors que leur cumul l'est beaucoup plus (Graph.9).

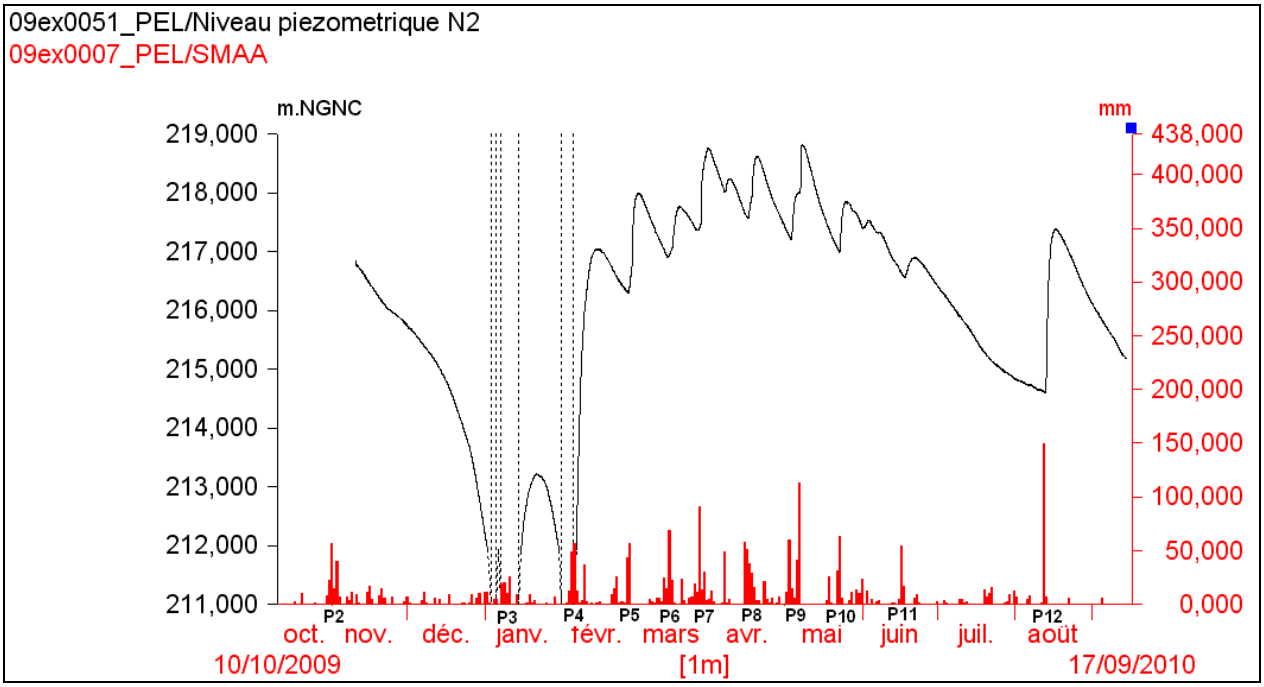
Cependant, la nette augmentation de la profondeur piézométrique en juillet n'est pas anormale. En effet, le PEC 09ex0029 de la même plateforme (PF 18) affiche également une augmentation importante de la profondeur piézométrique (de 0.46 mNGNC) suite à ce même épisode pluvieux (ayant lieu du 19/07/10 au 23/07/10).

Par contre, pour la même période, le piézomètre 09ex0012 (PF 8), situé plus au nord-est de SM-LT, n'enregistre pas une telle augmentation (Graph.9).



Graphique 9: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEL 09ex0012 (en noir) de la plateforme 8, sur le PEC 09ex0029 (en rouge) et sur le PEL 09ex0047 (en vert) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de juin 2010 à septembre 2010

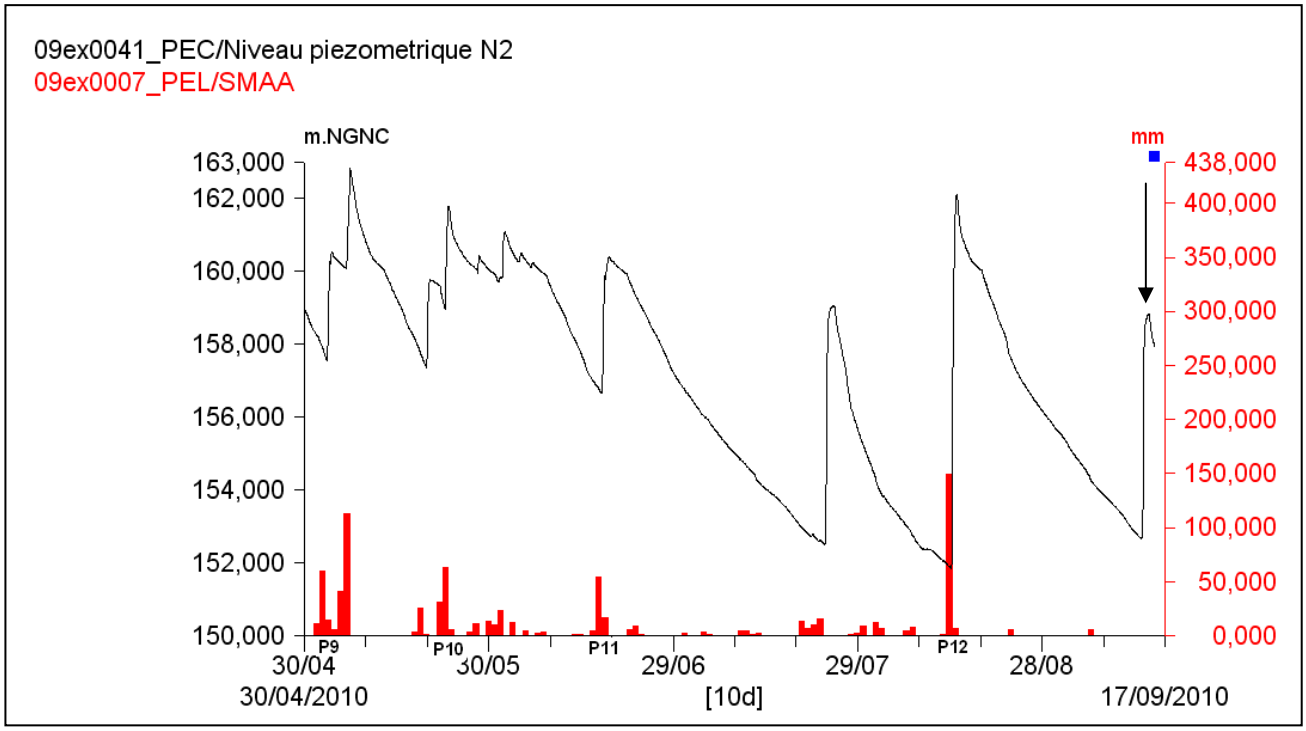
La profondeur piézométrique du piézomètre 09ex0051 (PF 19) diminue de façon importante (de 4.81 m.NGNC) entre le 10/11/10 à 10h et le 02/01/10 à 2h. Ensuite une augmentation importante de la piézométrie (de 5.1 m.NGNC) est notée du 06/02/10 à 15h au 14/02/10 à 13h, sur ce même piézomètre. Ces grosses variations sont surprenantes, d'autant plus qu'entre juin et août 2010 où la pluviométrie n'est pas très importante, le niveau de la nappe ne diminue pas de façon aussi significative (Graph.10).



Graphique 10: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0051 (en noir) de la plateforme 19, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), d'octobre 2009 à septembre 2010

Cependant, la piézométrie évolue de la même façon sur le PEC 09ex0059 de la même plateforme (PF 19). Ce comportement n'est donc pas anormal.

Le piézomètre 09ex0041 (PF 17), situé au sud de SM-LT, affiche une importante augmentation de la piézométrie, de l'ordre de 6,17 m.NGNC entre le 13/09/10 à 5h et le 14/09/10 à 9h. Or, aucun épisode pluvieux n'est remarqué en septembre (Graph.11).

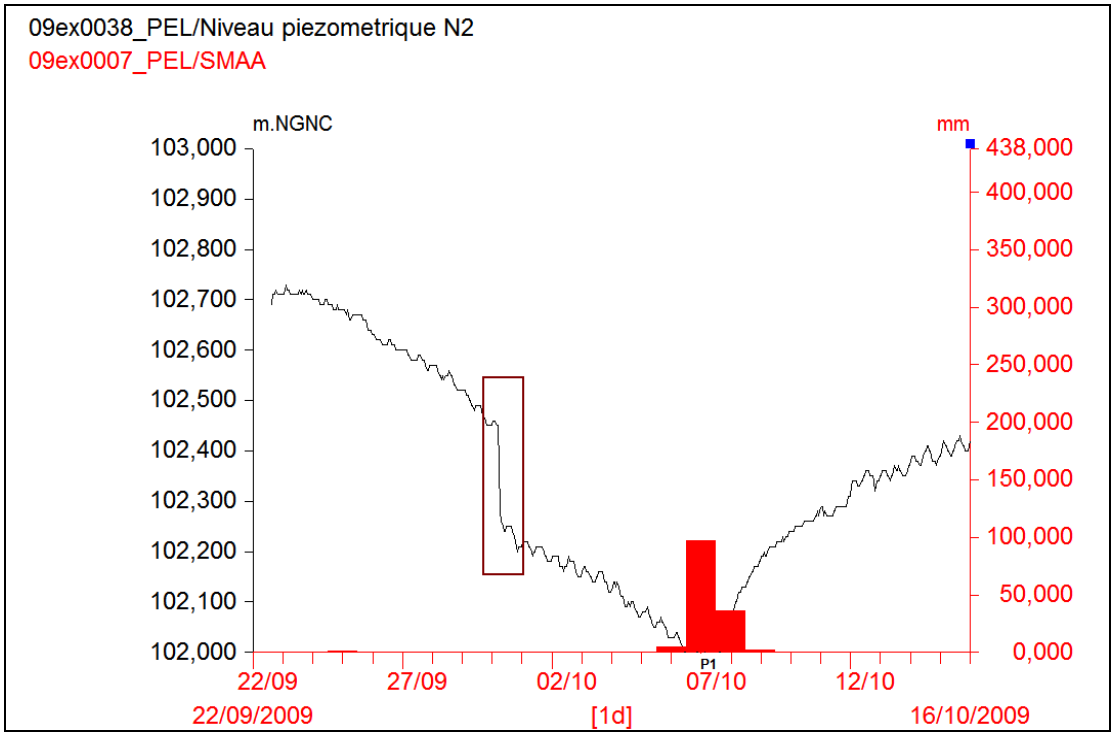


Graphique 11: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEC 09ex0041 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de mai 2010 à septembre 2010

Cette augmentation n'est pas un cas isolé. Elle a été retrouvée sur de nombreux piézomètres comme le piézomètre 09ex0017 (PF 20) où une augmentation de 0,93 m.NGNC est notée à partir du 13/09/10 à 2h jusqu'à la fin de la période d'étude le 13/09/10 à 16h.

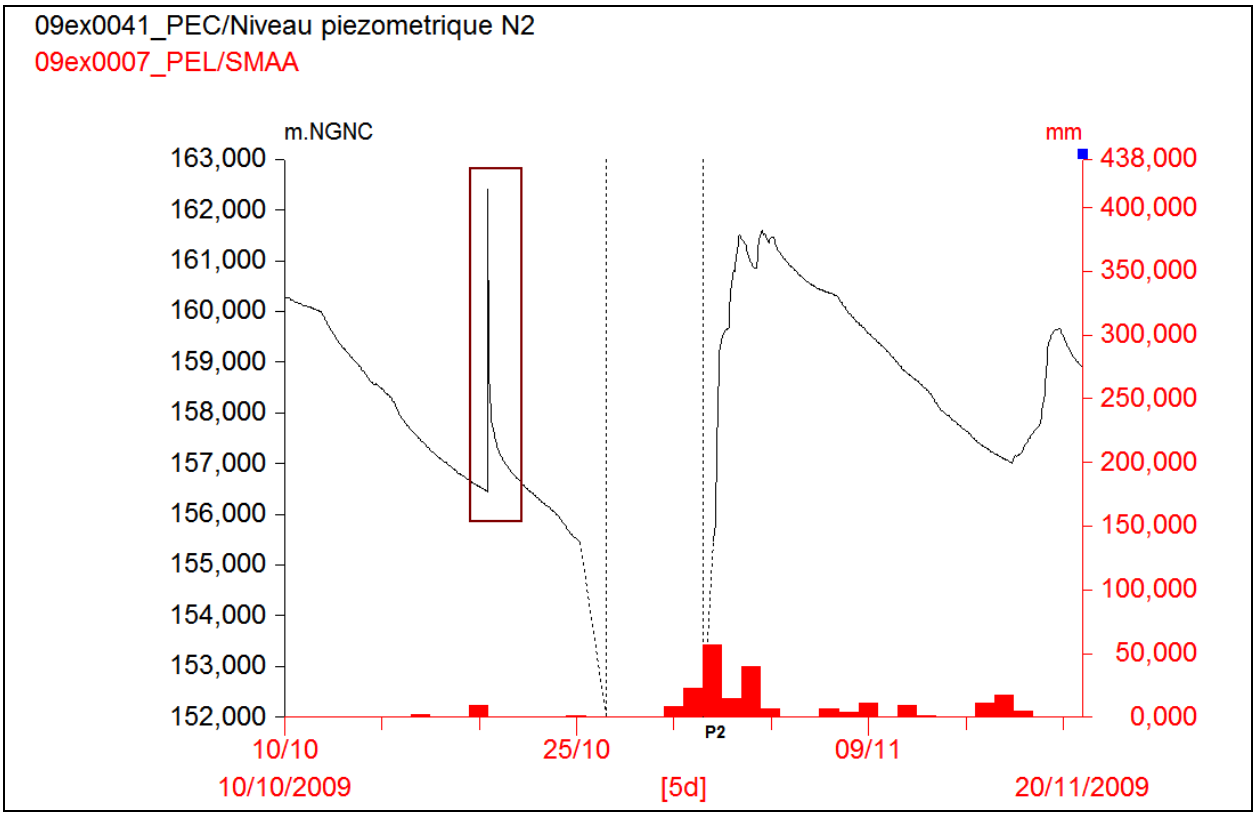
Le service Environnement de Vale Inco avait remarqué des disfonctionnement de la station SMAA à partir de mi septembre (propos recueillis auprès de Yann Vessiller, coordonnateur du suivi Environnement chez Vale Inco NC). Etant donné les augmentations enregistrées au niveau de la piézométrie, et ceux sur plusieurs piézomètres, un important épisode pluvieux, précédent de quelques heures ces augmentations, aurait du être enregistré au niveau de la station pluviométrique SMAA. Celle-ci devait donc montrer des signes de disfonctionnement depuis au moins fin août – début septembre.

Une petite diminution est observée sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17), situé sur la bordure sud du plateau latéritique, le 30/09/09 de 4h30 à 9h30 (Graph.12). Ce signal a été comparé à ceux des plateformes alentours (PF 4, PF 2 et PF 8) mais aucune correspondance n'a pu être établie. Ce comportement semble donc anormal et est noté au niveau du contrôle des données comme incertain.



Graphique 12: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0038 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de septembre 2009 à octobre 2009

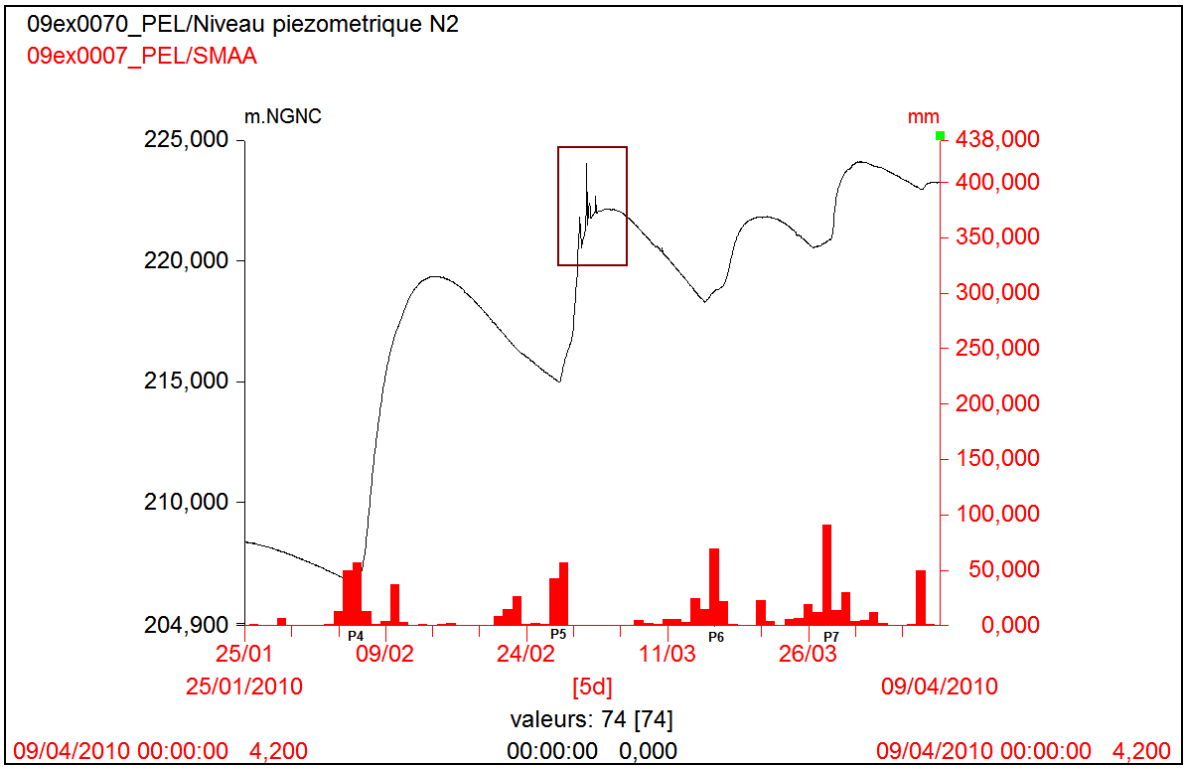
Toujours sur la plateforme 17, une importante augmentation de la profondeur piézométrique est notée le 20/10/09 à 10h sur le piézomètre 09ex0041 (Graph.13).



Graphique 13: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0041 (en noir) de la plateforme 17, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de octobre 2009 à novembre 2009

Cette augmentation a été comparée au PEC de la plateforme 17 (piézomètre 09ex0038), ainsi qu'aux plateformes alentours (PF 2, PF 4, PF 16 et PF 18 ; le signal piézométrique des plateformes 1 et 5 ne commençant pas avant le 10/11/09) mais aucun piézomètre ne présente d'augmentation à cette date.
Ce comportement semble donc lui aussi être anormal.

Pour finir, de nombreux petits pics sont présents du 01/03/10 au 10/03/10 sur le signal piézométrique du 09ex0070 (PF 22), situé au nord de SM-LT. La courbe étant « lisse » partout ailleurs ces pics semblent surprenants (Graph.14).



Graphique 14: Relevé de la profondeur piézométrique mesurée sur le PEL 09ex0070 (en noir) de la plateforme 22, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rouge), de janvier 2010 à avril 2010

Ce signal a été comparé à celui des piézomètres des plateformes 19, 22 et 25 mais aucune augmentation de ce genre n'a été retrouvée. Ces pics semblent donc être anormaux.

Pour conclure, chaque comportement semblant étrange par rapport aux données pluviométrique de la station SMA-A, a été examinée afin de vérifier leur validité. Quelques exemples de ces analyses vous ont été montrés ci-dessus.
Afin de poursuivre le contrôle des chaines de mesures, les corrections effectuées sous Hydras 3 sont recensées et codifiées selon la nomenclature SANDRE.

- *Recensement des corrections effectuées sous Hydras 3*

Les corrections effectuées sous Hydras 3 sont recensées dans deux tableaux différents.

Le premier tableau, reprend toutes les modifications effectuées au niveau 2 sur le signal piézométrique. En effet, il faut rappeler que pour passer du niveau 1 au niveau 2, les signaux piézométriques ont été recalés par rapport aux mesures manuelles prises sur le terrain. Ceci a entraîné un certain nombre de corrections. Ainsi, de nombreux pics, dus en général aux sorties

à l'air des sondes, ont été effacés ou translatés ; des décrochements étaient présents suite aux changements des X par exemple ; des sondes ont été hors eau durant une certaine période de temps (sonde mal adaptée, X trop court, piézomètre à sec) ; où encore des données ont manqué pour diverses raisons.
Un tableau (situé en Annexe 5) a donc été créé afin de recenser toutes ces données et de leur attribuer, suivant le type de modification appliquée, un niveau de contrôle incorrecte (« inco ») ou incertaine (« ince »).

- *Suivi piézométrique au niveau 3 sous excel*

Un niveau 3, ayant la même configuration que le niveau 2, est créé à la suite des niveaux précédents. Ce dernier niveau fait la synthèse de l'analyse détaillée des chaines de mesures, accomplie précédemment : comparaison des piézomètres par rapport à la pluviométrie, aux PEL/PEC de même plateforme et des plateformes alentours, recensement des données non correctes. Cependant, plusieurs étapes sont nécessaires à la réalisation de ce niveau 3 sous excel.

Tout d'abord, les données, ayant subies des changements suite aux corrections des comportements anormaux, sont de nouveau exportées sous excel.
Ensuite, une macro a été réalisée. Elle a pour but de recréer les plages de données manquantes ; d'attribuer à ces plages de données une date, une heure et une valeur ; puis de les classer dans le « niveau de contrôle des données » comme incorrecte (« inco »).

Par la suite, le tableau recensant toutes les corrections effectuées sous Hydras 3 (Annexe 5) est utilisé afin de compléter la colonne « niveau de contrôle des données ».
Voici ci-dessous un exemple de niveau 3, relatif au piézomètre 09ex0041 (PF 17) (Tbl.16). Les valeurs en vert sont correctes, celles en orange sont incertaines et celles en rouge sont incorrectes.

Tableau 16: Niveau 3 du piézomètre 09ex0041 avec codifications des valeurs selon la nomenclature SANDRE. Les données correctes sont en vert, les données incertaines sont en oranges et les données incorrectes sont en rouges

Date	Heure	Profondeur piézométrique calculé à partir des valeurs mesurées par la sonde	E Profondeur piézométrique calculé à partir des valeurs mesurées par la sonde	Moyenne mesures manuelles : M	E Moyennes mesures manuelles: M	Dérive calculée	Niveau de contrôle de la donnée
		m.NGNC	cm	m.NGNC	cm	Centimètres	
19/08/2009	5:00	156,750	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	6:00	156,730	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	7:00	156,720	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	8:00	156,710	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	9:00	156,700	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	10:00	156,690	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	11:00	156,680	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	12:00	156,670	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	13:00	156,650	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	14:00	156,650	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	15:00	156,630	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	16:00	156,630	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	17:00	156,630	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	18:00	156,630	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	19:00	156,600	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	20:00	156,580	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	21:00	156,570	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	22:00	156,560	+/-9 cm		+/-1cm		c
19/08/2009	23:00	156,560	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	0:00	156,550	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	1:00	156,540	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	2:00	156,530	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	3:00	156,520	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	4:00	156,530	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	5:00	156,500	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	6:00	156,480	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	7:00	156,480	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	8:00	156,470	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	9:00	156,460	+/-9 cm		+/-1cm		c
20/08/2009	10:00	156,450	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	11:00	156,444	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	12:00	156,437	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	13:00	156,431	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	14:00	156,425	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	15:00	156,418	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	16:00	156,412	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	17:00	156,405	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	18:00	156,399	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	19:00	156,393	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	20:00	156,386	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	21:00	156,380	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	22:00	156,374	+/-9 cm		+/-1cm		inco
20/08/2009	23:00	156,367	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	0:00	156,361	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	1:00	156,355	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	2:00	156,348	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	3:00	156,342	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	4:00	156,335	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	5:00	156,329	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	6:00	156,323	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	7:00	156,316	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	8:00	156,310	+/-9 cm		+/-1cm		inco
21/08/2009	9:00	156,280	+/-9 cm		+/-1cm		ince
21/08/2009	10:00	156,250	+/-9 cm		+/-1cm		ince
21/08/2009	11:00	156,230	+/-9 cm		+/-1cm		ince
21/08/2009	12:00	156,210	+/-9 cm		+/-1cm		ince
21/08/2009	13:00	156,190	+/-9 cm		+/-1cm		ince
21/08/2009	14:00	156,170	+/-9 cm		+/-1cm		ince

Pour terminer le niveau de contrôle des chroniques des chaines de mesures, 3 autres onglets sont conçus.
Le premier onglet retrace à nouveau un graphique au niveau 3.
Le deuxième onglet reprend le tableau de l'ensemble des corrections effectuées sous Hydras 3 (Tbl.17).

Tableau 17: Ensemble des corrections de dérives effectuées sous Hydras 3 pour le piézomètre 09ex0041 (PF 17)

Date de correction	*Type de correction*	*Date*	*Correction appliquée*
10/03/2010	Effacer	28/11/09 17h au 02/12/09 13h	Données effacées
	Effacer	12/12/09 3h au 10/01/10 17h	Données effacées
	Effacer	21/01/10 17h au 05/02/10 15h	Données effacées
	Effacer	25/09/09 13h45 au 25/09/09 17h45	Données effacées
	Effacer	01/10/09 14h45 au 07/10/09 9h45	Données effacées
	Effacer	25/10/09 4h au 01/11/09 1h	Données effacées
07/06/2010	Effacer	20/10/09 10h au 21/10/09 8h	Données effacées
	Translation	21/10/09 8h au 25/10/09 4h	-0,7
29/06/2010	Translation	22/04/10 16h au 25/05/10 9h	+0,035
	Correction glissante	25/05/10 10h au 15/06/10 11h	P1: 160,75 à 160,565 / P2: 157,42 à 157,14
14/10/2010	Translation individuelle	06/07/10 à 11h	Translation de 149,64 à 155,76
	Translation	15/06/10 12h au 15/09/10 8h	-0,25

Le troisième onglet correspond aux indicateurs de performance. Ainsi, suivant le nombre de données, un pourcentage des valeurs correctes (« c »), incertaines (« ince ») et incorrectes (« inco ») est calculé (Tbl.18).

Tableau 18: Tableau d'indicateurs de performance des données du piézomètre 09ex0041 (PF 17)

	Codes	
Pourcentage de valeur Correcte:	Corr	72,05%
Nombre de valeurs Correctes:	c	6172
Pourcentage de valeur Incertaine:	Ince	6,96%
Nombre de valeurs Incertaines:	Ince	596
Pourcentage de valeur Incorrecte:	Inco	20,99%
Nombre de valeurs Incorrectes:	Inco	1798
Pourcentage de valeur Non Qualifié:	NonQ	0,00%
Nombre de valeur Non Qualifiées:	NonQ	0
Nombre total de mesure:		8566

3.4. Missions trimestrielles

Lors des missions trimestrielles qui ont eut lieu en décembre 2009, mars 2010 et juin-juillet 2010, des missions spécifiques sont réalisées, en plus de celles accomplies tous les mois. En effet, des jaugeages différentiels sont effectués, des diagraphies de conductivité et de température sont accomplies ainsi qu'une caractérisation hydrochimique des nappes et des rivières. Leurs méthodes sont présentées par la suite.

Nota : En juin 2010, date de la 3ème mission trimestrielle, les jaugeages différentiels ont été effectués et les paramètres physico-chimiques in-situ en rivière ont été relevés. Par contre, les diagraphies ayant été mal réalisées en juin 2010, celles-ci ont du être recommencées en juillet 2010. La caractérisation hydrochimique in-situ en nappe et au laboratoire (rivières + nappes), s'est déroulé ce même mois car la pompe n'était pas disponible le mois précédent.

3.4.1 Les diagraphies de conductivité et température

Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a en charge de réaliser des diagraphies de conductivité et de température sur l'ensemble des ouvrages faisant l'objet du suivi piézométrique. Elles apportent des informations qualitatives sur les aquifères puisqu'elles permettent d'apprécier et de localiser des venues d'eau. Ces diagraphies sont réalisées à l'aide d'une sonde Aqua Troll 200, prêtée par le service Environnement de Vale Inco NC, et mesurent plusieurs paramètres dont la température et la conductivité.

Comme cela est spécifié dans le cahier des charges (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009) les mesures sont effectuées seulement lors de la descente de la sonde. Par la suite pour le

traitement des données, seules les mesures prises lors de la descente et réalisées en face des crépines sont prises en compte.

Afin d'interpréter les données de la sonde, plusieurs calculs sont nécessaires. La diagraphie du piézomètre 09ex0022 (PF 16), effectuée en décembre 2009, est prise comme exemple.

Les différentes variables de ce piézomètre sont les suivantes (Tbl.19) :

Tableau 19: Variables prises en compte pour la réalisation des diagraphies de conductivité et de température sur le piézomètre 09ex0022 (PF 16)

	Départ	Fin
Crépine (VINC) en m:	24,8	48
Crépine corrigée (m):	24,8	48
Zref	185,722	
niveau piézo (m):	5,87	

Hauteur tubulure hors-sol (m):	0,8
Valeurs moyenne pression en m:	10,15

Type de sonde	Aqua Troll 200 (200 m)
N° de sonde	-
Précision du capteur	+/- 8 cm

Les valeurs « en blanc » sont celles qui sont susceptibles de changer alors que les valeurs « en jaune foncé » ne changent pas.

Les paramètres enregistrés par la sonde et qui nous sont utiles sont :
- le pas de temps, c'est-à-dire une mesure toutes les deux secondes ;
- la température (en °C) ;
- la pression (en bar) ;
- la profondeur (en m) ;
- la conductivité (en µS/cm).

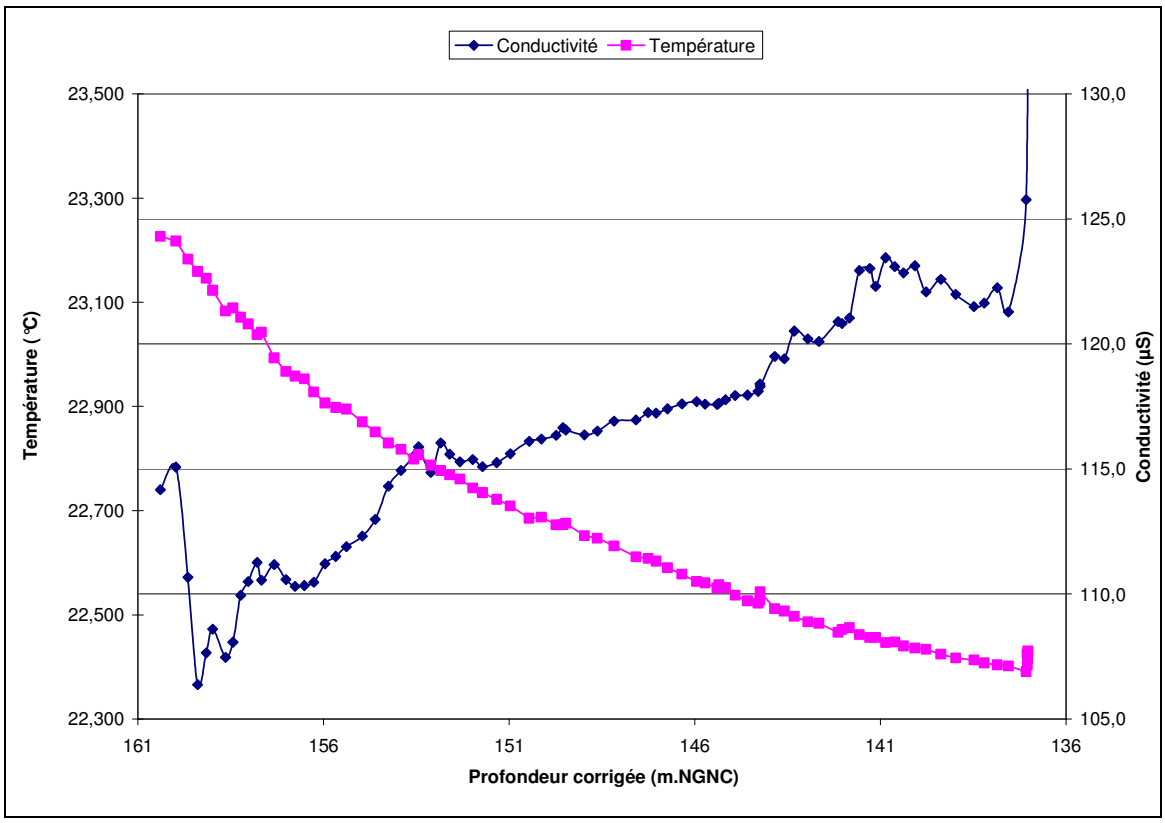
Les paramètres à calculer sont :
- la profondeur corrigée (en m) ;

Profondeur corrigée (m) = (Profondeur (m) – Valeur moyenne de pression (m) (encore appelé Lecture air)) + niveau piézométrique (m)

- la profondeur corrigée (en m.NGNC).

Profondeur corrigée (m.NGNC) = Profondeur corrigée (m) – Zcapot

Un graphique est réalisé mettant en évidence l'évolution de la conductivité et de la température en fonction de la profondeur (Graph.15)



Graphique 15: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0022 de la plateforme 16, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009

3.4.2 La caractérisation hydrochimique des nappes et des rivières

L'hydrochimie permet de suivre la distribution et l'évolution des composés chimiques des eaux. Lors des missions trimestrielles, E.M.R. a donc en charge de caractériser hydrochimiquement les nappes et les rivières in-situ et après analyses au laboratoire. Ces doubles mesures permettent de vérifier la validité des données ; les mesures in-situ étant considérées comme valeurs de référence.

Comme indiqué dans le cahier des charges (Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009), les mesures en rivière se font sur les stations limnimétriques KO5 et KN1 et ceux en nappe, sur 10 piézomètres. Cinq d'entre eux sont des piézomètres implantés dans l'aquitard latéritique et les 5 autres sont implantés dans l'aquifère saprolitique.

In-situ, les paramètres relevés sont les suivants :
- pH ;
- conductivité ;
- température.

En rivière, les sondes sont plongées directement dans le lit du cours d'eau, dans un endroit calme, pour ne pas perturber les mesures. En nappe, un système de pompe permet de remonter l'eau contenue dans les piézomètres et celle-ci est déversée dans un seau. Comme en rivière, les sondes sont plongées dans l'eau et la lecture se fait lors de la stabilisation des différents paramètres.

Des prélèvements d'eau sont également réalisés en rivière, au milieu de la section, et en nappe, une fois que la conductivité est stable. Ces échantillons sont ensuite analysés par la Calédonienne des Eaux de Nouméa (CDE de Nouméa).

Les mesures effectuées portent sur plusieurs paramètres - physico-chimiques, indésirables et toxiques. Les voici en détail :

- l'alcalinité : bicarbonates et carbonates ;
- les anions majeurs : HCO_3, F, Cl, SO_4, NO_2, NO_3 et PO_4 ;
- les canions majeurs : Na, K, Ca, Mg, et NH_4 ;
- les métaux : Al, Cr, Cr VI, Fe et Mn ;
- la silice : SiO_2.

Afin de vérifier la validité des données, la balance ionique de chaque analyse est calculée. Ce calcul correspond à la somme algébrique des produits de concentrations molaires par la charge ionique de tous les cations et anions présents.
Un diagramme de Piper est ensuite réalisé. Il est composé de 2 triangles : celui de gauche représente les faciès cationiques, celui de droite les faciès anioniques. Le losange central synthétise les grands faciès chimiques. Afin d'interpréter ces diagrammes, la lithologie doit être connue. En effet, le regroupement des eaux en familles est dû principalement à la diversité lithologique et détermine ainsi la physionomie propre de chaque eau souterraine, traversant l'une ou l'autre des

4. Résultat de l'analyse des données permettant de caractériser le milieu sur SM-LT

Afin de caractériser le milieu et son fonctionnement, plusieurs facteurs sont pris en compte. Les différents paramètres, suivis sur le futur Stock de Minerai Long Terme, ont été présentés dans le chapitre précédent. Les grandes tendances dégagées, suite à l'analyse des données acquises sur la zone d'étude, sont maintenant exposées.

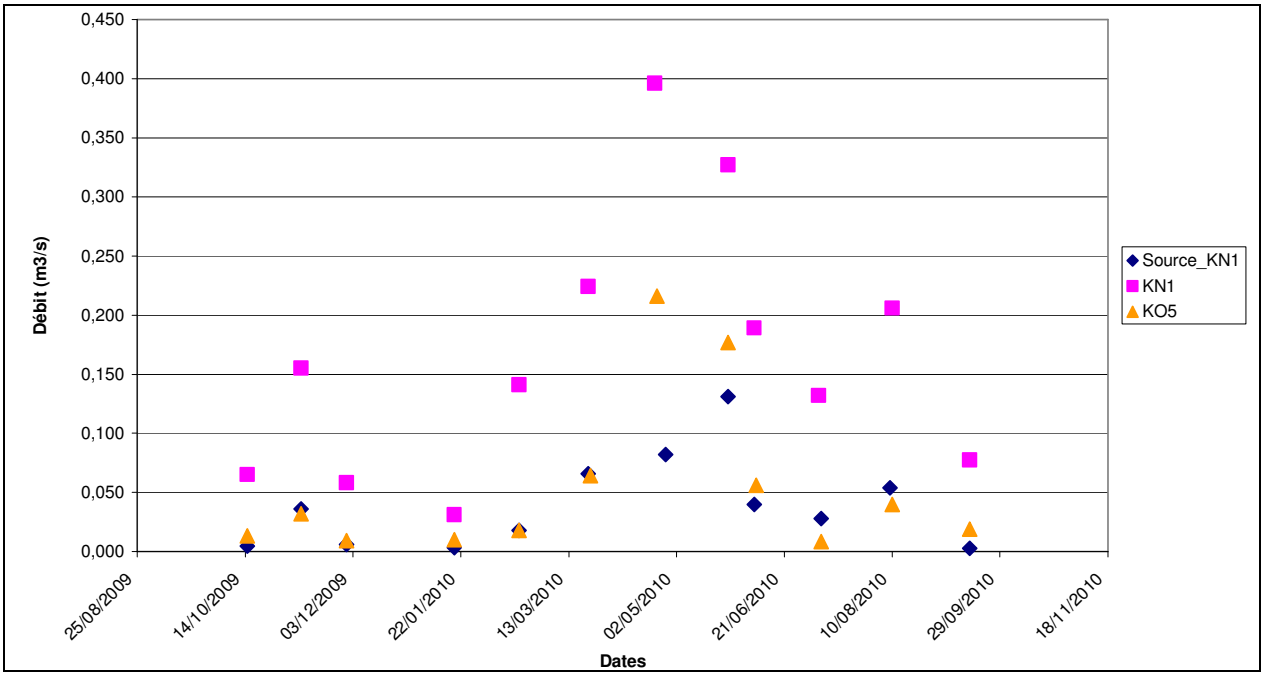
4.1. Suivi hydrologique

Le suivi hydrologique ayant lieu sur SM-LT se décompose en deux phases. Il s'agit tout d'abord d'une analyse des débits puis d'un examen de l'évolution des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité (µS/cm), température (°C)).

4.1.1 Résultats des mesures de débit sur les différentes sections de jaugeage

Afin d'illustrer les débits mesurés durant ces 12 mois (Annexe 6), des graphiques et des cartes ont été élaborés.

Le graphique ci-dessous (Graph.16) illustre le débit mesuré sur les différentes sections de jaugeages mensuels entre octobre 2009 et septembre 2010.



Graphique 16 : Evolution du débit en fonction du temps sur les trois sections mensuelles que sont Source KN1(en bleu), KN1 (en rose) et KO5 (en orange)

Plusieurs points sont à noter.

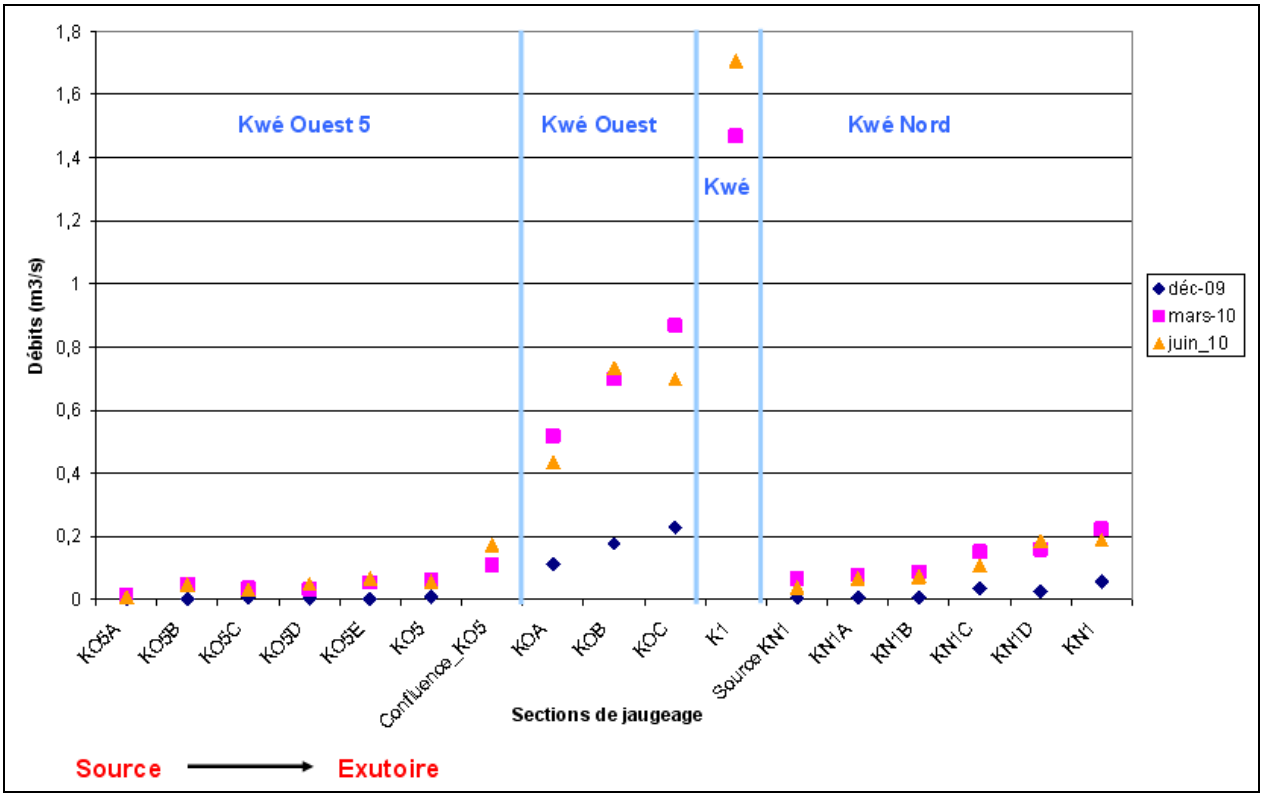
- De manière générale, les 3 sections suivent une évolution semblable avec des augmentations et des diminutions aux mêmes périodes de temps.

- Avec un débit moyen de 0.167 m^3/s sur KN1 et de 0.063 m^3/s sur Source_KN1, une augmentation du débit de la source (Source_KN1) vers l'exutoire (KN1) est constatée. Ceci parait cohérent car divers affluents viennent alimenter cette rivière (Fig.4).

- Le débit moyen sur KO5 est de 0.055 m^3/s. L'exutoire de la Kwé Nord (KN1) a donc un débit trois fois supérieur à celui de l'exutoire de la Kwé Ouest 5 (KO5). Une alimentation nettement plus conséquente est donc remarquée sur cette dernière rivière. Un traçage, réalisé en mai 2010, a mis en évidence une connexion hydraulique entre la Plaine des Lacs et Source_KN1. Le bassin versant de la Kwé Nord est donc beaucoup plus étendu que ce qu'il n'y parait.

- Les sections KO5 et Source_KN1 présentent les mêmes débits jusqu'en avril 2010 puis les débits sont plus importants sur KO5, sauf en juillet et août 2010 où Source_KN1 affiche des débits plus conséquents. Suivant l'importance de la pluviométrie, l'alimentation par la Plaine des Lacs doit être plus ou moins conséquente. Jusqu'en avril 2010, la source de la Kwé Nord correspond à l'exutoire de la Kwé Ouest 5 en termes de débit ; par la suite des variations existent.

Un second graphique illustre l'évolution du débit lors des missions trimestrielles suivant les différentes rivières (Graph.17).



Graphique 17: Evolution du débit en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières

La mission de décembre 2009 s'est déroulée en basses eaux et celles de mars 2010 et juin 2010 en moyennes eaux. Cependant, il est important de souligner que le climat a été un peu particulier en cette année 2010 avec moins d'eau que les années normales.

L'analyse de ce graphique permet de noter que :

- sur chaque rivière, une hausse progressive des débits de la source vers l'exutoire est remarquée lors des 3 missions de jaugeages trimestriels. Ces débits sont plus importants en moyennes eaux qu'en basses eaux.
  En effet, on note sur la Kwé Ouest 5 une augmentation de 0,008 m^3/s entre KO5A et KO5 en décembre 2009, de 0,094 m^3/s en mars 2010 et de 0.165 m^3/s en juin 2010 entre KO5A et Confluence_KO5.
  Sur la Kwé Ouest, le débit augmente, entre KOA et KOC, de 0,118 m^3/s en décembre 2009, de 0,351 m^3/s en mars 2010 et de 0.263 m^3/s en juin 2010. En juin 2010, le débit est cependant moins important sur KOC (0.698 m^3/s) que sur KOB (0.735 m^3/s)
  Sur la Kwé Nord, le débit augmente, entre Source KN1 et KN1, de 0,052 m^3/s en décembre 2009, de 0,158 m^3/s en mars 2010 et de 0.149 m^3/s en juin 2010.

Nota : Entre décembre 2009 et mars 2010 les sections ont changées de noms et certaines ont changé d'emplacement. Ceci n'a pas été pris en compte pour le graphique ci-dessus et les autres à venir.

Des cartes présentant le bilan hydrométrique des missions trimestrielles de décembre 2009 (Fig.8), de mars 2010 (Fig.9) et de juin 2010 (Fig.10) ont également été réalisées.

Le code couleur suivant a été utilisé :

- en bleu : le débit (en L/s),
- en vert : le pourcentage de débit par rapport aux exutoires des différentes rivières.

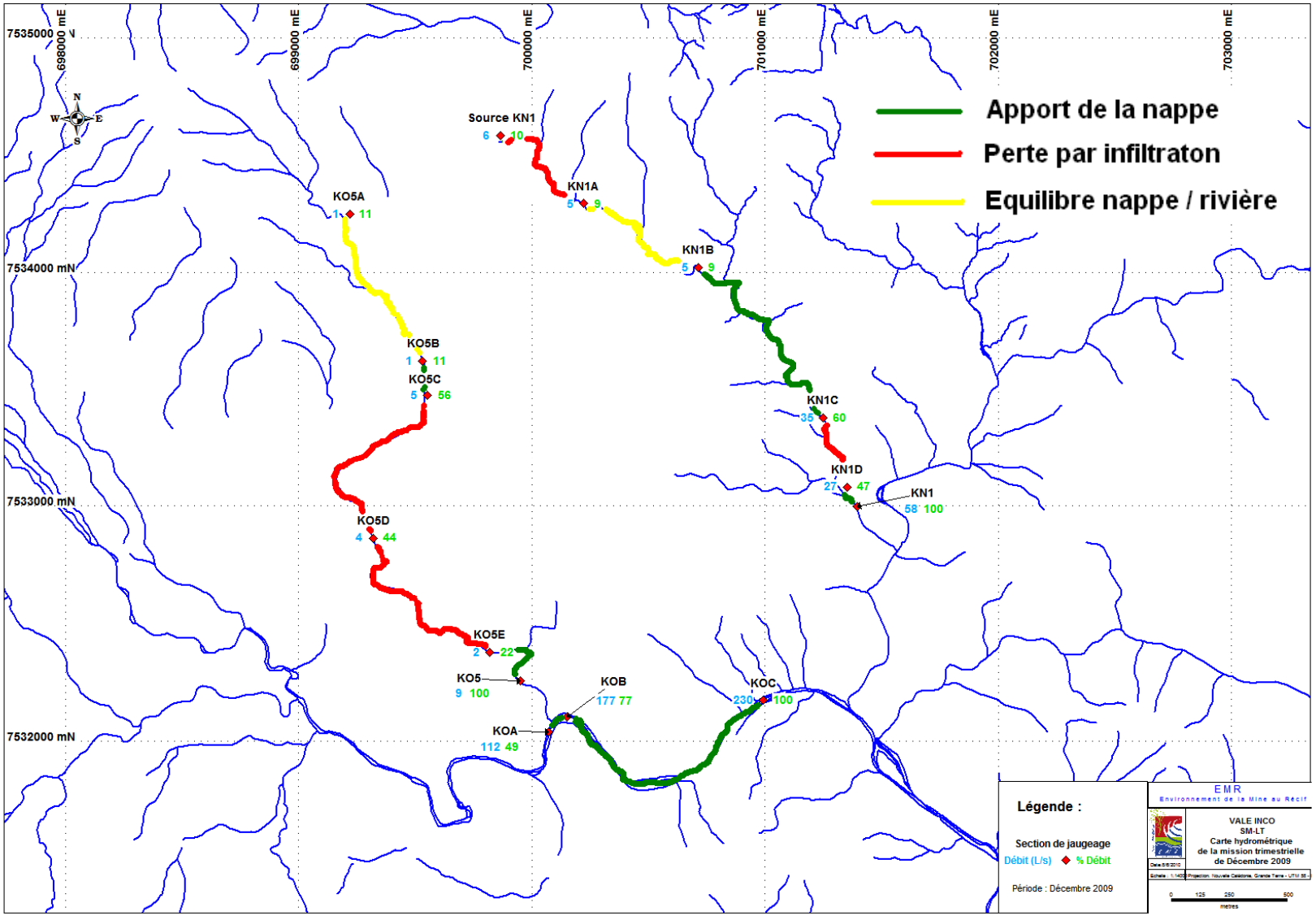


Figure 8 : Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en décembre 2009. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune.

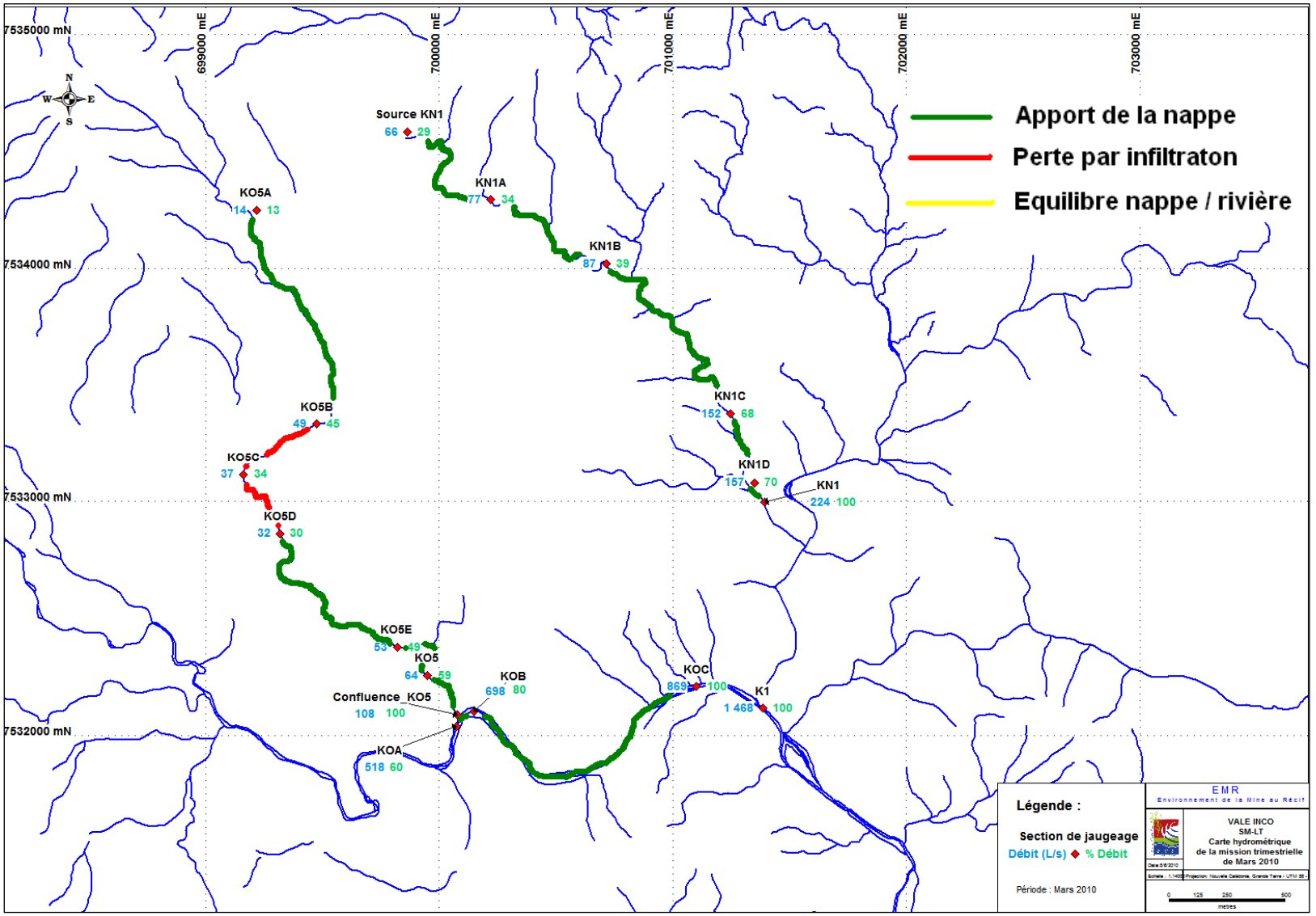


Figure 9: Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en mars 2010. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune.

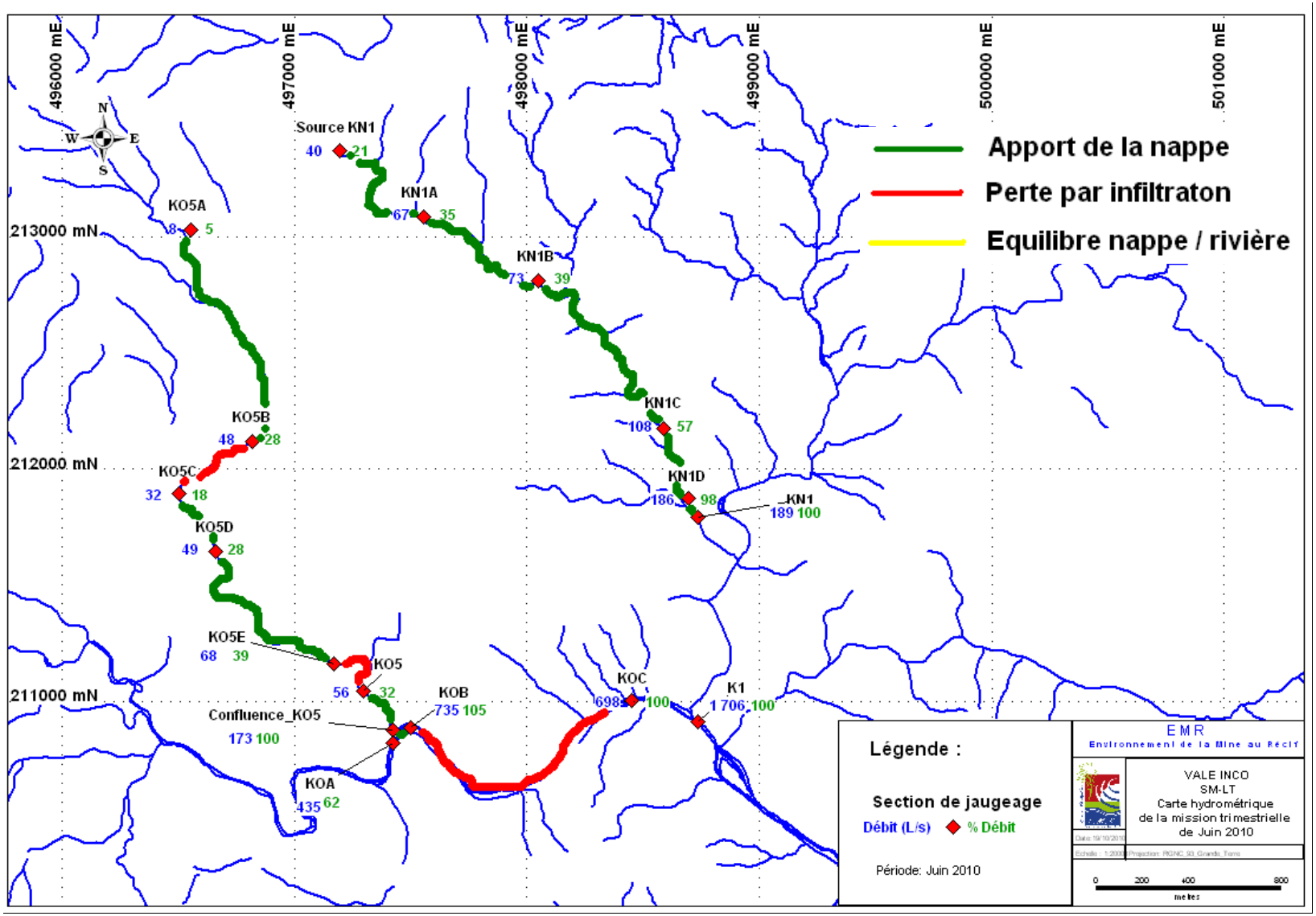


Figure 10: Bilan hydrométrique des jaugeages réalisés en juin 2010. Les débits sont en bleu et le pourcentage de débit en vert ; les sections figurant les apports de la nappe sont en vert, les pertes par infiltrations sont en rouge et les équilibres nappe / rivière sont en jaune.

Nota : Contrairement aux graphiques ci-dessus (Graph 16 et 17) les sections de jaugeage ont gardé le même nom entre décembre 2009 et mars 2010 dans un souci de meilleure compréhension, mais les coordonnées d'origine de décembre 2009 et mars 2010 ont été conservées.

Basé sur les données de débit réalisées lors des missions de jaugeages trimestriels, les deux figures ci-dessus permettent d'identifier les zones d'apport d'eau de la nappe :

- en vert : apport de la nappe ;
- en jaune : équilibre entre la nappe et la rivière ;
- en rouge : perte par infiltration.

Les apports de la nappe correspondent à une augmentation importante du débit et du pourcentage sur une zone.
Ceci est le cas en décembre 2009 pour la rivière Kwé Ouest et les sections KO5E-KO5 pour la Kwé Ouest 5 et KN1B-KN1C pour la Kwé Nord.
En mars 2010, à l'exception de la section KO5B-KO5D sur la Kwé Ouest 5, toutes les rivières sont alimentées par une nappe.
En juin 2010, la Kwé Nord reste alimentée tout du long par une nappe ainsi que la Kwé Ouest 5, à l'exception des sections KO5B-KO5C et KO5E-KO5.

Un équilibre entre la nappe et la rivière a lieu lorsque le débit reste constant d'une section de jaugeage à une autre. Ceci n'est remarqué qu'en décembre 2009 sur les sections KO5A-KO5B sur la Kwé Ouest 5 et sur KN1A-KN1B sur la Kwé Nord.

Enfin, à certains endroits, le débit diminue ce qui correspond à une infiltration des eaux.
C'est le cas sur la Kwé Ouest 5 lors des 3 missions trimestrielles (de KO5C à KO5E en décembre 2009, de KO5B à KO5D en mars 2010, de KO5B à KO5C et de KO5E à KO5 en juin 2010).
La Kwé Nord n'est en perte par infiltration qu'en décembre 2009 (de Source_KN1 à KN1A et de KN1C à KN1D).
Alors que la Kwé Ouest était alimentée par la nappe lors des missions trimestrielles de décembre 2009 et de mars 2010, elle est en perte par infiltration en juin 2010. Ceci semble surprenant et un bémol sur la faisabilité du jaugeage sur KOC en juin 2010 doit être apporté.

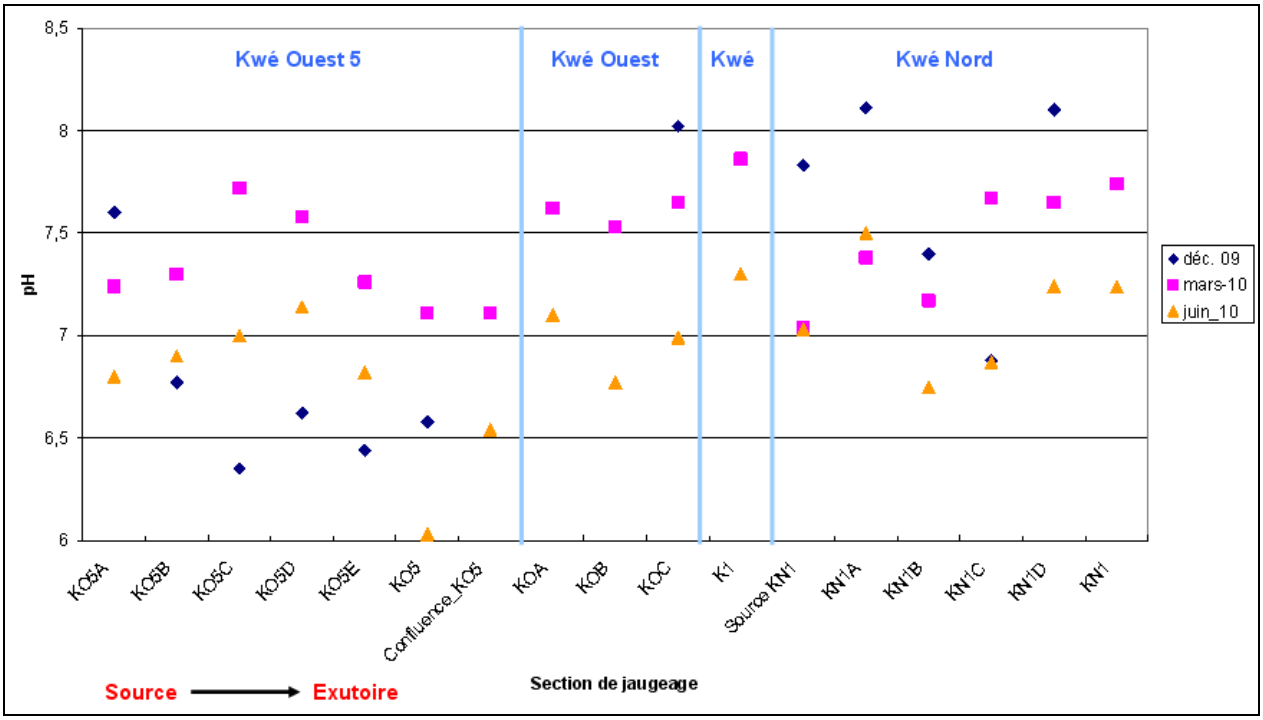
De manière générale, les rivières sont davantage alimentées par les nappes en période de moyennes eaux. Il est également important de remarquer que le comportement des rivières n'est pas fixe suivant une période donnée et que des variations au niveau des échanges entre les nappes et les rivières peuvent exister. Ceci est le cas entre les deux campagnes de moyennes eaux réalisées mars et juin 2010.

4.1.2 Analyse des mesures physico-chimiques sur les différentes sections de jaugeage

Les paramètres physico-chimiques suivis lors de chaque mission sont le pH, la conductivité (µS/cm) et la température (°C). Un tableau récapitulant les valeurs mesurées pour l'ensemble des paramètres entre octobre 2009 et septembre 2010 est présent en Annexe 6.

4.1.2.1 Bilan des mesures de pH

Le graphique ci-dessous (Graph.18) présente l'évolution du pH de la source à l'exutoire de chaque rivière, lors des 3 campagnes trimestrielles.



Graphique 18: Evolution du pH en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire

D'après le graphique ci-dessus (Graph.18), avec une moyenne générale du pH de 7.56 en mars 2010 et de 7.03 en juin 2010 sur l'ensemble des rivières, le pH apparait plus important lors de la 1ère campagne de moyennes eaux (mars 2010). Le pH révèle donc également des différenciations entre les deux missions en moyennes eaux.

Le pH est toujours supérieur en mars 2010 par rapport à juin 2010, excepté sur la Kwé Nord où un même pH (égal à 7.03) est observé sur Source KN1 en mars et juin 2010 et un pH plus important est remarqué sur KN1A en juin 2010 (pH égal à 7.38 en mars 2010 et à 7.5 en juin 2010).

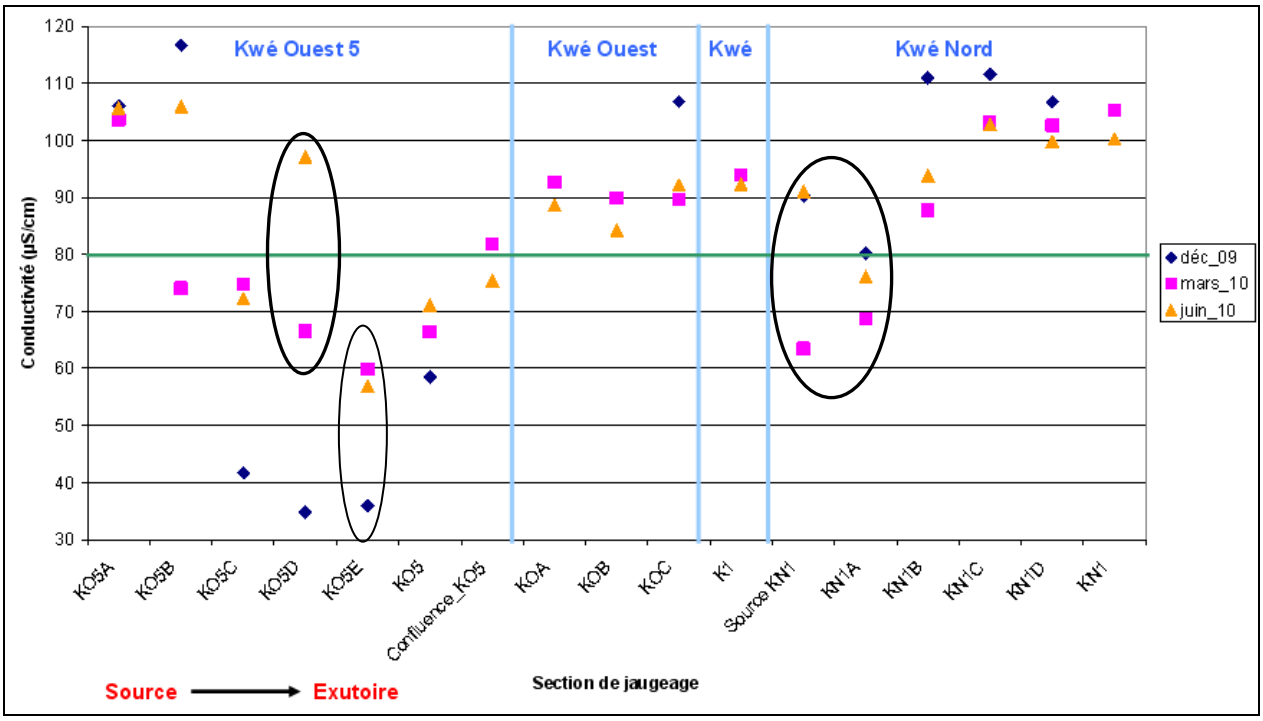
Le pH mesuré en décembre 2009 ne suit pas de tendance générale.

- Sur la Kwé Ouest 5 il est en général moins important que pour les autres missions trimestrielles (pH moy. déc = 6.73 ; pH moy. mars = 7.33 et pH moy. Juin = 6.75). Il apparait seulement plus important sur la section KO5A (pH = 7.6) par rapport à la mission de mars 2010 où il est de 7.24 et par rapport à celle de juin 2010 où il est de 6.8.
- La sonde étant défectueuse en décembre 2009, seules des mesures ont pu être réalisées sur la section KOC. Avec un pH de 8.02 en décembre 2009, de 7.65 en mars 2010 et de 6.99 en juin 2010, le pH apparait plus important en basses eaux sur la Kwé Ouest.
- Le pH sur la Kwé Nord a des valeurs supérieures en basses eaux. En moyenne eaux, il est en effet égal à 7.56 en décembre 2009, à 7.44 en mars 2010 et à 7.11 en juin 2010.

De manière générale, le pH révèle donc un comportement semblable sur la Kwé Ouest et sur la Kwé Nord avec un pH qui diminue de décembre 2009 à juin 2010. Ceci est par contre l'inverse sur la Kwé Ouest 5.

4.1.2.2 Bilan des mesures de conductivité (µS/cm)

Le graphique ci-dessous (Graph.19) présente l'évolution de la conductivité (en µS/cm) de la source à l'exutoire de chaque rivière, lors des 3 campagnes trimestrielles.



Graphique 19: Evolution de la conductivité en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire

D'après le graphique ci-dessus (Graph.19), de grandes variations de conductivité, d'une section à une autre, sont observées en décembre 2009.

- Sur la Kwé Ouest 5, un écart de 75 µS/cm est observé entre les sections KO5B et KO5C et un autre écart important de 22.6 µS/cm est remarqué entre KO5E et KO5. Ces écarts de conductivité correspondent, d'après la figure 8, aux changements d'échanges entre la nappe et la rivière (passage de pertes par infiltration aux apports de la nappe).
- Sur la Kwé Nord, ces modifications d'échanges entre la nappe et la rivière, révélées par la conductivité, ne sont pas autant mis en évidence. Un écart de 30.7 µS/cm est seulement remarqué entre KN1A et KN1B, ce qui correspond à un équilibre entre la nappe et la rivière d'après la figure 8.

De manière générale, la conductivité suit à peu la près la même évolution d'une mission trimestrielle à une autre, avec des diminutions et des augmentations entre les mêmes sections.

- Ceci n'est cependant pas le cas sur la Kwé Ouest 5 où la conductivité diminue de KO5C à KO5D de 6.8 µS/cm en décembre 2009 et de 8.2 µS/cm en mars 2010, alors qu'elle augmente de 24.8 µS/cm en juin 2010. Ceci est également le cas de KO5D à KO5E où la conductivité diminue de 6.7 µS/cm en mars 2010 et de 41 µS/cm en juin 2010, alors qu'elle augmente de 1.1 µS/cm en décembre 2009.
- Des différences de comportements sont également observées sur la Kwé Nord de Source KN1 à KN1A où la conductivité diminue de 10.1 µS/cm en décembre 2009 et de 15 µS/cm en juin 2010, alors qu'une augmentation de 5.2 µS/cm est notée en mars 2010 entre ces 2 sections.

Nous remarquons d'autre part, que la conductivité de mars 2010 et de juin 2010 ont des valeurs très proches, ce qui n'est pas le cas par rapport à décembre 2009. La conductivité n'est donc

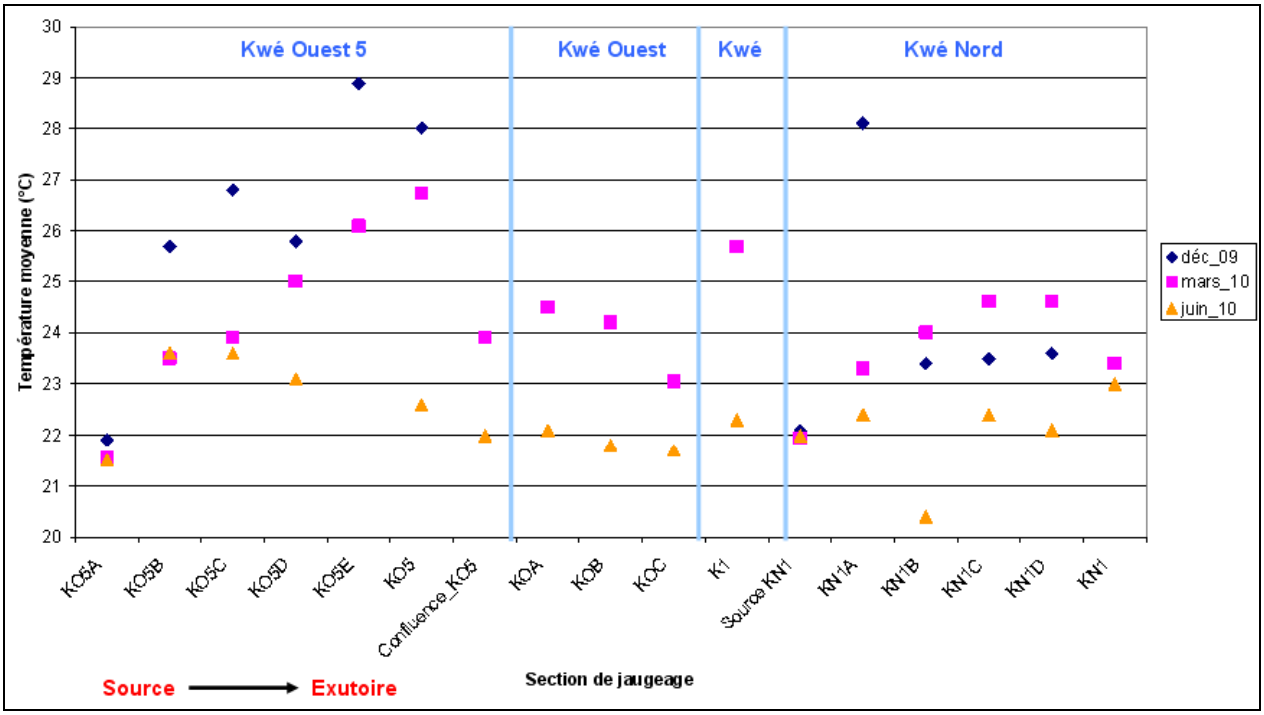
pas la même en basses et moyennes eaux. Elle est par contre plus ou moins similaire lors des deux campagnes de moyennes eaux réalisées en mars et juin 2010.

Pour finir, une limite à été fixée à 80 µS/cm car de 10 à 80 µS/cm ces valeurs correspondent à des eaux de pluie.

- Ainsi, la Kwé Ouest serait plutôt alimentée par des eaux profondes de KO5A à KO5B puis par des eaux de surface.
- La Kwé Ouest et la Kwé serait alimentée tout du long par des eaux profondes.
- A l'inverse de la Kwé Ouest 5, la Kwé Nord serait d'abord alimentée par des eaux de surface jusqu'à KN1A puis par des eaux profondes.

4.1.2.3 Bilan des mesures de températures (°C)

Le graphique ci-dessous (Graph.20) présente l'évolution de la température (en °C) de la source à l'exutoire de chaque rivière, lors des 3 campagnes trimestrielles.



Graphique 20: Evolution de la température en décembre 2009 (en bleu), mars 2010 (en rose) et juin 2010 (en orange) suivant les différentes rivières, de leur source à l'exutoire

D'après le graphique ci-dessus (Graph.20), la température évolue à peu près de la même manière entre décembre 2009 et mars 2010. Ainsi sur la Kwé Ouest 5, la température augmente de la source à l'exutoire de 6,1°C en décembre 2009 et de 5,2°C en mars 2010. Il en va de même sur la Kwé Nord où la température augmente de 1,5°C en décembre 2009 et mars 2010.

Par contre un comportement différent est remarqué entre les campagnes de mars 2010 et juin 2010. En effet, sur la Kwé Ouest 5, la température est la même jusqu'à KO5B mais elle diminue de 1.6 °C de KO5C à Confluence_KO5 en juin 2010 alors qu'elle augmente de 2.8°C de KO5C à KO5 pour rediminuer ensuite de 2.8°C de KO5 à Confluence KO5. Un comportement inverse entre les deux missions en moyennes eaux est donc noté sur cette rivière. Sur la Kwé Ouest, la température a tendance à diminuer entre les deux campagnes, même si cette diminution est moins importante en juin qu'en mars 2010. Sur la Kwé Nord, en juin 2010 ce paramètre tourne

globalement autour de 22°C avec un mimima sur KN1B de 20.4°C et un maxima de 23°C sur KN1.

D'autre part, alors que ce paramètre physico-chimique affiche des valeurs plus fortes en décembre 2009 qu'en mars 2010 sur la Kwé Ouest, la température sur la Kwé Nord est plus faible en décembre 2009 qu'en mars 2010, excepté au niveau de Source KN1 où les températures sont les mêmes : (22,1°C en décembre 2009 et 22°C en mars 2010). Ce paramètre physico-chimique affiche donc un comportement différent entre la Kwé Ouest 5 et la Kwé Nord.

Si l'on compare les deux missions en moyennes eaux, nous observons que la température en juin 2010 est inférieure à celle de mars 2010 sur l'ensemble des rivières. Ceci semble cohérent car la température extérieure a diminué entre ces deux périodes.

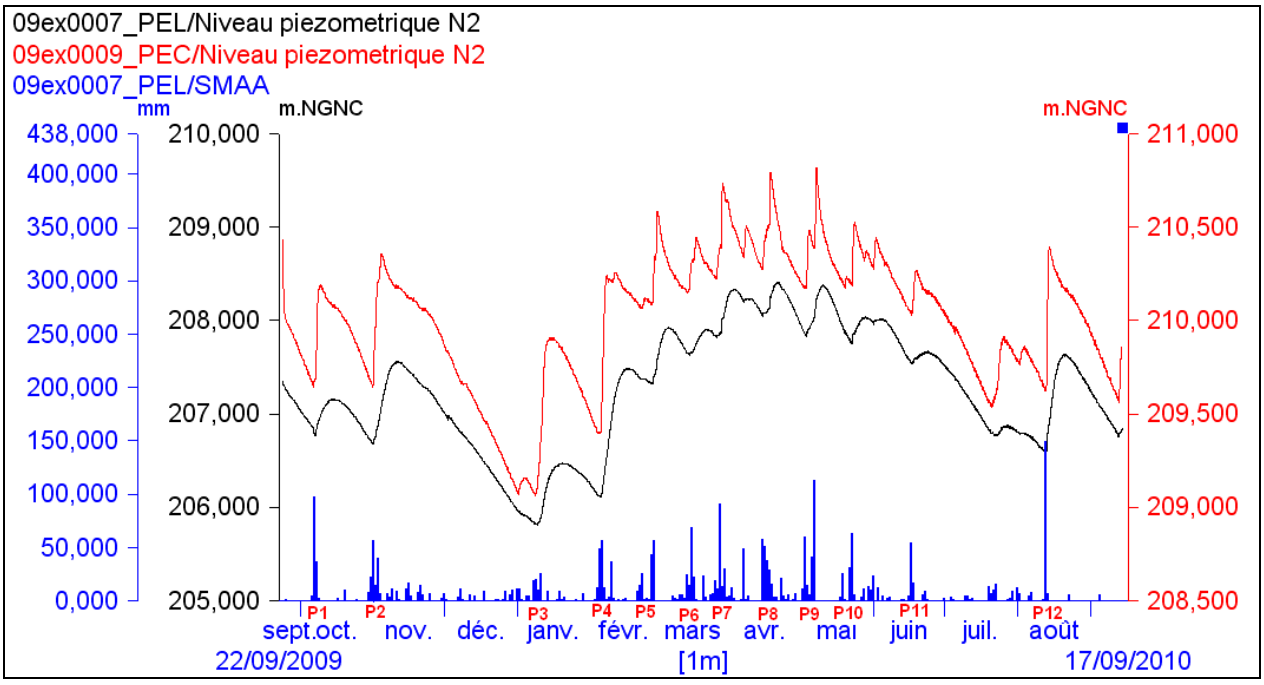
4.2. Suivi piézométrique

4.2.1 Résultats sur l'évolution des différents paramètres des eaux souterraines

4.2.1.1 Evolution des profondeurs piézométriques

Une revue attentive des fluctuations piézométriques en réponse à la pluviométrie est effectuée. Celle-ci a pour but de tirer des tendances générales sur l'évolution des profondeurs piézométriques en fonction de la pluviométrie, sur l'ensemble des piézomètres

Les signaux piézométriques de la plateforme 14 offre un bon aperçu quant aux tendances générales de l'évolution des profondeurs piézométriques en fonction de la pluviométrie. Cette plateforme a été prise en exemple afin de représenter l'ensemble des plateformes de SM-LT (Graph.21).



Graphique 21: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0009 (en rouge) et sur le PEL 09ex0007 (en noir) de la plateforme 14, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010

La profondeur piézométrique du piézomètre 09ex0009 (PEC), évoluant au cours du temps, est en rouge ; celle du piézomètre 09ex0007 (PEL) est en noir. La pluviométrie en histogramme est en bleu.

Plusieurs points peuvent être notés à partir de ce graphique.

Avec une moyenne de 210.004 m.NGNC pour le piézomètre 09ex0009 et une moyenne de 207,263 m.NGNC pour le piézomètre 09ex0007, la profondeur piézométrique des PEC est supérieure à celle des PEL.

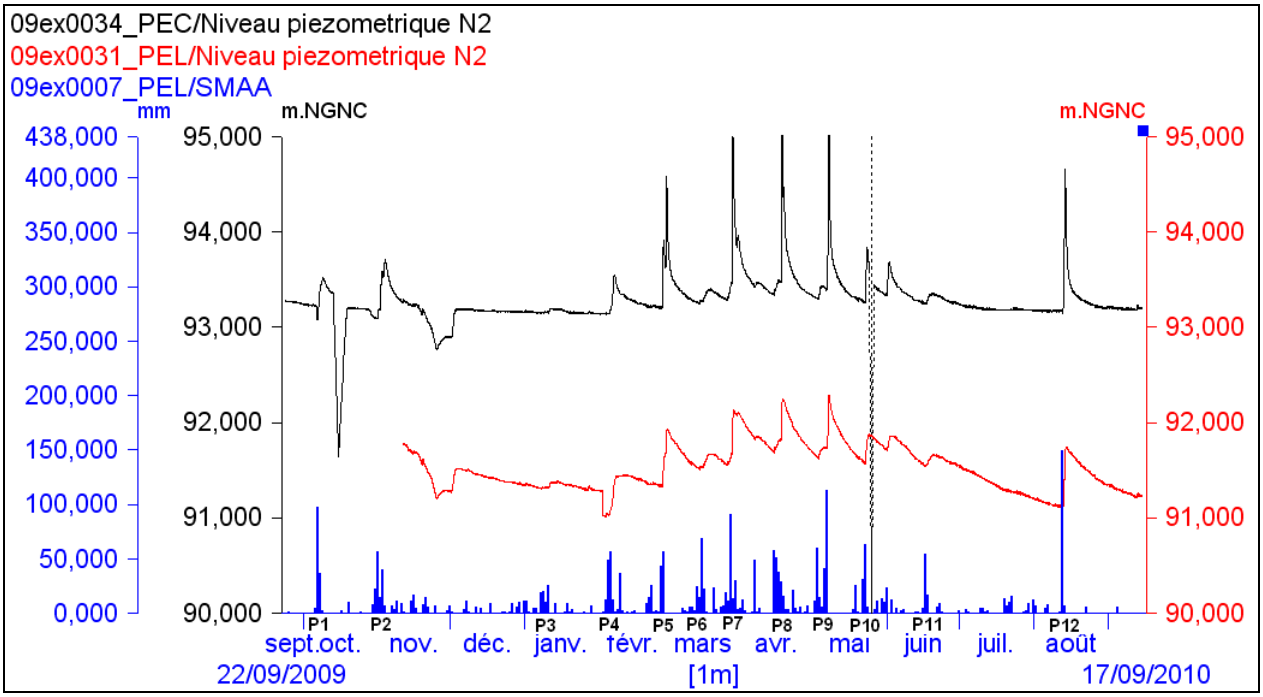
Concernant les variations de profondeur piézométrique, de fortes augmentations sont remarquées suite à un épisode pluvieux significatif. Le niveau piézométrique dépend donc fortement de la pluviométrie. Ces augmentations sont rapides (2 jours en moyenne) alors que leur diminution est progressive (plus de 20 jours en général). Ceci correspond donc dans un premier temps à une recharge rapide de l'aquifère par les eaux de pluie, puis dans un second temps à un retour à la normale avec une stabilisation progressive du niveau piézométrique.
D'autre part, les courbes d'évolution des profondeurs piézométriques, au niveau de l'aquitard latéritique et de l'aquifère saprolitique, étant les mêmes, il existe donc une connexion hydraulique entre ces 2 milieux.

Il est également important de remarquer que le temps de réaction de l'aquifère saprolitique, face à un épisode pluvieux, est plus important d'une dizaine d'heures par rapport au temps de réaction de l'aquitard latéritique. Les échanges entre les deux milieux perméables sont donc confirmés. Ils sont très rapides et ont lieu des latérites vers les saprolites puisque la nappe des latérites est situé au-dessus de celle des saprolites, entrainant un gradient de charge dirigé vers le bas.

D'autre part, alors que les variations de profondeurs piézométriques au niveau du PEL 09ex0007 forment une courbe lisse et arrondie, celle au niveau du PEC 09ex0009 est plus accentuée et forme des pointes et des décrochements en dent de scie. Les infiltrations sont plus importantes au niveau des latérites et le niveau piézométrique au niveau des saprolites a davantage le temps de se stabiliser.

Enfin, la variation du signal piézométrique suite à l'épisode pluvieux P6 est plus faible que celle enregistrée suite à l'épisode pluvieux P5 alors que le cumul pluviométrique sur P5 est de 99,6 mm et celui sur P6 est de 130,4 mm. Pour exemple sur le PEC 09ex0009, l'amplitude piézométrique suite à l'épisode pluvieux P5 est de 0,5 m.NGNC et celle suite à l'épisode pluvieux P6 est de 0,29 m.NGNC. Cependant, l'épisode pluviométrique P6 s'étale sur 4 jours alors qu'il ne dure que 2 jours sur l'épisode pluviométrique P5. L'intensité des pluies régie donc davantage les variations des niveaux piézométriques que le cumul pluviométrique.

Le graphique ci-dessous (Graph.22) présente l'évolution des profondeurs piézométriques de l'aquitard latéritique (en noir) et de l'aquifère saprolitique (en rouge) en fonction de la pluviométrie (en bleu) sur la plateforme 2.



Graphique 22: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0034 (en noir) et sur le PEL 09ex0031 (en rouge) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010

La profondeur piézométrique du PEC 09ex0034 évolue suivant une ligne horizontale située à environ 93,2 m.NGNC pour le PEC. Or, cette plateforme est située à proximité du Bassin de Sédimentation de la Kwé Nord (BSKN). D'après les données collectées auprès de Daniel Contal, géotechnicien sur mine de Vale Inco NC, ce plan d'eau relativement stable, fonctionne en surverse depuis sa mise en service (janvier 2009). Il n'a eu qu'un petit épisode de vidange de moins de 1 mètre uniquement du 13 au 15 octobre 2009 lors de la mise en place d'un échantillonneur sur le déversoir. Autrement les variations sont minimes allant de la cote du seuil qui est 93.1 m.NGNC à quelques centimètres à décimètres en plus pendant les épisodes pluviaux. Des laisses de crues en amont du plan d'eau à environ +40cm ont également été constaté. Ces mesures sont visuelles lors des visites de contrôles périodiques sur une échelle limnimétrique.

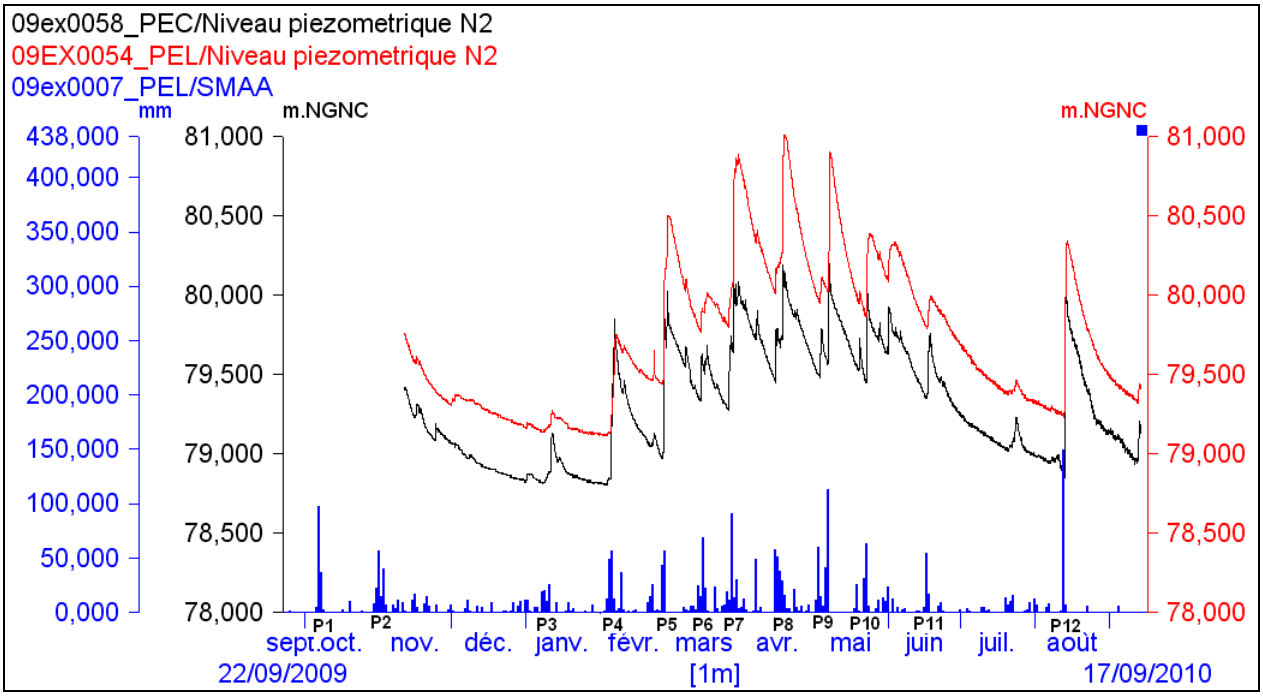
Le PEC 09ex0034 est donc exactement à la même altitude que le plan d'eau. Il semble donc exister une connexion hydraulique entre ces 2 milieux. BSKN étant stable en termes de hauteur d'eau, c'est pour cela que la profondeur piézométrique de l'aquitard latéritique évolue suivant une ligne horizontale. Ce constat ne peut par contre par être fait pour l'aquifère saprolitique. Il ne semble donc pas être connecté hydrauliquement à BSKN.

Ceci confirme que les échanges ont bien lieu de l'aquitard latéritique vers l'aquifère saprolitique et non l'inverse.

Les mêmes conclusions sont apportées concernant la plateforme 1 qui est également située à moins de 10m de BSKN.

Voici de manière générale ce qui a été observé concernant l'évolution de la piézométrique en fonction de la pluviométrie. Cependant, des exceptions existent. Elles sont présentées ci-dessous.

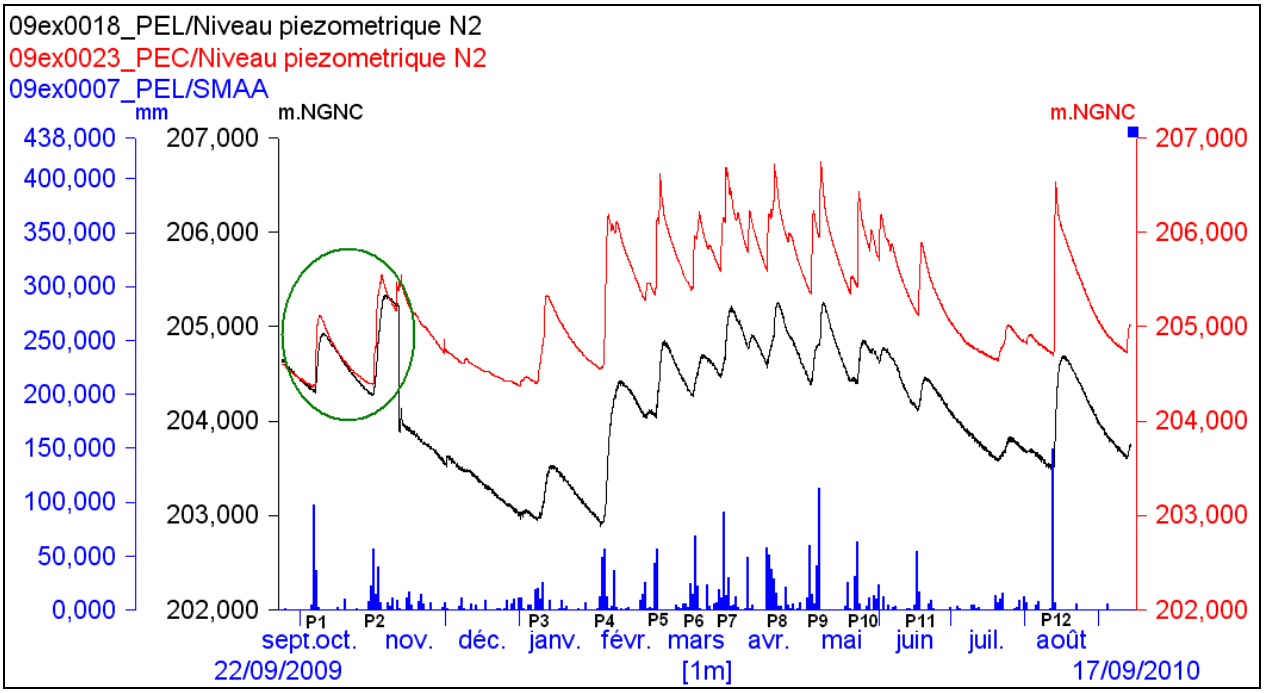
Alors que nous avions remarqué que le niveau piézométrique des latérites était situé au-dessus de celui des saprolites, les profondeurs piézométriques enregistrées au niveau de la plateforme 5 réfute cette règle. En effet, avec une moyenne de 79,717 m.NGNC sur le PEL 09ex0054 et une moyenne de 79,305 m.NGNC sur le PEC 09ex0058 la nappe des saprolites se situe au-dessus de celle des latérites sur la plateforme 5. C'est la seule plateforme qui fait exception à la règle. Elle est située en bordure de la Kwé Ouest.
Le graphique 23 ci-dessous illustre les variations de profondeur piézométrique de ces deux piézomètres. La courbe du PEC 09ex0058 est en noir, la courbe du PEL 09ex0054 est en rouge et la pluviométrie est en bleu.



Graphique 23: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0058 (en noir) et sur le PEL 09ex0054 (en rouge) de la plateforme 5, en relation avec la pluviométrie enregistré sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à septembre 2010

D'autre part, des profondeurs piézométriques entre le PEL et le PEC peuvent être plus ou moins similaires. Ceci concerne les plateformes 21 et 25. En effet, la profondeur piézométrique du PEC 09ex0023, de la plateforme 21, varie entre 204,4 m.NGNC et 205,6 m.NGNC et celle du PEL 09ex0018, de la même plateforme, varie entre 204,3 m.NGNC et 205,3 m.NGNC. Ces deux piézomètres ont donc des profondeurs piézométriques semblables et ceci, jusqu'à la décharge du PEL le 10/11/09 à 18h. C'est également le cas à partir du 08/02/10 à minuit sur la plateforme 25. La profondeur piézométrique du PEC 09ex0078 varie entre 214,8 m.NGNC et 219 m.NGNC, et celle du PEL 09ex0075 varie entre 209,5 m.NGNC et 220,4 m.NGNC.

La plateforme 21 est prise en exemple et est illustrée par le graphique 24 ci-dessous. La courbe du PEC 09ex0023 est en rouge, la courbe du PEL 09ex0018 est en noir et la pluviométrie est en bleu.



Graphique 24: Relevé des profondeurs piézométriques mesurées sur le PEC 09ex0023 (en rouge) et sur le PEL 09ex0018 (en noir) de la plateforme 21, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010

4.2.1.2 Analyse de la pluviométrie

Par la suite, afin de compléter l'examen, concernant l'évolution des profondeurs piézométriques en relation avec la pluviométrie, une analyse minutieuse de ce dernier paramètre a été réalisée.

Par contre, les temps de réaction ou les temps de pic étant à l'échelle de quelques heures, aucun graphique ne peut illustrer correctement ces faits.

Tout d'abord, dans la plupart des cas (68%), l'aquitard est le premier à réagir après un épisode significatif de pluie. Cette manifestation est bien illustrée sur la plateforme 14 où, sur l'ensemble des épisodes pluvieux, le PEL 09ex0007 met 67h de plus pour réagir par rapport au PEC 09ex0009.

Parfois, le temps de réaction par rapport au début de pluie est moins important sur les PEL que sur les PEC, et ceci dans 32% des cas. Ceci est constaté par exemple sur les plateformes :

- 22 suite aux épisodes P6 (PEC = 41h ; PEL = 36h) et P7 (PEC = 33h ; PEL = 26h) ;
- 25 suite aux épisodes P4 (PEC = 60h ; PEL = 34h), P5 (PEC = 33h ; PEL = 23h) et P6 (PEC = 36h ; PEL = 34h).

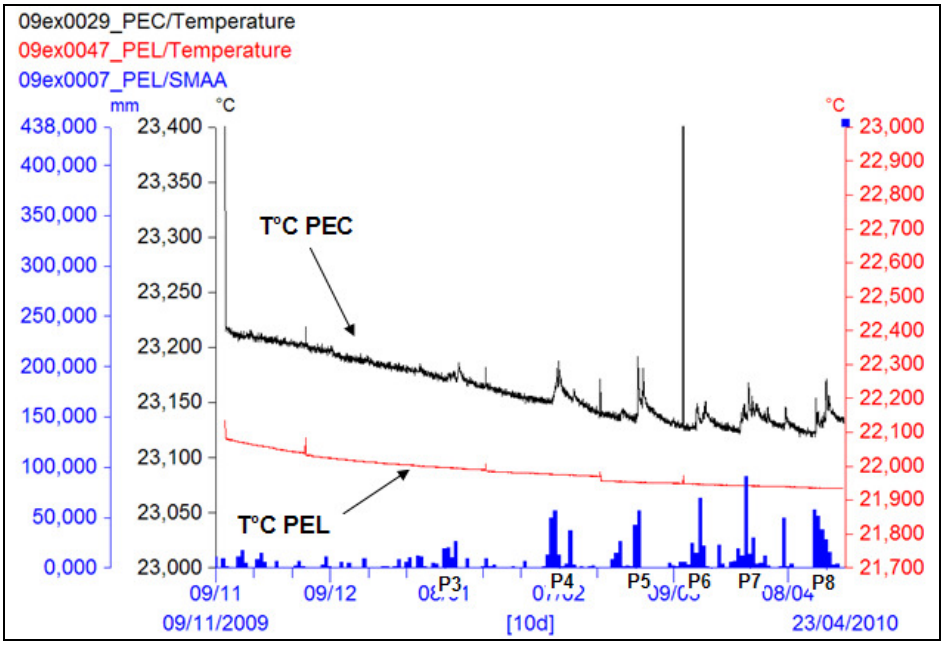
D'autre part, alors que l'aquifère saprolitique met plus de temps à réagir que l'aquitard latéritique suite à un épisode pluvieux, il peut arriver que le temps de réaction entre le PEC et le PEL, suite au début de la pluie, soit semblable à +/- 0-1h, en particulier au niveau des derniers épisodes pluvieux P6 à P8. C'est le cas sur la plateforme :

- 2 pour les épisodes pluvieux P5, P6, P7 ;
- 5 pour les épisodes P6, P7, P8 ;
- 8 pour les épisodes P6, P7, P8.

Les plateformes 2 et 8 sont situées à proximité de la Kwé Nord et la plateforme 5 est située à proximité de la Kwé Ouest (Fig.5).
Le temps du pic piézométrique par rapport au début de la pluie est par contre toujours supérieur sur les PEL que sur les PEC. Pour exemple sur la plateforme 17, suite à l'épisode pluviométrique P8, le PEC 09ex0041 a un pic piézométrique au bout de 84h et celui sur le PEL 09ex0038 au bout de 134h, soit une différence de 50h.

4.2.1.3 Analyse de la température des eaux souterraines

Plusieurs phénomènes concernant l'analyse de la température des eaux souterraines ont été dégagés. Ceux-ci sont exposés ci-après et illustrer par la plateforme 18 qui est prise en exemple (Graph.25).



Graphique 25: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0029 (en noir) et sur le PEL 09ex0047 (en rouge) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à avril 2010

La courbe d'évolution de température du PEC 09ex0029 est noir, celle du PEL 09ex0047 est en rouge et l'histogramme des précipitations est en bleu.

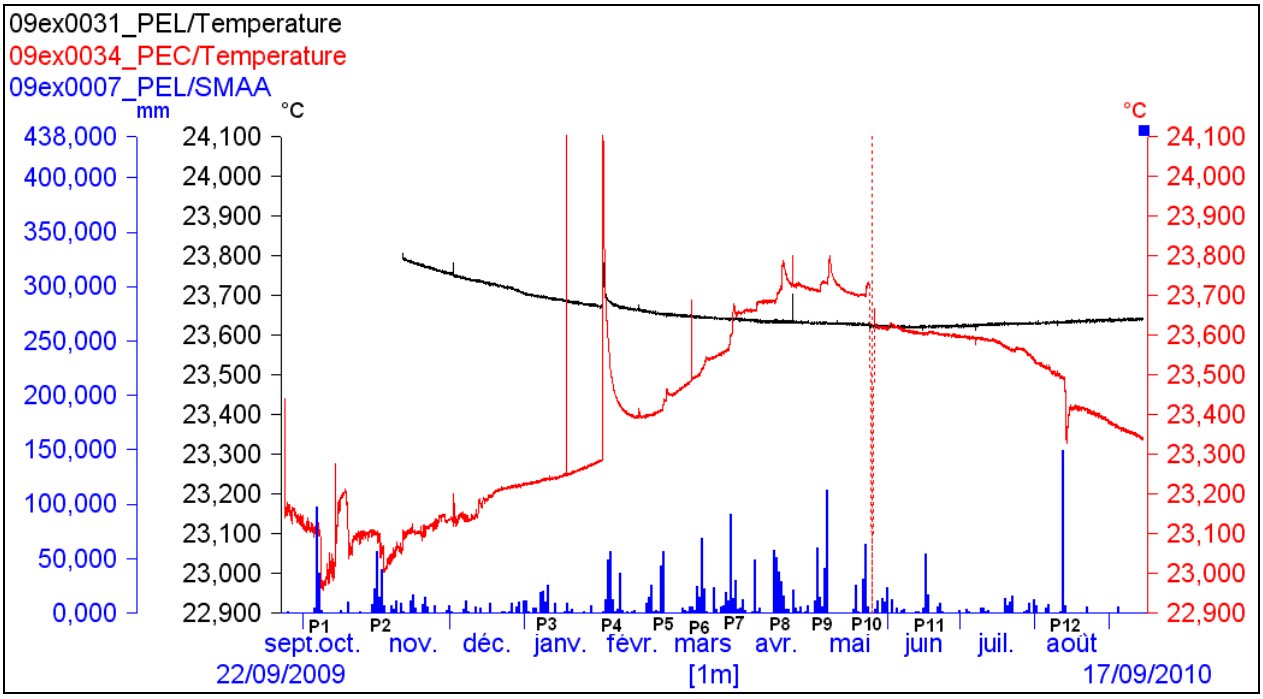
Avec une moyenne de 23,16°C sur le PEC 09ex0029 et une moyenne de 21,98°C sur le PEL 09ex0047, la température des latérites est supérieure à celle des saprolites.

Nous remarquons d'autre part que suite à un épisode pluvieux significatif, de très faibles variations sont observées au niveau du PEL 09ex0047 (pour exemple, amplitude de 0,001mm suite à P4), contrairement à celles enregistrées au niveau du PEC 09ex0029 (pour exemple, amplitude de 0,04mm suite à P4). La température de l'aquitard latéritique réagit suite à un épisode pluvieux, ce qui n'est pas le cas au niveau de l'aquifère saprolitique.

Comme nous le disions précédemment pour les variations des profondeurs piézométriques, les paramètres du niveau saprolitique ont le temps de se stabiliser, ce qui n'est pas le cas au niveau des latérites, qui subissent directement les variations engendrées suite à un épisode pluvieux.

Cependant, sur la plateforme 2, avec une température moyenne de 23.41°C sur le PEC 09ex0034 et une température moyenne de 23.66°C sur le PEL 09ex0031, la température de l'aquifère est plus importante que celle de l'aquitard. Les mêmes constatations ont été remarquées sur les plateformes 1 et 5. Celles-ci sont toutes les trois situées à proximité de rivière (la Kwé Nord pour les plateformes 1 et 2, et la Kwé Ouest pour la plateforme 5) (Fig.5).

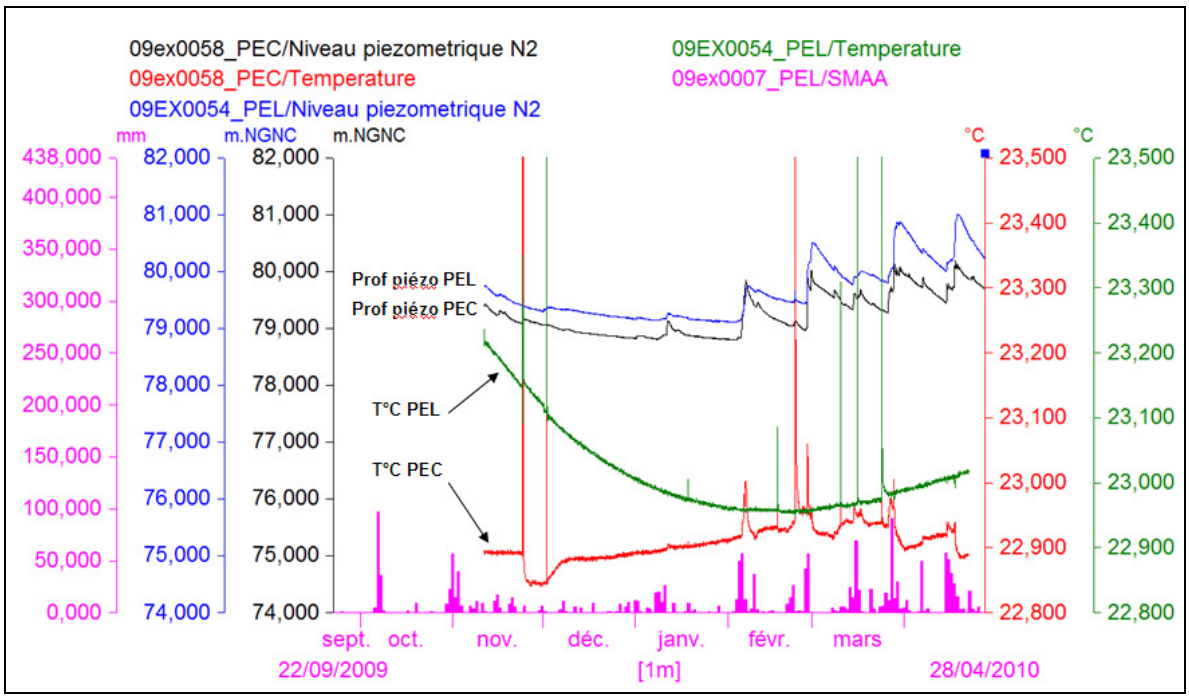
On remarque néanmoins, que quand la pluviométrie est importante, la température des PEC est supérieure à celle des PEL. Les infiltrations sont donc majoritaires réchauffant les eaux de l'aquitard. La plateforme 2 est prise en exemple (Graph.26).



Graphique 26: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0034 (en rose) et sur le PEL 09ex0031 (en vert) de la plateforme 2, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de septembre 2009 à septembre 2010

Le fait que la température soit plus importante au niveau du PEL que du PEC est logique pour la plateforme 5 car la profondeur piézométrique est plus importante au niveau du PEL que du PEC. Par contre, mise à par le fait d'une proximité avec la rivière, aucune explication concernant les plateformes 1 et 2 n'existe.

D'autre part, toujours sur la plateforme 5, la profondeur piézométrique du PEL 09ex0054 est supérieure à celle du PEC 09ex0058 mais les variations de la température sont plus importantes au niveau de l'aquitard que de l'aquifère (Graph.27).



Graphique 27: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0029 (en rouge) et sur le PEL 09ex0047 (en vert) de la plateforme 18, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rose), de novembre 2009 à avril 2010

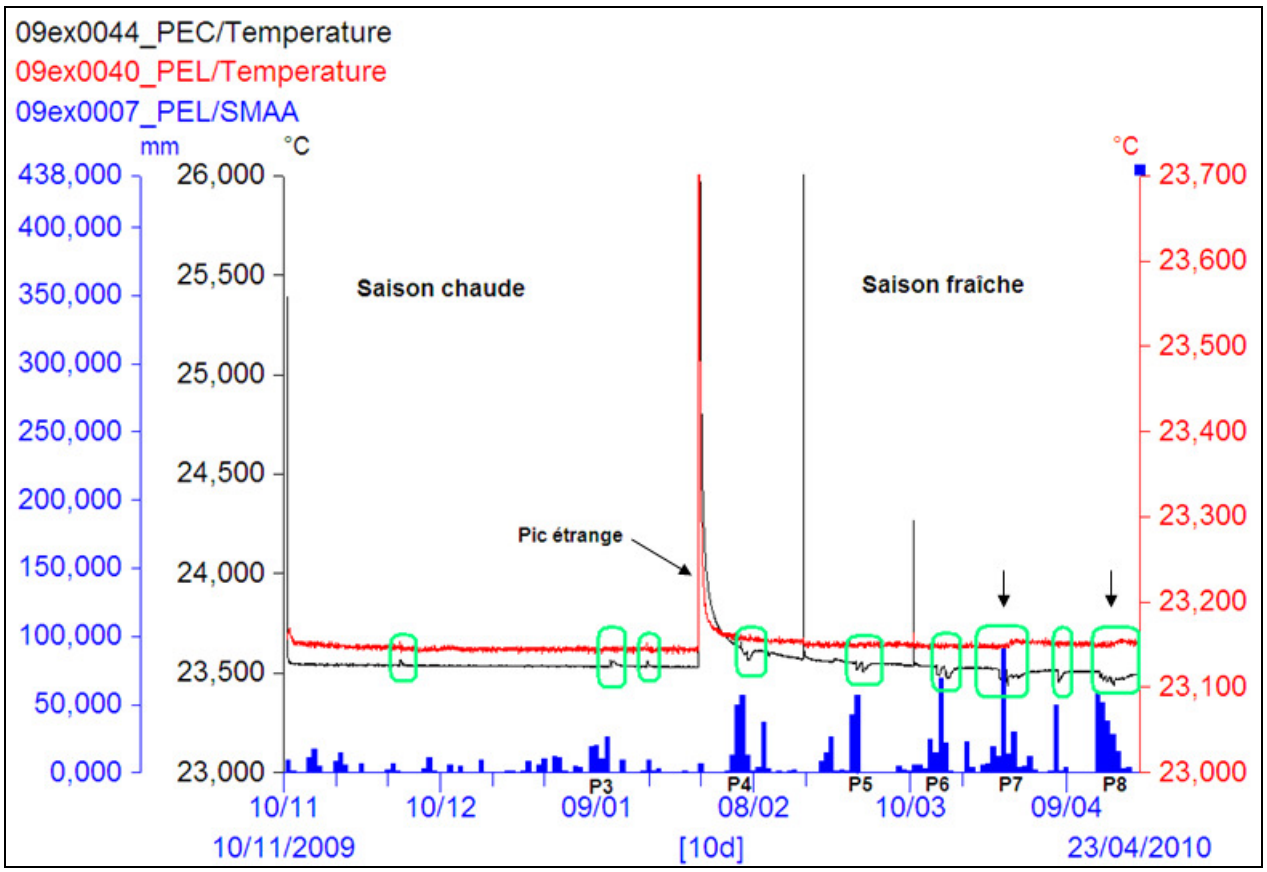
Sur la plateforme 8, une variation de la température, suite aux épisodes pluvieux, est marquée sur le PEL 09ex0012 alors qu'aucune réaction n'existe au niveau du PEC 09ex0013.

Pour conclure, les rivières semblent également connectées hydrauliquement à la nappe des saprolites met leur connexion est plus faible par rapport à celle des latérites. D'autre part, tous ces comportements anormaux sont situés à proximité des rivières (en particulier la Kwé Nord et la Kwé Ouest). Les eaux de surfaces, qui sont fortement régies par les conditions climatiques, doivent donc modifier les paramètres souterrains quand les deux milieux sont en connexion étroite.

Pour poursuivre notre analyse, une autre manifestation sur la corrélation entre la température des eaux souterraines et la pluviométrie est importante à remarquer.

Les variations de température suite à un épisode pluvieux sont surtout observées au niveau des PEC, comme c'est le cas sur le PEC 09ex0044 de la plateforme 21 (Graph.28). Cependant, il est intéressant de noter qu'en saison chaude, la température de l'aquitard augmente en moyenne de 0,04°C alors qu'aucune augmentation n'est remarquée au niveau de l'aquifère. En saison fraiche, en moyenne, la température de l'aquitard diminue de 0,06°C et celle ce l'aquifère augmente de 0,05°C (voir au niveau des petites flèches sur le graphique 18).
Ainsi, la température des eaux souterraines est régie par la pluviométrie mais également par les saisons.

D'autre part, un pic étonnant est observé début février 2010. Ce pic atteint une forte valeur de température avec plus de 26°C au niveau de l'aquitard. Il est brutal et son retour à la stabilisation est progressif. Ce pic a également été retrouvé sur les plateformes 1, 2 et 3 mais sans explications à l'heure actuelle.



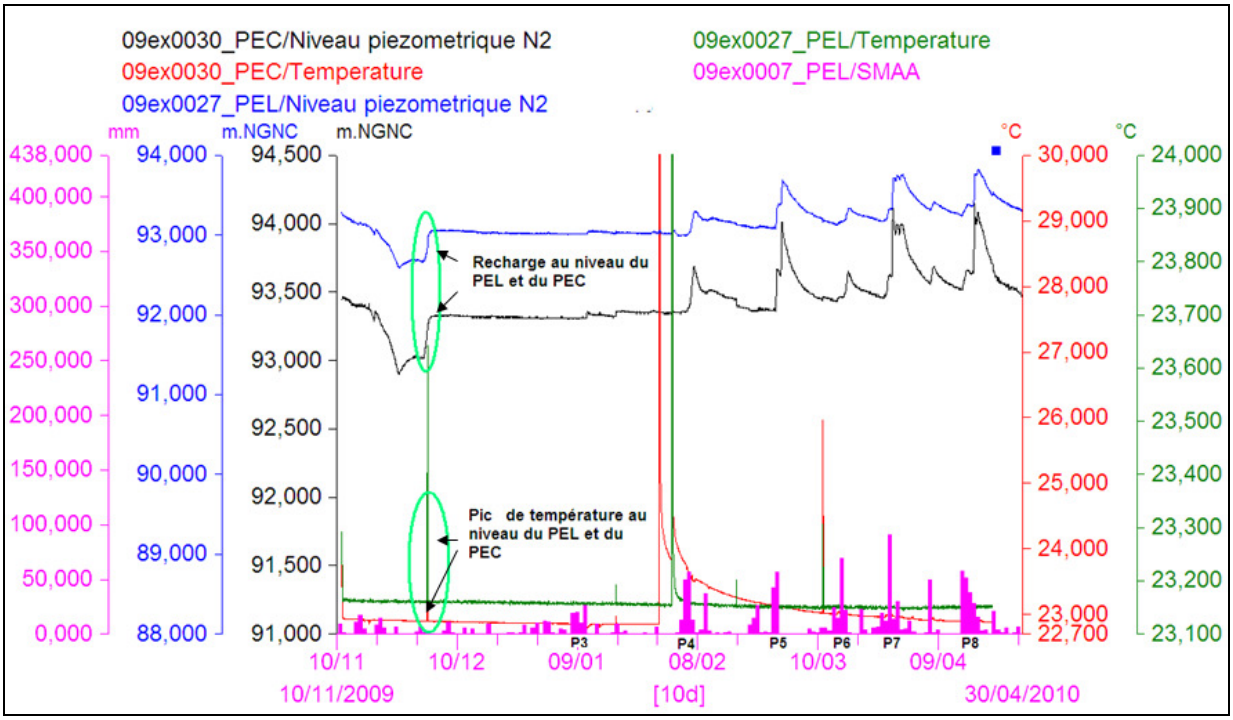
Graphique 28: Relevé des températures, mesurées sur le PEC 09ex0044 (en noir) et sur le PEL 09ex0040 (en rouge) de la plateforme 21, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en bleu), de novembre 2009 à avril 2010

Ces phénomènes concernent essentiellement les plateformes 1, 2 et 3 car les PEC de celles-ci sont implantées à très faibles profondeurs et doivent donc réagir davantage face aux variations de la température extérieure.

D'autre part, une analyse a été effectuée et prend en considération les pics enregistrés au niveau de la température et ceux enregistrés au niveau de la piézométrie. On remarque que :

- sur les plateformes 1 et 2, un pic de température est enregistré le 02/12/09 et une recharge au niveau de la piézométrie des PEC et des PEL a lieu du 01/12/09 au 03/12/09 ;
- sur la plateforme 18 un petit pic de température est remarqué le 02/12/09 à 11h et une décharge sur le PEL est distingué exactement à la même heure le 02/12/09 ;
- enfin, sur la plateforme 4, un pic de température est enregistré au niveau des deux nappes le 02/02/10 à 14h ; et une décharge sur le PEL est noté le 02/02/10 entre 13h et 16h.

La plateforme 1 est prise en exemple (Graph.29).



Graphique 29: Relevé des profondeurs piézométriques et des températures, mesurées sur le PEC 09ex0030 (respectivement en noir et rouge) et sur le PEL 09ex0027 (respectivement en bleu et vert) de la plateforme 1, en relation avec la pluviométrie enregistrée sur SMAA (en rose), de novembre 2009 à avril 2010

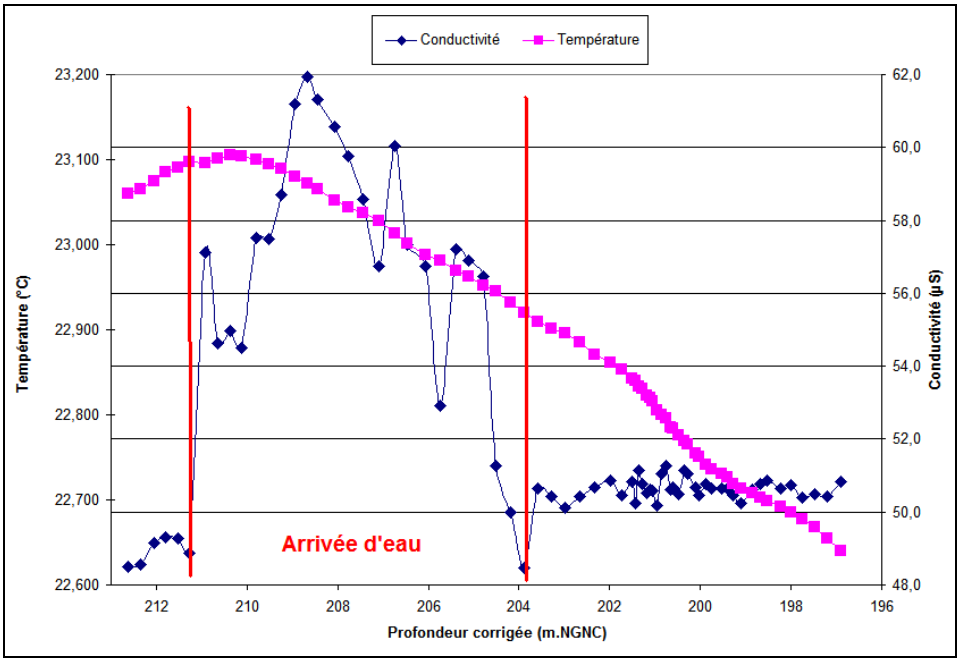
Il existe donc une relation entre les pics de température des nappes et les phénomènes de décharge et recharge rencontrés à ce même niveau.

4.3. Diagraphies de conductivité et de température

Des diagraphies de conductivité et de température sont réalisées lors de chaque mission trimestrielle sur l'ensemble des ouvrages faisant l'objet du suivi piézométrique. Elles apportent des informations qualitative sur les aquifères.

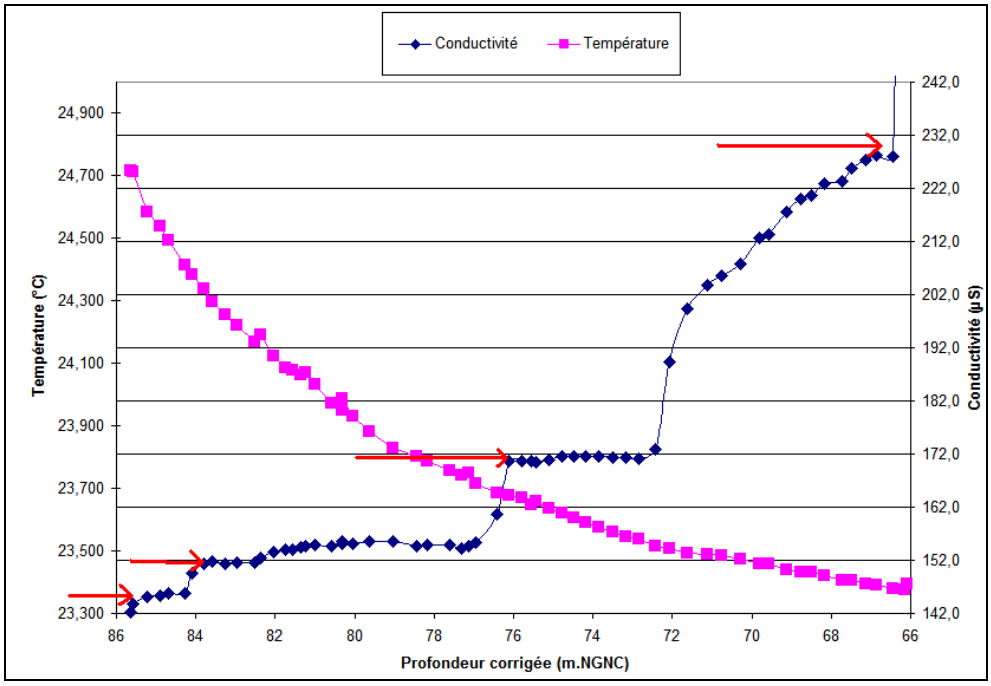
D'après leur analyse, plusieurs comportements différents ont été notés.

Les diagraphies de conductivité et de température permettent d'apprécier et de localiser des venues d'eau. En voici un exemple avec la diagraphie du piézomètre 09ex0017 (PF 20) réalisée en décembre 2009 (Graph.30). La conductivité augmente entre 211,3 m.NGNC (conductivité = 48,9 µS/cm) et 203,9 m.NGNC (conductivité = 48,5 µS/cm), pour atteindre un maximum à 208,7 m.NGNC (conductivité = 61,9 µS/cm) La même venue d'eau a été observée en mars et en juillet 2010.
La conductivité de ce PEC n'est pas très importante. Elle n'excède pas les 70 µS/cm. L'aquitard latéritique est donc majoritairement alimenté par les eaux de surface.



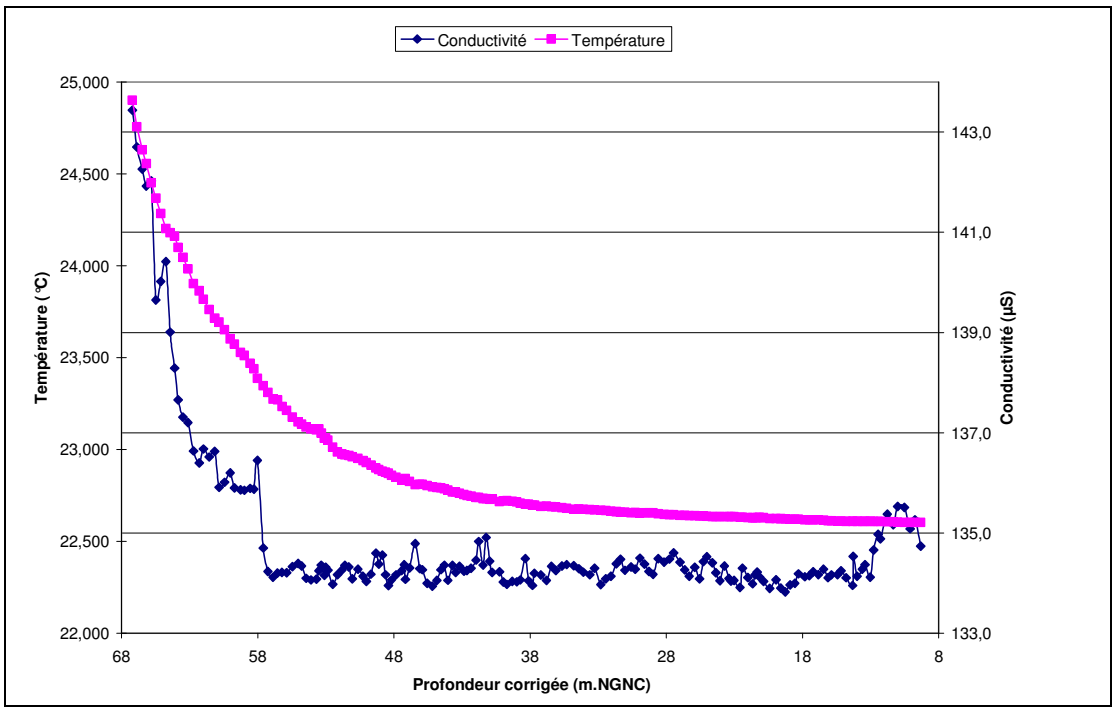
Graphique 30: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0017 de la plateforme 20, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009

La conductivité peut présenter des « paliers » alors que la température diminuera en continue. C'est le cas de la diagraphie du piézomètre 09ex0027 (PEL de la PF 1) en décembre 2009 (Graph.31) qui présente des paliers vers 67 m.NGNC avec une conductivité de 228,1 µS/cm, vers 75 m.NGNC avec une conductivité de 170,6 µS/cm, vers 80 m.NGNC avec une conductivité de 153 µS/cm et vers 85 m.NGNC avec une conductivité de 145 4 µS/cm. La température quant à elle diminue de 1,3°C entre 85,6 m.NGNC et 66,2 m.NGNC. Le même comportement a été remarqué en mars et juillet 2010 sur ce piézomètre. Les diagraphies des piézomètres 09ex0007 (PF 14) en mars et juillet 2010, 09ex0031 (PEL de la PF 2) en décembre 2009, mars et juillet 2010, 09ex0039 (PEC de la PF 15) en mars et juillet 2010 et 09ex0079 en juillet 2010 présentent eux aussi des paliers. Les nappes sont donc compartimentées avec des eaux chimiquement différentes entre chaque palier.



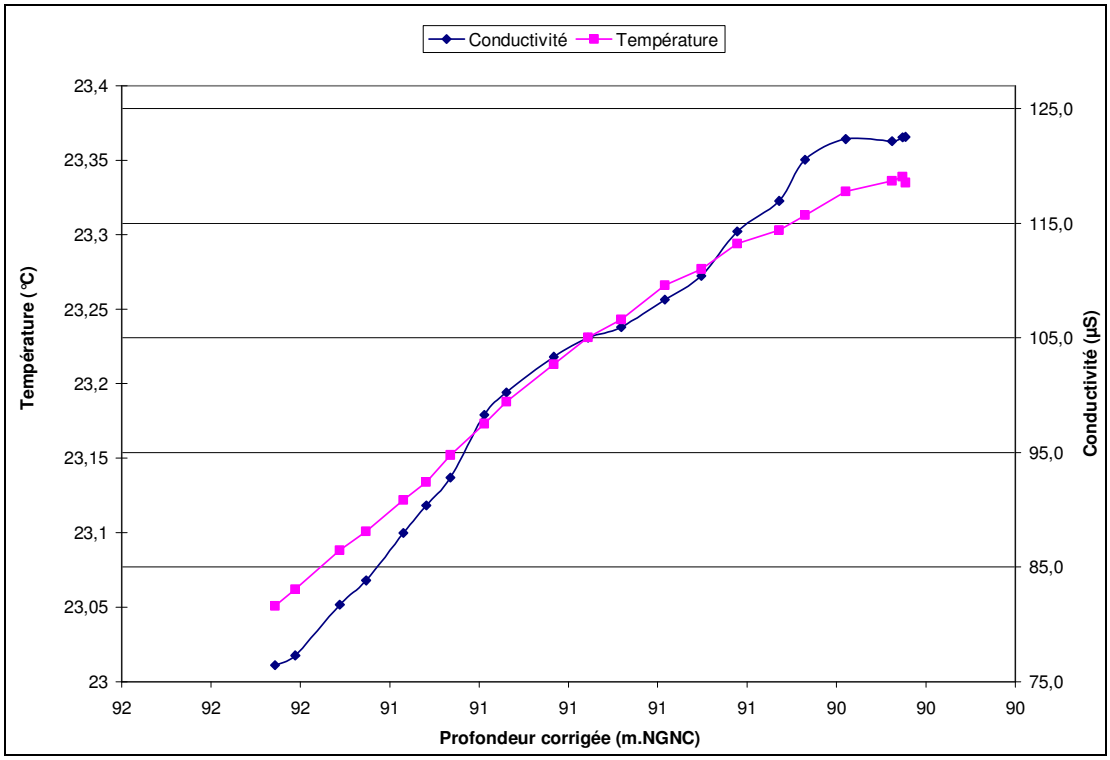
Graphique 31: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0027 de la plateforme 1, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009

En général, comme c'est le cas pour les graphiques précédents, la conductivité augmente avec la profondeur et la température diminue. Pourtant lors de la diagraphie du piézomètre 09ex0054 (PF 5) en mars 2010, la conductivité et la température diminue avec la profondeur (Graph.32). En effet, entre 67,2 m.NGNC et 9,3 m.NGNC la température diminue de 2,3°C et la conductivité de 8,7 µS/cm.
Le même phénomène a été remarqué sur le PEC de la même plateforme (09ex0058) en décembre 2009 mais également sur les piézomètres de la plateforme 17 en décembre 2009 (09ex0038 et 09ex0041) ainsi que sur le piézomètre 09ex0007 (PF 14) en mars 2010 et 09ex0047 (PF 18) en décembre 2009, mars et juillet 2010 et sur le piézomètre 09ex0054 (PF 5) en juillet 2010. Toutes ces plateformes sont situées au sud de la zone d'étude, à l'exception de la plateforme 14.



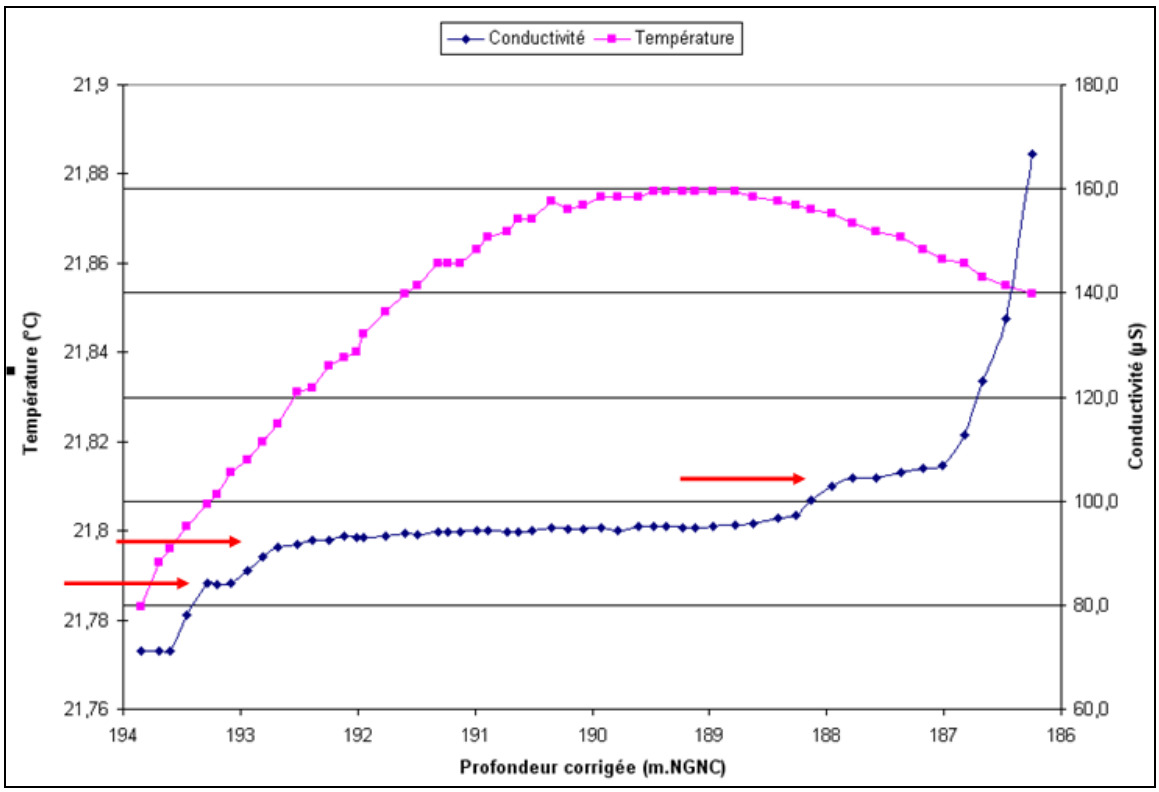
Graphique 32: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0054 de la plateforme 5, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en mars 2010

A l'inverse, des augmentations de température avec la profondeur ont été remarquées en juillet 2010, ce qui n'avait pas été le cas lors des deux campagnes de diagraphies précédentes. La conductivité quant à elle reste stable (cas des piézomètres 09ex0010 (PF13), 09ex0041 (PF 17) et 09ex0059 (PF19)) ou augmente avec la température (cas des piézomètres 09ex0034 (PF 2), et 09ex0058 (PF 5)).
Le piézomètre 09ex0034 a été pris en exemple afin d'illustrer ce fait (Graph.33). Ainsi, entre 91.7 m.NGNC et 90.3 m.NGNC, la température augmente de 0.28°C et la conductivité augmente de 46.1 µS/cm.



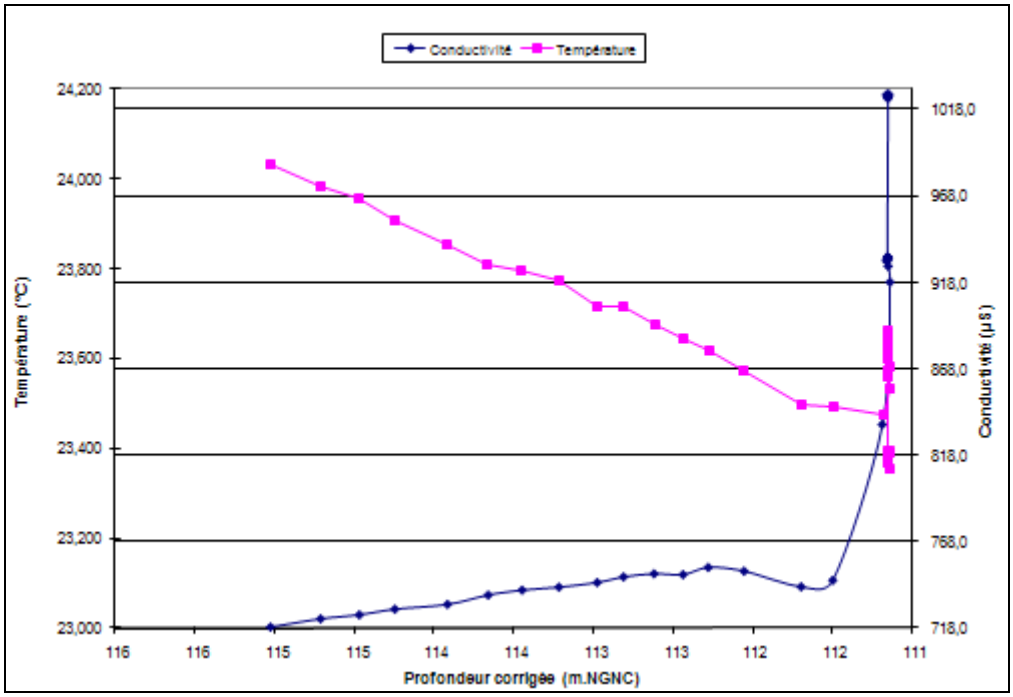
Graphique 33: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0034 de la plateforme 2, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en juillet 2010

Un autre phénomène a été remarqué en juillet 2010. La température augmente puis diminue formant ainsi une auréole. La conductivité quant à elle reste stable (cas du piézomètre 09ex0023 (PF 21)) ou évolue en formant graduellement des paliers (cas du piézomètre 09ex0027 (PF 1) et 09ex0079 (PF23)).
Ce dernier piézomètre a été pris en exemple (Graph.34). La conductivité augmente ainsi de 94,47 µS/cm entre 193.9 m.NGNC et 186.3 m.NGNC. La température quant à elle augmente de 0.093°C jusqu'à 188.78 m.NGNC puis diminue de 0.023°C. Ces variations de température restent néanmoins très faibles.



Graphique 34: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEC 09ex0079 de la plateforme 23, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en juillet 2010

Certains piézomètres présentent une conductivité très importante comme c'est le cas pour le piézomètre 09ex0026 (PF 4) (Graph.35), situé au sud de la zone d'étude (Fig.5). En effet, la conductivité est comprise entre 719 µS/cm et 1024 µS/cm. C'est donc une eau très minéralisée, sûrement saumâtre ou saline.



Graphique 35: Relevé de la conductivité en µS/cm (en bleu) et de la température en °C (en rose), mesurées sur le PEL 09ex0026 de la plateforme 4, en fonction de la profondeur corrigée en m.NGNC, en décembre 2009

4.4. Hydrochimie

4.4.1 Hydrochimie in-situ

Lors des mesures in-situ, les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité (µS/cm) et la température (°C) sont relevés.

4.4.1.1 Hydrochimie in-situ sur rivières

Des tableaux présentent les résultats de l'hydrochimie in situ effectuée en rivière en décembre 2009 (Tbl.20), en mars 2010 (Tbl.21) et juin 2010 (Tbl.22).

Tableau 20: Hydrochimie in situ en rivière en décembre 2009

Décembre_2009						
Section	Date	Heure	pH	T°C (pH)	Conductivité µS/cm)	T°C (cond)
KN1	30/11/2009	18h10	-	-	-	-
KN1	Seconde prise de mesure		-	-	-	-
KO5	30/11/2009	13h	6,58	28	58,5	28
KO5	Seconde prise de mesure		-	-	-	-

Tableau 21: Hydrochimie in situ en rivière en mars 2010

Mars_2010						
Section	Date	Heure	pH	T°C (pH)	Conductivité µS/cm)	T°C (cond)
KN1	22/03/2010	17:45	7,72	23,3	105,2	23,5
KN1	Seconde prise de mesure		7,75	23,3	105,2	23,5
KO5	23/03/2010	14:45	7,11	26,8	66,3	26,7
KO5	Seconde prise de mesure		7,11	26,7	66,4	26,7

Tableau 22: Hydrochimie in situ en rivière en juin 2010

Juin_2010						
Section	Date	Heure	pH	T°C (pH)	Conductivité (µS/cm)	T°C (cond.)
KN1	07/06/2010	15:40	7,26	23	100,4	23
KN1	Seconde prise de mesure		7,21	23	101,1	23
KO5	08/06/2010	07:20	6,01	22,6	71,3	22,6
KO5	Seconde prise de mesure		6,04	22,6	70,9	22,6

Comme cela a été précisé auparavant, la sonde multi-paramètres étant défectueuse lors de la première mission, seules des mesures sur KO5 ont pu être réalisées. En moyennes eaux sur KO5, alors que le pH et la conductivité augmentent par rapport aux basses eaux (augmentation du pH de 0,53 et la conductivité de 7,8 µS/cm), la température quant à elle diminue de 1,2°C.

Concernant les missions en moyennes eaux, les paramètres physico-chimiques sont plus importants en mars 2010 sur KO5 et KN1, excepté la conductivité qui est plus importante sur KO5 en juin 2010 de 4.75 µS/cm.

Ces paramètres peuvent être retrouvés en Annexe 6.

4.4.1.2 Hydrochimie in situ sur nappes

En décembre 2009, seul 8 piézomètres ont pu être caractérisés hydrochimiquement car les PEC 09ex0013 (PF 8) et 09ex0074 (PF 22) étaient à secs. Les mesures hydrochimiques, réalisées sur nappes, sont représentées sous forme de tableau (Annexe 7).Les valeurs surlignées en rouges sont des valeurs semblant incertaines.
Deux piézomètres étaient également à sec en juillet. Il s'agit du piézomètre 09ex0012 (PF 8) et du piézomètre 09ex0074 (PF 22). Un troisième piézomètre existant sur cette plateforme, appelé piézo 3 de la PF 22, a donc été caractérisé hydrochimiquement.

De manière générale, la conductivité est plus importante dans les PEL que dans les PEC. Il en va de même pour le pH qui présente de plus faibles valeurs au niveau de l'aquitard (pH égale à 5 en moyenne) et plus élevées au niveau de l'aquifère (pH égale à 8 en moyenne allant même jusqu'à 11 au niveau du piézomètre 09ex0070 (PF.22)). Enfin, il est important de noter que la plateforme 8 affiche des températures plus élevées par rapport aux autres plateformes et ceci, aussi bien en décembre 2009 (T°C = 28,4°C) qu'en mars 2010 (T°C = 26°C).

De manière plus détaillée :
En décembre 2009 :

- le PEC 09ex0062 (PF 6) présente une faible conductivité (50 µS/cm en moyenne). Il en va de même pour le pH qui est en moyenne égale à 5. Ces valeurs de conductivité correspondent à une pluie d'où son caractère acide. Etant située sur le plateau et donc sur une surface relativement plane, les eaux de surface ont donc davantage tendance à s'infiltrer. Le piézomètre 09ex0062 est donc principalement alimenté par les eaux météoritiques ;
- le PEC 09ex0048 (PF 24) a une conductivité plus élevée, comprise entre 96,4 et 137,3 µS/cm. C'est toujours une eau peu minéralisée mais qui doit être moins influencée par l'infiltration des eaux de pluie. Le pH indique quant à lui un caractère toujours acide avec un pH de 5,5 en moyenne ;
- les PEL des plateformes 5, 7 et 24 (respectivement piézomètres 09ex0054, 09ex0050 et 09ex0045) ont une conductivité avoisinant les 140 µS/cm. Les PEL ont donc une conductivité plus élevée que celle des PEC. Le pH est également plus important (entre 7 et 8) conférant à l'eau un caractère neutre. Le pH relevé en milieu souterrain semble donc augmenter avec la conductivité ;
- les PEL de la plateforme 6 (09ex0060) et celui de la plateforme 8 (09ex0012) ont une conductivité beaucoup plus élevée par rapport aux autres piézomètres implantés dans l'aquifère saprolitique (conductivité > 200µS/cm). L'eau de ce piézomètre est donc moyennement minéralisée et le pH confère à l'eau toujours un caractère neutre (égale à 7-7,5) ;
- le PEL 09ex0070 (PF 22) a une conductivité anormalement basse (< 6 µS/cm) et son pH est très élevé (pH=12). Ces valeurs semblent incorrectes.

En mars 2010 :

- le PEC de la plateforme 6 (09ex0062) a les plus faibles valeurs de conductivités (50µS/cm) avec un pH de 5. Comme ce qui avait été dit lors de l'hydrochimie du mois de décembre 2009, le piézomètre 09ex0062 est fortement alimenté par les eaux de surfaces, contrairement aux autres piézomètres dont la conductivité est plus élevée ;
- les piézomètres 09ex0013 (PF 8), 09ex0048 (PF 13) et 09ex0074 (PF 22) ont une conductivité légèrement plus élevée comprise entre 50 et 100µS/cm avec un pH de 5-6 ;
- le piézomètre 09ex0058 (PF 5) a les plus fortes valeurs de conductivité (130 à 170 µS/cm) et là également le pH augmente avec ce dernier paramètre physico-chimique puisqu'il est de 7-8 ;
- contrairement au PEC qui enregistre les plus faibles valeurs de conductivité au mois de mars 2010, le PEL 09ex0060 de la plateforme 6 indique quant à lui une conductivité comprise entre 160 et 190 µS/cm ce qui est plus élevée que pour les piézomètres 09ex0045 (PF 24) et 09ex0054 (PF 5) qui affichent une conductivité environ égale à 130 µS/cm. Le pH de tous ces PEL est de 8 donc l'eau est basique ;

- alors qu'en décembre 2009 le piézomètre 09ex0070 (PF 22) indiquait des valeurs incertaines, sa conductivité en mars 2010 est de 600 à 700 µS/cm et est donc supérieure à celle de tous les autres PEL. Ceci correspond donc à une eau très minéralisée, saumâtre ou saline avec un pH de 11 confirmant l'alcalinité de l'eau.

En juillet 2010 :

- le piézomètre 09ex0060 (PF 6) présente les plus fortes valeurs de conductivité (175,8 µS/cm). Ceci avait déjà été constaté en décembre 2009. A l'inverse le PEC de la même plateforme (piézomètre 09ex0062) affiche les plus faibles valeurs de conductivité (49,93 µS/cm), comme en décembre 2009 et mars 2010. Ceci confirme la présence d'une forte alimentation par les eaux de surface au niveau de l'aquitard latéritique ;
- le piézomètre 09ex0048 (PF 24) a le plus petit pH (5,32) et présente donc un caractère acide. A contrario le piézomètre 09ex0070 (PF 22) montre une eau nettement basique avec un pH de 10,36. Ce pH est anormalement élevé. L'eau du piézomètre est contaminé par le ciment de l'ouvrage ;
- concernant la température, celle-ci est globalement la même sur l'ensemble des piézomètres et est comprise entre 22 et 23°C. Seul le piézomètre 09ex0070 (PF 22) a la plus petite valeur de température (21,6°C).

4.4.2 Hydrochimie au laboratoire

Les tableaux correspondant aux analyses effectuées au laboratoire se trouvent en Annexe 8. Les analyses en rivière sur KN1 et KO5 n'ont pas été faites en mars 2010. Afin de combler cette lacune, des prélèvements sur ces deux sections ont été effectués en juin 2010.

Afin de valider ces données, la balance ionique de chacune des analyses a été calculée.

Une balance ionique est considérée comme bonne si son pourcentage est inférieur à 5%.Un code couleur élaboré avec J.L. Folio a été retenu :

- 0 à 5 % : bon (vert),
- 5 à 20 % : moyen (jaune),
- supérieur à 20 % : mauvais (rouge).

Voici les résultats obtenues (Tbl.23) :

Tableau 23: Calculs des balances ioniques pour les analyses de décembre 2009 et mars 2010. En rouge le analyses dont mauvaises, en jaune elles sont moyenne et en vert elles sont bonnes

Décembre_09	
Analyse	Balance ionique
09ex0012	+7%
09ex0045	+1%
09ex0048	+10%
09ex0050	+2%
09ex0054	+3%
09ex0060	+0%
09ex0062	+88%
09ex0070	+17%
KN1	+0%
KO5	-2%

Mars_10	
Analyse	Balance ionique
09ex0012	+0%
09ex0013	+1%
09ex0045	+1%
09ex0048	+0%
09ex0054	+0%
09ex0058	+0%
09ex0060	+0%
09ex0062	-3%
09ex0070	+1%
09ex0074	+1%

Juin_10	
Analyse	Balance ionique
KN1	+1%
KO5	+1%

Juillet_10	
Analyse	Balance ionique
09ex0012	+0%
09ex0045	+4%
09ex0048	+0%
09ex0054	+3%
09ex0058	+0%
09ex0060	+0%
09ex0062	-2%
09ex0070	+0%
PF 22 piézo 3	+1%
KN1	+0%
KO5	+0%

Les analyses de décembre 2009 présentent des balances ioniques non valides. C'est le cas pour le piézomètre 09ex0012 (PF 8) dont la balance est de +7%, 09ex0048 (PF 24) dont la balance est de +10%, 09ex0062 (PF 6) dont la balance est de +88%, et 09ex0070 (PF 22) dont la balance est de +17%. Par contre, toutes les balances ioniques de mars, juin et juillet 2010 sont valides et égales au maximum à +/-4%.

Afin d'interpréter ces analyses, le diagramme de Piper a été utilisé. Il prend en compte les éléments majeurs afin de représenter les différents faciès chimiques des eaux. Voici les diagrammes obtenus pour décembre 2009 (Fig.11) et mars 2010 (Fig.12), juin 2010 (Fig.13) et juillet 2010 (Fig.14) ; les piézomètres pour lesquelles la balance ionique n'est pas valide n'ont pas été retenus :

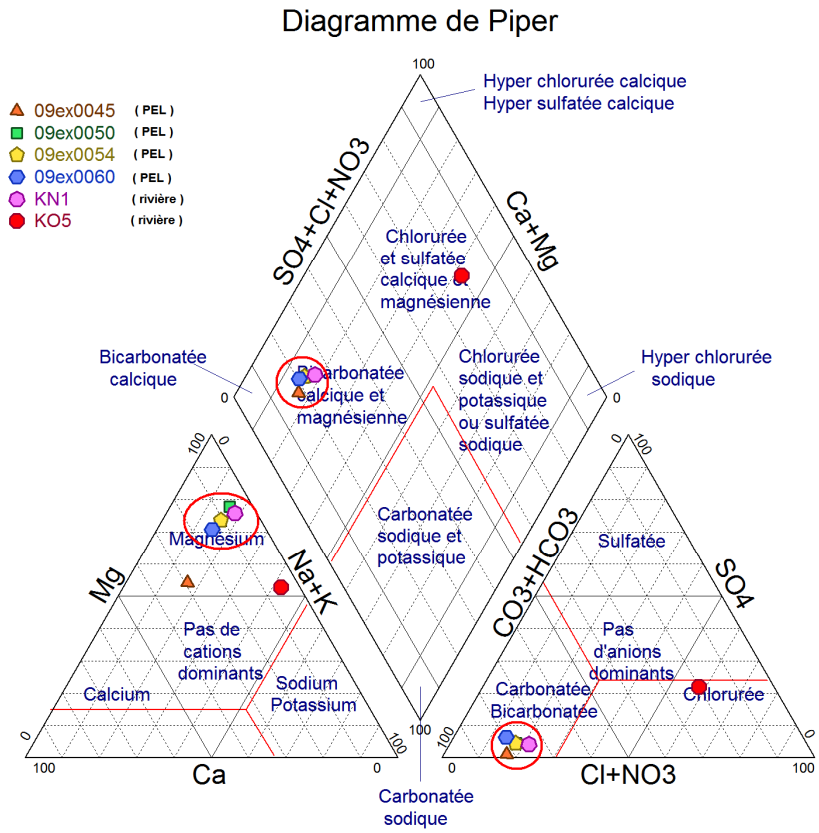


Figure 11: Diagramme de Piper pour les analyses de décembre 2009

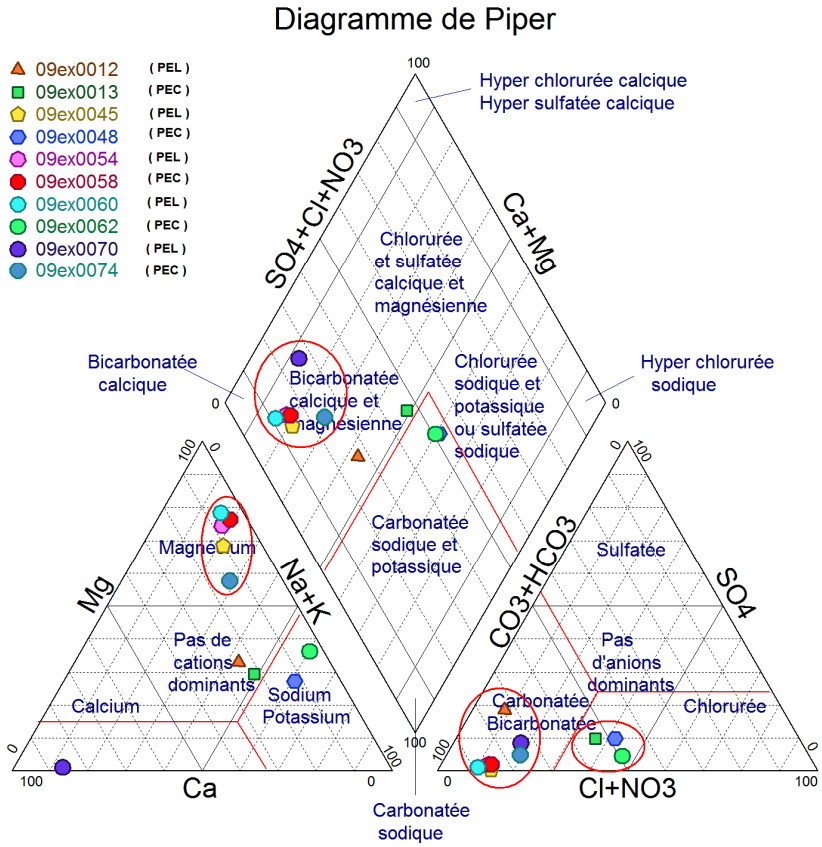


Figure 12 : Diagramme de Piper suite aux analyses de mars 2010

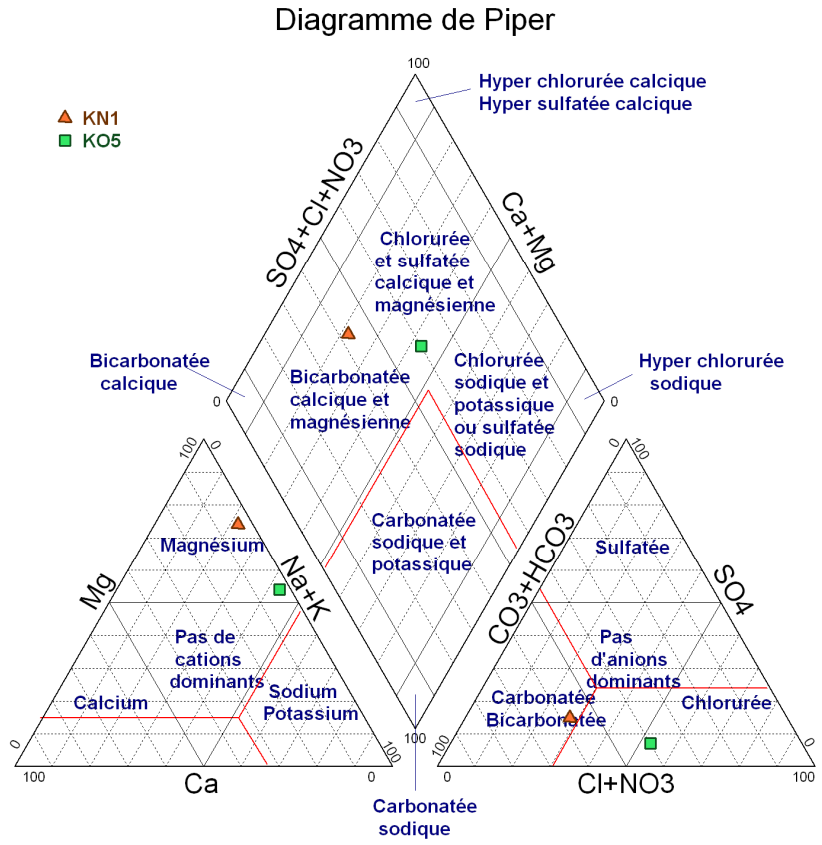


Figure 13: Diagramme de Piper suite aux analyses de juin 2010

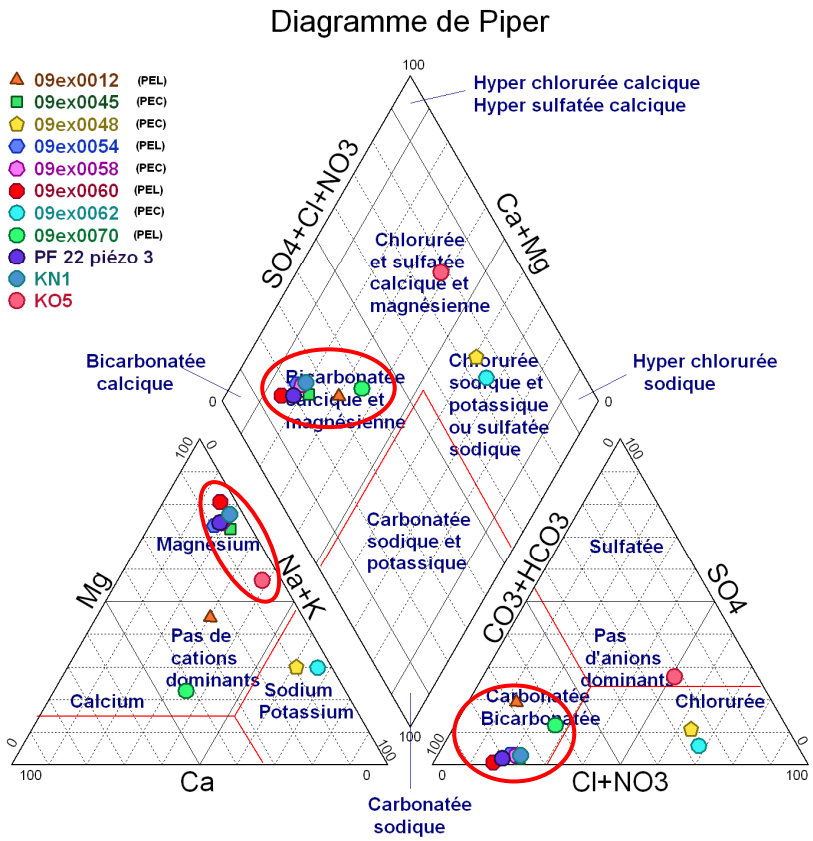


Figure 14: Diagramme de Piper suite aux analyses de juillet 2010

En décembre 2009, les analyses ne portent que sur des PEL et des rivières. De façon générale, le triangle représentant les cations affiche un faciès magnésien et celui représentant les anions met en évidence un faciès carbonaté-bicarbonaté. Le magnésium provient du lessivage des harzburgites qui contient 10 à 20% de pyroxène orthorhombique (enstatite) et 90% d'olivine (Guillon, 1969). Les carbonates-bicarbonates proviennent quant à eux des eaux de pluie (Trescases, 1969). La chimie du losange central correspond à un faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Les eaux des PEL et l'échantillon d'eau prélevé sur KN1 appartiennent à ce faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Sur KO5 par contre, l'eau est plutôt chlorurée, sulfatée calcique et magnésienne. Le sulfate résulte de l'oxydation des sulfures inclut dans les pyroxènes (Guillon, 1969)

En mars 2010, les analyses ne portent que sur des piézomètres, aucune analyse n'ayant été réalisée en rivière. De façon générale, le triangle de gauche affiche, comme en décembre 2009, un faciès magnésien. Celui de droite, affiche à la fois un pôle carbonaté et bicarbonaté, comme en décembre 2009, mais aussi un pôle chloruré. Cet anion provient lui aussi des eaux de pluie. En effet, d'origine maritime, il est apporté par les alizés (Trescases, 1969) qui soufflent plus en mars qu'en décembre d'une façon générale. Ce faciès n'est observé que sur des PEC (piézomètre 09ex0013, 09ex0048 et 09ex0062). Finalement, le losange central met en évidence, comme en décembre 2009, un faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

Des analyses en rivière sur KO5 et KN1 ont été réalisées en juin 2010 afin de combler les lacunes hydrochimiques de mars 2010. Les mêmes conclusions que pour décembre 2009 peuvent être apportées. L'eau prélevée sur KN1 appartient à un faciès bicarbonaté calcique et magnésien alors que KO5 appartiendrait plutôt à un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien. Les mêmes résultats sont observés en juillet 2010.

En juillet 2010, les mêmes conclusions que pour les mois précédents sont apportées quant aux eaux souterraines. Concernant le triangle cationique, les eaux des piézomètres tendent vers un pôle magnésium excepté les PEC 09ex0048 et 09ex0062 dont les teneurs évoluent vers le pôle sodium-potassium, qui sont d'origine maritime. Pour le triangle anionique, les eaux des nappes sont majoritairement orientées ver un pôle carbonaté, bicarbonaté. Les eaux des PEC 09ex0048 et 09ex0062 sont plutôt riche en chlore. Finalement, le losange central met en évidence un faciès bicarbonaté, calcique et magnésien pour l'ensemble des PEL et pour le PEC 09ex0058. Les eaux des PEC 09ex0048 et 09ex0062 ne tendent pas de manière définitive vers un faciès particulier. En effet, alors qu'en mars 2010 leur pôle dominant était carbonaté, sodique et potassique, en juillet 2010 il est davantage chlorurée sodique et potassique ou sulfaté sodique.

De manière générale, des distinctions chimiques peuvent donc être réalisées entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

5. Conclusion

La société Vale Inco NC a lancé en Octobre 2009 une étude d'impacts environnementales concernant le futur Stock de Minerai Long Terme (SM-LT). Cette mission donne lieu à l'acquisition d'un grand nombre de données hydrologiques et hydrogéologiques. Elle permet d'approcher les grandes caractéristiques hydrométriques et hydrochimiques des rivières et l'analyse des variations piézométriques des nappes.

Les indicateurs de lacunes dans le suivi des mesures réalisées sur site ont apportés les informations suivantes :

- Jaugeages : les indicateurs sont bons. Toutes les mesures de débits ont pu être réalisées sur les douze mois.
- Mesures physico-chimiques in situ : les indicateurs sont corrects pour la majeure partie. Des données manquent sur certaines sections à cause de la sonde multi-paramètres qui est tombée à l'eau en décembre 2009. Quelques oublis, en particulier de la température, apparaissent mais un protocole de jaugeage a été mis en place début 2010 afin de remédier à ce problème.
- Mesures piézométriques manuelles : les indicateurs sont bons excepté sur le piézomètre 09ex0038 (PF 17) où la sonde était trop courte, le piézomètre ayant une profondeur de 105,45m ; et le piézomètre 09ex0079 car l'eau débordait du capot.
- Mesures piézométriques par les sondes automatiques : les indicateurs sont dans l'ensemble corrects. Une fois, le pocket-pc n'a pas été relancé et les données sont introuvables pour un autre mois. Un protocole relatif au suivi piézométrique a été mis place début 2010 renseignant sur toutes les procédures à accomplir afin d'éviter ces lacunes dans les données.
- Mesures hydrochimiques in situ sur rivière : les indicateurs sont corrects pour la majeure partie exceptée sur KN1 où la sonde est tombée à l'eau.
- Mesures hydrochimiques in situ sur nappe : les indicateurs sont corrects même si le nombre de PEL (5) et de PEC (5) n'a pas été respecté en décembre 2009.
- Mesures hydrochimiques au laboratoire sur rivière : Tous les indicateurs ne sont pas corrects. Ceci est dû au fait qu'aucune analyse n'a été faite en mars 2010. Pour combler cette lacune, des prélèvements ont été réalisés en juin 2010 Un protocole d'hydrochimie a été mis en place en 2010 pour éviter ce genre de problème. De plus, une photocopie de la demande d'analyse est dorénavant demandée.
- Mesures hydrochimiques au laboratoire sur nappes : les indicateurs sont corrects en général. Des prélèvements n'ont pu être effectué en décembre 2009 et juillet 2010 car des piézomètres étaient à secs.
- Diagraphies : les indicateurs sont dans l'ensemble corrects. Des piézomètres étaient à secs lors des trois missions trimestrielles.
- Enregistrements pluviométriques : les indicateurs sont bons, aucunes données journalières ne manquent.

Suite à l'analyse des données, certaines tendances ont pu être mises en évidence.

Concernant le suivi piézométrique, les signaux piézométriques ont été comparés aux données pluviométriques de la station SMA A, afin de repérer des comportements anormaux et de classer les données comme correcte, incertaine, incorrecte ou non qualifiable. Quelques constations concernant le fonctionnement du milieu ont pu être établies :

- Les signaux piézométriques entre les PEL et les PEC sont plus ou moins similaires à quelques exceptions près. Il semble donc exister une relation entre l'aquitard latéritique et l'aquifère saprolitique.
- Les signaux piézométriques des PEC sont en général plus accentués que ceux de PEL. Ceci est cohérent puisque le temps d'infiltration à travers les formations géologiques est moins important.
- Les piézomètres, installés au sud de la zone d'étude, ont un signal qui varie faiblement suites aux épisodes pluvieux P3 et P6. La station pluviométrique étant placée au Nord, derrière la chaine rocheuse, il serait bien d'édifier un piézomètre mieux positionné par rapport au site de SM-LT.
- Les signaux piézométriques varient plus faiblement suite à l'épisode pluvieux P6 alors que son cumul est plus important que celui de P5 mais de plus faible intensité. Les nappes réagissent donc davantage face à l'intensité des pluies que face à leurs cumuls. La présence d'un pluviomètre instantané dans la zone d'étude permettrait d'affiner l'analyse de ces données.
- Certains signaux présentent des comportements étranges. Afin de connaitre la validité des données, ces signaux ont été comparés à ceux du PEC ou du PEL de leur plateforme et à d'autres plateformes alentours. Des phénomènes de décharges et de recharges aussi bien dans l'aquitard que dans l'aquifère ont pu être établie, mettant en évidence le fonctionnement actif d'un réseau karstique.

Concernant le suivi limnimétrique, une analyse des débits et des paramètres physico chimique a été accomplie. D'autres constatations concernant le fonctionnement du milieu ont pu être faites :

- Le débit des rivières augmente de la source à l'exutoire ce qui est cohérent.
- Les sections KO5 et KN1 Source présentent, dans leur débit, une quantité et une évolution semblable. Ces deux sections ne sont pourtant pas situées au même endroit et aucune corrélation n'a pu être pour l'instant établie entre ces deux zones.
- Les rivières Kwé Ouest et Kwé ont les débits les plus importants. Etant alimentées par d'autres affluents ceci semble logique.
- La Kwé Nord a un débit plus important que la Kwé Ouest 5. Un traçage, réalisé en Mai 2010, a montré l'existence d'une relation entre la Plaine des Lacs et KN1 Source. En plus de son bassin versant, la Kwé Nord aurait donc une autre source d'alimentation.
- Des cartes, faisant l'état du bilan hydrométrique des rivières, mettent en évidence des zones de recharge, d'équilibre, ou de perte par infiltration au niveau des cours d'eau. De plus, un comportement différent entre les basses eaux et les moyennes eaux a été remarqué.
- Le pH ne montre pas de tendance particulière.
- La conductivité affiche l'origine des sources d'alimentation. La Kwé Ouest et la partie amont de la Kwé Nord serait alimentées par des eaux de surface alors que la Kwé Ouest, la Kwé et la partie aval de la Kwé Nord serait alimentées par des eaux plus profondes.
- La température de l'eau augmente de manière générale de la source à l'exutoire sauf sur la Kxé Ouest. Celle-ci est en effet majoritairement alimentée par des eaux souterraines.

Des analyses spécifiques ont également été réalisées lors des campagnes trimestrielles. Il s'agit de diagraphies de conductivité et de température et de caractérisations hydrochimiques en nappes et en rivières.

Concernant les diagraphies, réalisées sur l'ensemble des piézomètres, celles-ci ont permis de noter plusieurs points : tout d'abord, la localisation de venues d'eau en milieu souterrain ;

ensuite, la mise en évidence, par une conductivité en palier, de système compartimenté chimiquement ; enfin, la présence de source d'eau chaude ou bien d'un système à l'équilibre thermodynamique et chimique avec l'encaissant.

Concernant la caractérisation hydrochimique, celle-ci a permis d'afficher d'autres tendances sur l'évolution des paramètres chimiques en milieu souterrain. Ainsi, in-situ, la conductivité et le pH ont des valeurs plus importantes dans l'aquifère que dans l'aquitard.
Au laboratoire, les balances ioniques de chacune des analyses ont été calculées et un diagramme de Piper, caractérisant le faciès chimique des eaux, a été réalisé pour chaque campagne trimestrielle.
L'ensemble des PEL affiche un faciès bicarbonaté calcique et magnésien ainsi que la section KN1. Les PEC varient quant à eux d'un pôle carbonaté, sodique et potassique à un pôle chloruré, sodique et potassique ou sulfaté sodique. KO5 tend davantage vers un pôle chloruré, sulfaté, calcique et magnésien. Des distinctions chimiques entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines sont donc mises en évidence. Afin d'interpréter ces faciès, la lithologie doit être prise en compte.

Voici donc les premières tendances établies dans le cadre de cette étude. Cependant, les suivis hydrologiques et hydrogéologiques étant fortement liés aux conditions météorologiques, ils devraient être réalisés à plus long terme afin d'être représentatifs.

Il existe en effet en Nouvelle-Calédonie une forte variabilité régionale, annuelle et interannuelle :

- Régionale : d'une région à l'autre et même d'un bassin versant à l'autre, les conditions climatiques peuvent diverger fortement (cas d'un orage localisé) ;
- Annuelle : la Nouvelle-Calédonie est caractérisée par une saison des pluies (janvier à mars) et par une saison sèche (septembre à décembre).
- Inter-annuelle : cette variabilité peut être très importante : certaines années sont plus sèches (étiage très sec, saison des pluies peu pluvieuse) ou très humides (plusieurs dépressions ou un cyclone « à pluie », étiage humide).

Il conviendrait donc de poursuivre ce suivi dans le temps pour continuer d'acquérir des données, confirmer les tendances notées et apporter de nouvelles connaissances sur le milieu.

Ces nouvelles connaissances pourraient être apportées par:

- la comparaison de la mobilité du magnésium et de la silice sur SM-LT avec celle rencontrée sur le bassin versant de la rivière Dumbéa, situé à une vingtaine de km au nord de Nouméa (Trescases, 1969) ;
- l'analyse d'échantillons d'eau à la source et à l'exutoire de chaque rivière afin de suivre la distribution et l'évolution des composés chimiques des eaux ;
- le développement des connaissances sur la karstification en réalisant des traçages à l'O^{18} et au H^2 afin d'évaluer les transferts de masse dans le système (Denis *et al.*, 2009) ;
- l'installation d'un pluviomètre instantanée mieux situé par rapport à la zone d'étude pour avoir des données plus précises ;
- l'installation de seuils permettant de réaliser des mesures lors de crue et de caractériser ainsi les rivières en basses eaux, moyennes eaux et hautes eaux.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES :

DENIS A., LASTENET R., LOPEZ B., MERTZ J.D., 2009. *Hydrogéologie, caractérisation des eaux d'infiltration et propriété du support à Lascaux*. Symp. Lascaux, 2009, pp.14-16

GUILLON J.H, 1969. Données nouvelles sur la composition et la structure du grand massif péridotique du sud de la Nouvelle-Calédonie. *Cahiers ORSTOM*, sér. Géologie, 1, 1, pp. 7-25.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2005. *Scénario de diffusion des données du référentiel paramétrique et Intervenant SANDRE – Format simplifié*. Paris : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable Edition, 29 p.

TRESCASES J.J., 1969. *Géochimie des altérations et des eaux de surface dans le massif ultrabasique du Sud de la Nouvelle Calédonie*. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 22, 4, pp. 329-354.

TRESCASES J.J., 1973. *Weathering and geochemical behaviour of the elements of ultramaflc rocks in New-Caledonia*. Bur. of Miner. Resources, Geology and Geophysics. Dept. of Minerals and Energy, Canberra, bull. 141, pp. 149-161.

Vale Inco Nouvelle-Calédonie, 2009. *Cahier des charges pour la mise en place de suivis hydrologiques et hydrogéologiques dans le secteur KO5-KN1*. Vale Inco Nouvelle-Calédonie Edition, 13p.

WIRTHMANN A., 1967. Die reliefentwicklung von Neukaledonien. In: *Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhanlungen*. Dtsch. Geogr. Bochum, pp. 323-335.

INTERNET :

OTT France. *Hydras 3 OTT* [en ligne]. Disponible sur : « www.ottfrance.com » (consulté le 13/07/10).

ANNEXES

ANNEXE 1 :

Présentation des sites de jaugeages

Source KN1

KN1

KO5

Confluence KO5

K1

KN1A

KN1B

KN1C

KN1D

KO5A

Grosse arrivée d'eau au niveau de KO5A

KO5B

KO5C

KO5D

KO5E

KOA

KOB

KOC

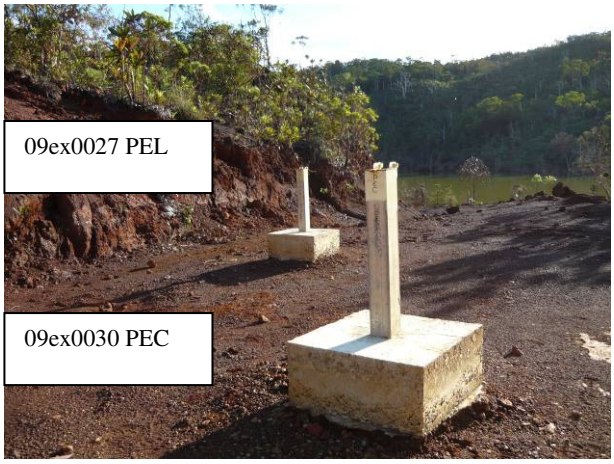
ANNEXE 2 :

Tableau recensant les coordonnées RGNC des différents piézomètres

N_PLATEFORME	N_PIEZOMETRE	X_RGNC	Y_RGNC	ZCOLLAR_CAPOT
1	09EX0027	498818	211534	98
1	09EX0030	498816	211531	98
2	09EX0031	498789	211292	96
2	09EX0034	498788	211290	96
3	09EX0040	498507	212198	151
3	09EX0044	498509	212201	151
4	09EX0026	498389	211413	166
4	09EX0028	498386	211412	166
5	09EX0054	498495	210970	81
5	09EX0058	498500	210971	81
6	09EX0060	498272	211828	173
6	09EX0062	498273	211825	173
7	09EX0050	498240	210746	101
7	09EX0053	498242	210748	101
8	09EX0012	498041	212746	199
8	09EX0013	498043	212745	199
9	09EX0014	498184	212374	186
9	09EX0020	498187	212376	187
10	09EX0019	497997	212094	194
10	09EX0021	497994	212094	194
12	09EX0035	497905	211259	175
12	09EX0036	497905	211262	175
13	09EX0008	497711	212709	219
13	09EX0010	497712	212711	219
14	09EX0007	497722	212522	213
14	09EX0009	497726	212522	213
15	09EX0037	497698	212141	205
15	09EX0039	497700	212144	205
16	09EX0022	497914	211754	186
16	09EX0025	497917	211754	186
17	09EX0038	497803	211000	165
17	09EX0041	497804	211003	165
18	09EX0029	497621	211542	181
18	09EX0047	497630	211542	182
19	09EX0051	497295	213229	229
19	09EX0059	497292	213227	229
20	09EX0015	497296	212771	220
20	09EX0017	497298	212773	220
21	09EX0018	497284	212303	209
21	09EX0023	497285	212298	208
22	09EX0070	496889	213119	227
22	09EX0074	496889	213123	227
23	09EX0073	496872	212692	203
23	09EX0079	496873	212694	203
24	09EX0045	496922	212055	192
24	09EX0048	496926	212056	192
25	09EX0075	496448	213084	220
25	09EX0078	496446	213080	220

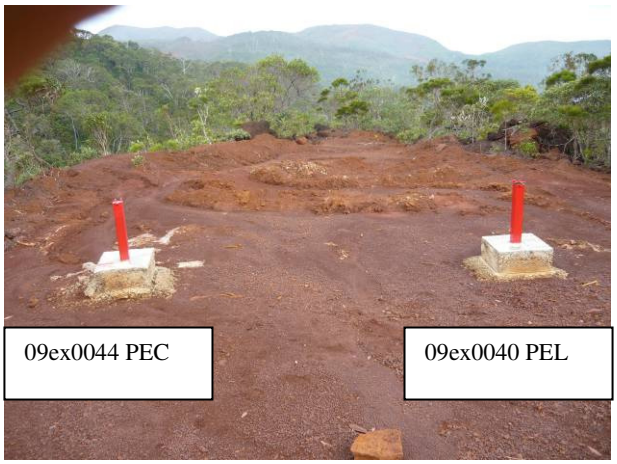
ANNEXE 3 :

Présentation des différents piézomètres

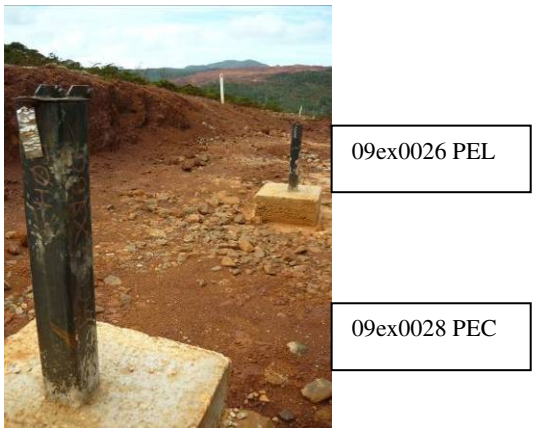


PF 1

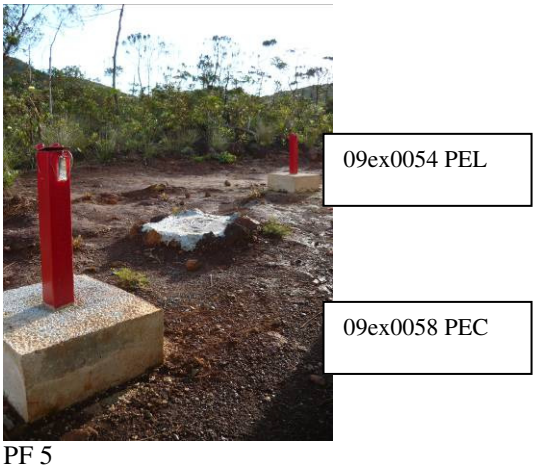
PF 2



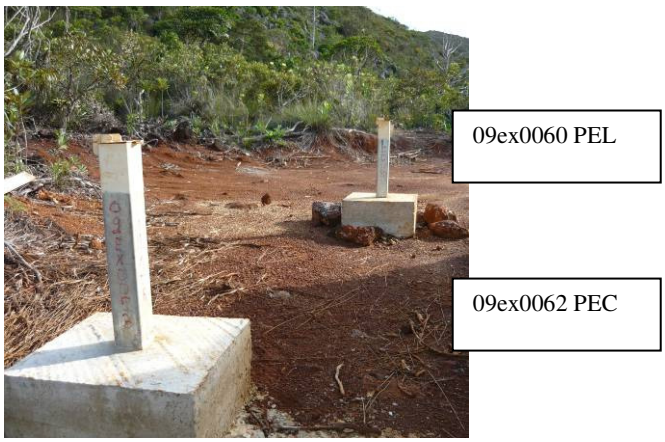
PF 3



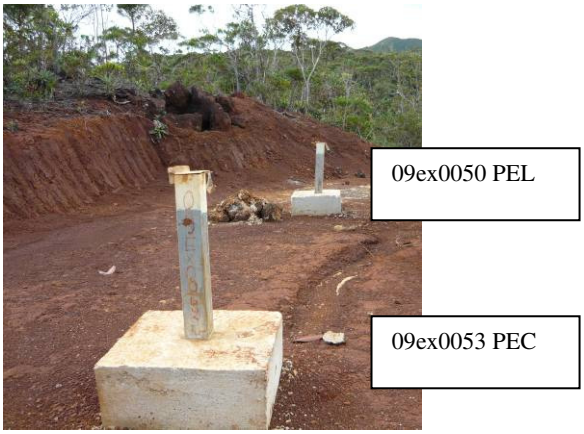
PF 4



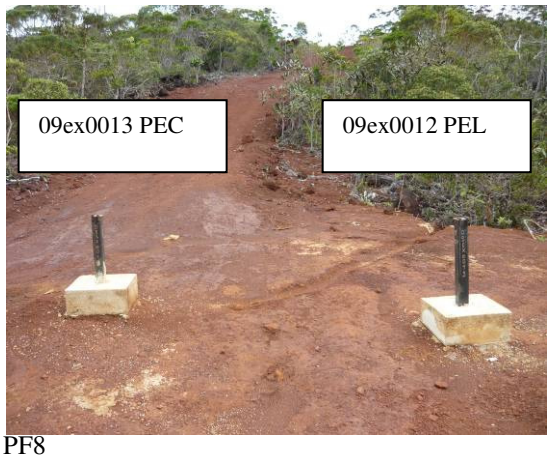
PF 5



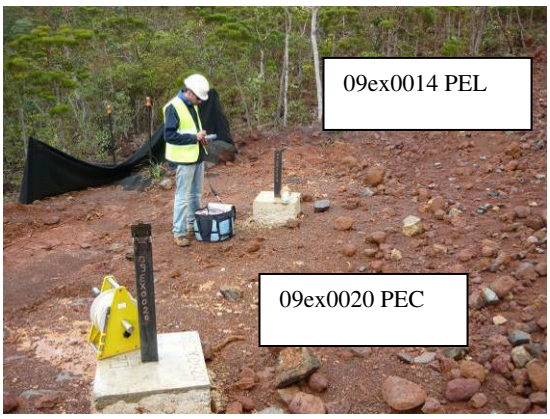
PF6



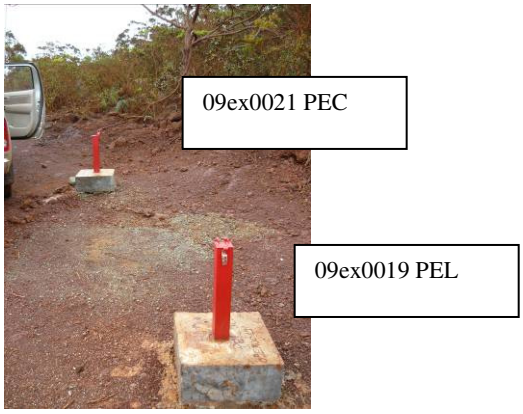
PF 7



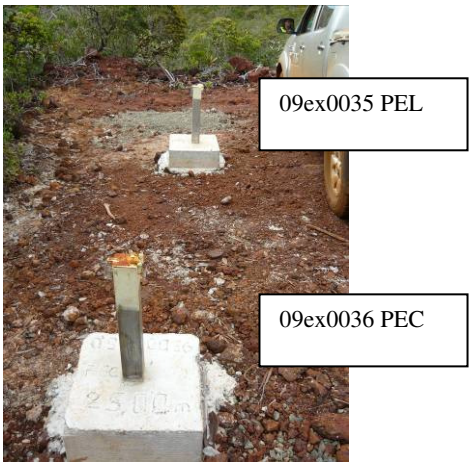
PF8



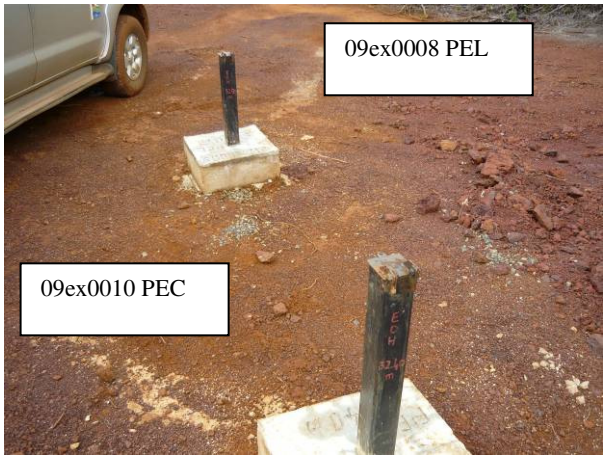
PF 9



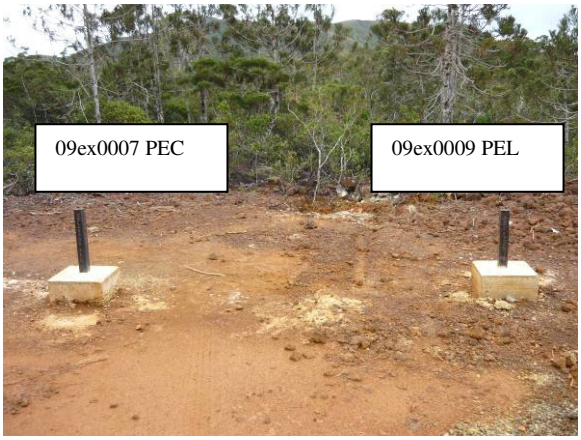
PF 10



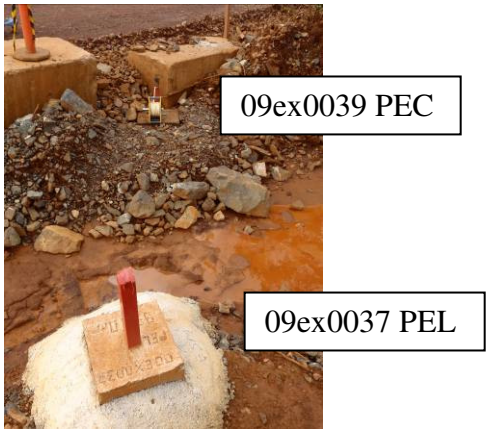
PF 12



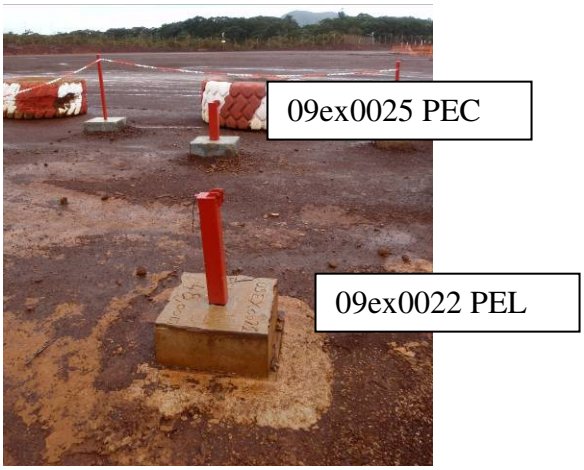
PF 13



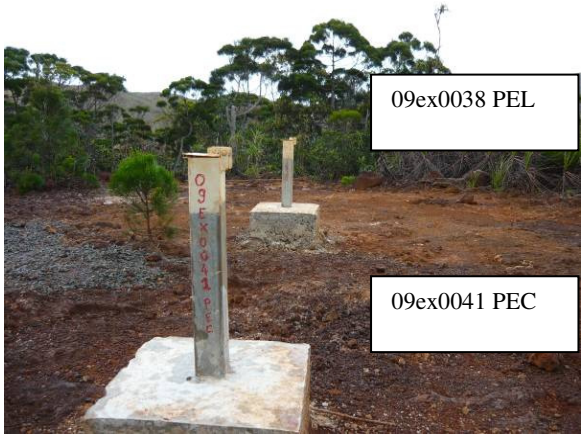
PF 14



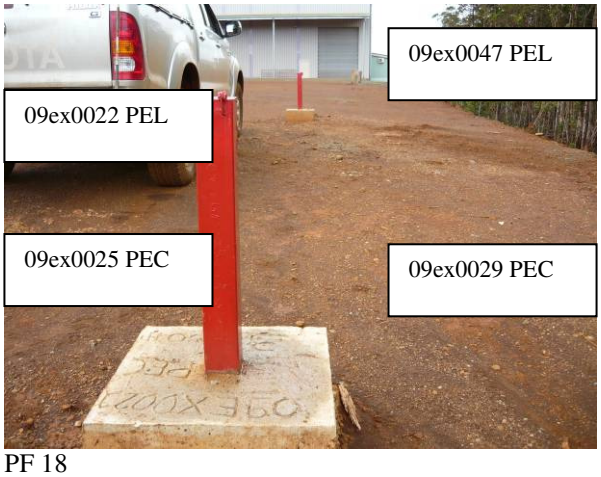
PF 15



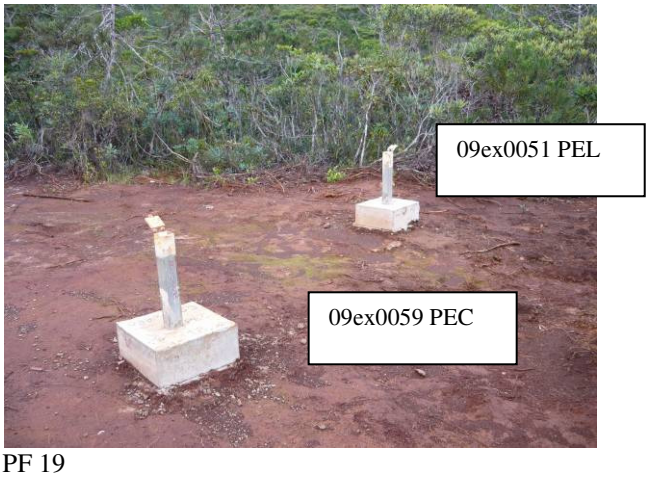
PF 16



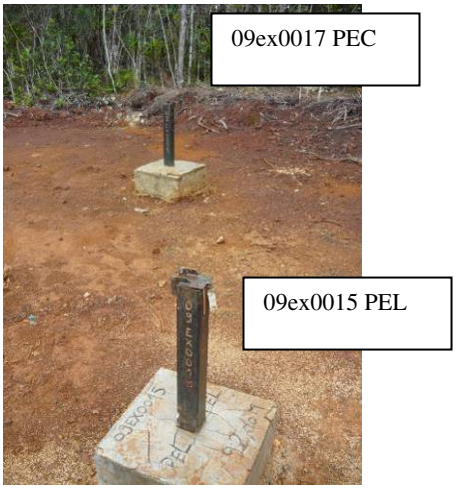
PF 17



PF 18

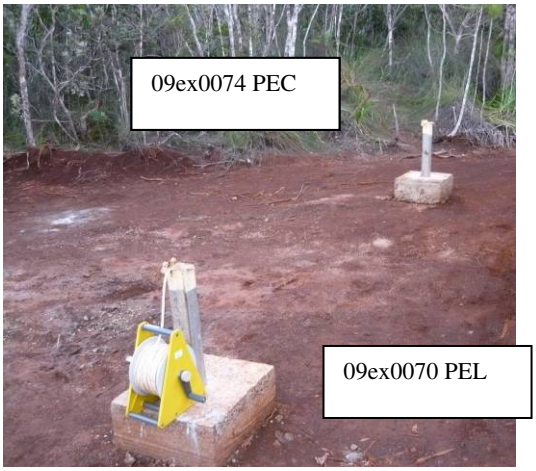


PF 19



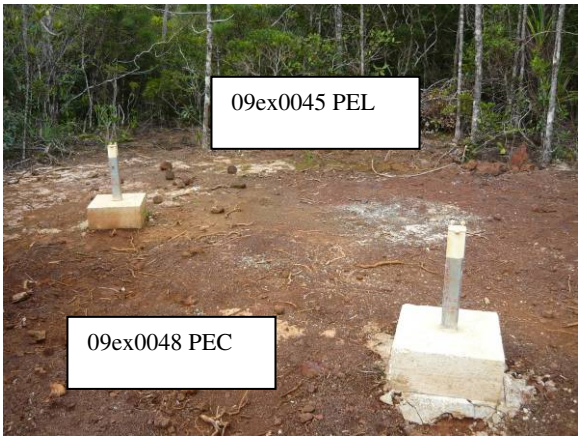
PF 20

PF 21

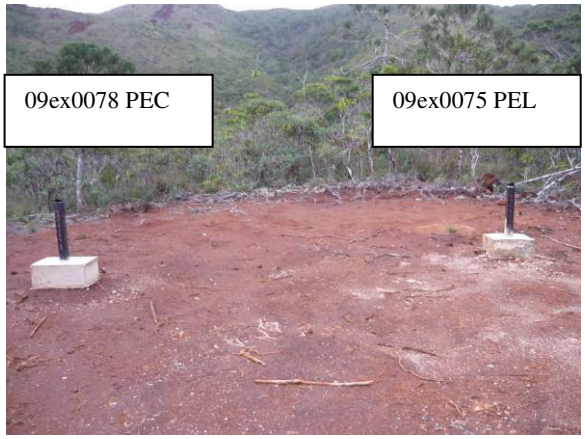


PF 22

PF 23



PF 24



PF 25

ANNEXE 4 :

Calculs des erreurs au niveau du capteur des sondes

Level Troll 300 (11m)

- Capteur : Hc = +/- 1cm.
- Barotroll : Hbaro = +/- 2cm
- Mesure manuelle : Nm = +/-1cm
- X = +/-1cm tous les 10m
- HIP/HHP = +/-0,1cm
- Zref = +/- 0,1cm

- Calcul de la hauteur d'eau mesurée par le capteur et corrigée par le barotroll (en m)

Hc corrigé = Hc – H baro
Δ Hc corrigé = Δ Hc + Δ H baro
Δ Hc corrigé = 1 + 2
Δ Hc corrigé = +/- 3cm

- Calcul du niveau piézométrique (en m)

Npiézo = X – Hc corrigé
Δ Npiézo = Δ X + ΔHIP + Δ Hc corrigé
Δ Npiézo = 1 + 0,1 + 3 avec X env. = 10m
Δ Npiézo = +/- 4cm

- Calcul de la profondeur piézométrique (en m.NGNC)

Ppiézo = Zref - Npiézo
Δ Ppiézo = Δ Zref + Δ Npiézo
Δ Ppiézo = 0,1 + 4
Δ Ppiézo = +/- 4cm

⇨ **Level Troll 300 (11m) = +/- 4cm**

Level Troll 300 (60 m)

- Capteur : Hc = +/- 6cm.
- Barotroll : Hbaro = +/- 2cm
- Mesure manuelle : Nm = +/-1cm
- X = +/-1cm tous les 10m
- HIP/HHP = +/-0,1cm
- Zref = +/- 0,1cm

- Calcul de la hauteur d'eau mesurée par le capteur et corrigée par le barotroll (en m)

Hc corrigé = Hc – H baro
Δ Hc corrigé = Δ Hc + Δ H baro
Δ Hc corrigé = 6 + 2
Δ Hc corrigé = +/- 8cm

- Calcul du niveau piézométrique (en m)

Npiézo = X – Hc corrigé
Δ Npiézo = Δ X + ΔHIP + Δ Hc corrigé
Δ Npiézo = 1 + 0,1 + 8 avec X env. = 10m
Δ Npiézo = +/- 9cm

- Calcul de la profondeur piézométrique (en m.NGNC)

Ppiézo = Zref - Npiézo
Δ Ppiézo = Δ Zref + Δ Npiézo
Δ Ppiézo = 0,1 + 8
Δ Ppiézo = +/- 9cm

⇨ **Level Troll 300 (60m) = +/- 9cm**

Aqua Troll 200 (60m)

- Capteur : Hc = +/- 3cm.
- Barotroll : Hbaro = +/- 2cm
- Mesure manuelle : Nm = +/-1cm
- X = +/-1cm tous les 10m
- HIP/HHP = +/-0,1cm
- Zref = +/- 0,1cm

- Calcul de la hauteur d'eau mesurée par le capteur et corrigée par le barotroll (en m)

Hc corrigé = Hc – H baro
Δ Hc corrigé = Δ Hc + Δ H baro
Δ Hc corrigé = 3 + 2
Δ Hc corrigé = +/- 5cm

- Calcul du niveau piézométrique (en m)

Npiézo = X – Hc corrigé
Δ Npiézo = Δ X + ΔHIP + Δ Hc corrigé
Δ Npiézo = 1 + 0,1 + 5 avec X env. = 10m
Δ Npiézo = +/- 6cm

- Calcul de la profondeur piézométrique (en m.NGNC)

Ppiézo = Zref - Npiézo
Δ Ppiézo = Δ Zref + Δ Npiézo
Δ Ppiézo = 0,1 + 6
Δ Ppiézo = +/- 6cm

⇨ **Aqua Troll 200 (60m) = +/- 6cm**

ANNEXE 5 :

Tableau recensant toutes les corrections permettant une codification des données au niveau 3

N° plateforme	Piézomètre	Problème	Correction	Date	Niveau de contrôle de la données
14	09ex0007	Pic	Translation individuelle	05/07/2010 16h	inco
		Décrochement	Correction glissante	24/05/2010 16h au 14/06/2010 15h	ince
		Données manquantes		05/07/10 15h	inco
14	09ex0009	Données manquantes		22/04/10 11h au 22/04/10 22h	inco
8	09ex0012	Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		15/10/09 à 11h	inco
		Pic	Données effacées	02/12/09 13h au 03/12/09 10h	inco
		Pic	Données effacées	24/03/2010 14h au 25/03/10 0h	inco
		Grand Décrochement	Translation	24/11/09 entre 14h et 15h	ince
		Grand Décrochement	Translation	30/11/09 entre 17h et 18h	ince
		Pic	Effacer	28/07/10 14h au 29/07/10 3h	inco
8	09ex0013	Pic	Translation individuelle	30/11/09 18h	ince
		Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		17/02/10 à 13h	inco
		Pic	Données effacées	24/03/10 14h au 25/03/10 2h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	23/12/09 11h au 12/01/10 14h	inco
		Sonde hors eau	Translation individuelle	15/06/10 17h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	16/07/10 13h au 31/07/10 5h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	08/09/10 6h au 14/09/10 12h	inco
20	09ex0015	Grand Décrochement	Translation	23/09/09 entre 11h et 12h	ince
		Grand Décrochement	Translation	29/09/09 entre 14h et 15h	ince
		Données manquantes: pocket-pc pas relancé		11/11/09 10h au 30/11/09 17h	inco
		Pic	Données effacées	17/12/09 8h au 17/12/09 12h	inco
		Pic	Données effacées	27/03/10 7h au27/03/10 11h	inco
		Pic	Translation individuelle	10/11/09 14h	ince
		Décrochement	correction glissante	26/05/10 10h au 14/06/10 14h	ince
20	09ex0017	Pic	Translation individuelle	10/11/09 14h	ince
		Pic	Données effacées	17/12/09 10h au 19/12/09 3h	inco
		Pic	Données effacées	27/03/10 8h au 27/03/10 11h	inco
		Données manquantes		26/05/10 10h	inco
21	09ex0018	Pic	Données effacées	11/11/09 14h au 11/11/09 18h	inco
		Pic	Données effacées	12/11/09 7h au 12/11/09 11h	inco
		Diminution anormal du signal		11/11/09 de 14h à 18h	ince
		Décrochement	correction glissante	26/05/10 11h au 14/06/10 14h	ince
		Pic	Translation individuelle	15/06/2010 à 15h	inco
16	09ex0022	Pic	Données effacées	25/09/2009 9h au 26/09/09 4h	inco
21	09ex0023	Pic	Données effacées	11/11/09 15h au 11/11/09 18h	inco
		Pic	Données effacées	12/11/09 10h au 12/11/09 16h	inco
		Pic	Translation individuelle	30/11/2009	ince
16	09ex0025	Pic	Données effacées	25/09/09 9h30 au 25/09/09 17h30	inco
		Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		15/10/09 à 12h30	inco
		Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		19/01/10 à 8h	inco
		Pic	Données effacées	10/03/10 16h au 11/03/10 13h	inco
		Pic	Translation individuelle	23/04/10 9h	inco
		Grand décrochement	Translation	24/05/10 14h au 27/05/10 12h	ince
4	09ex0026	Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		14/10/09 à 11h	inco
		Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		17/02/10 à 8h	inco
		Pic	Données effacées	02/02/10 13h au 02/02/10 16h	inco
		Décrochement	Correction glissante	22/04/10 16h au 25/05/10 7h	ince
		Décrochement	Correction glissante	25/05/10 9h au 26/05/10 11h	ince
1	09ex0027	Pic	Données effacées	01/02/10 15h au 02/02/10 5h	inco
4	09ex0028	Données manquantes		14/10/2009 de 10h à 13h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	11/12/09 21h au 07/02/10 8h	inco
		Décrochement	Translation	22/04/2010 16h au 25/05/2010 6h	ince
		Données manquantes		25/05/10 8h au 52/05/10 16h	inco
18	09ex0029	Décrochement	Translation	25/05/10 14h au 15/0610 11h	ince
1	09ex0030	Pic	Données effacées	29/01/10 7h au 29/01/10 18h	inco
		Pic	Données effacées	01/02/10 13h au 01/02/10 18h	inco
		Pic	Translation individuelle	14/09/2010 14h	inco
2	09ex0031	Pic	Translation individuelle	02/02/10 11h	ince
2	09ex0034	Pic	Donnée ind. Effacée	02/02/2010 10h	inco
		Données manquantes		24/05/10 18h au 26/05/10 13h	inco
15	09ex0037	Pic	Données effacées	18/11/09 13h au 18/11/09 15h	inco
		Pic	Données effacées	19/11/09 13h au 19/11/09 15h	inco
		Pic	Données effacées	15/02/10 13h au 15/02/10 17h	inco
		Données manquantes car sonde changé d'emplacement (vers 09ex0022 en test)		09/03/10 16h au 11/03/10 12h	inco
		Décrochement	Correction glissante	22/04/10 12h au 25/05/10 14h	ince
17	09ex0038	Pic	Données effacées	20/10/09 10h au 20/10/09 21h	inco
		Pic	Données effacées	06/01/10 9h au 06/01/10 15h	inco
		Décrochement	Correction glissante	18/01/10 de 15h à 16h	ince
		Pic	Données effacées	16/02/10 7h au 16/02/10 22h	inco
		Grand Décrochement	Translation	11/03/10 de 9h à 10h	ince
		Diminution anormal du signal		30/09/09 de 4h30 à 9h30	ince
		Décrochement	Translation	22/04/10 17h au 25/05/10 8h	ince
		Décrochement	Translation	15/06/10 12h au 06/07/10 10h	ince
		Données manquantes		25/05/2010 10h au 25/05/10 16h	inco
		Décrochement	Translation	06/07/10 12h au 07/07/10 17h	ince
15	09ex0039	Pic	Translation individuelle	18/11/2009 14h	ince
		Pic	Translation individuelle	18/11/09 15h	ince
		Pic	Translation individuelle	20/11/09 9h	ince
		Pic	Données effacées	25/11/09 11h au 26/11/09 6h	inco
		Pic	Translation individuelle	15/02/10 14h	ince
3	09ex0040	Donnée manquante: sonde relancée à l'heure d'après		18/01/10 à 15h	inco
		Pic	Données effacées	28/01/10 13h au 29/01/10 6h	inco
17	09ex0041	Sonde hors eau	Données effacées	28/11/09 17h au 02/12/09 13h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	12/12/09 3h au 10/01/10 17h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	21/01/10 17h au 05/02/10 15h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	25/09/09 13h45 au 25/09/09 17h45	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	01/10/09 14h45 au 07/10/09 9h45	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	25/10/09 4h au 01/11/09 1h	inco
		Augmentation anormal du signal	Données effacées	20/10/09 10h au 21/10/09 8h	inco
			Translation	21/10/09 8h au 25/10/09 4h	ince
		Pic	Translation individuelle	06/07/10 à 11h	inco
		Décrochement	Correction glissante	25/05/10 10h au 15/06/10 10h	ince

N° plateforme	Piézomètre	Problème	Correction	Date	Niveau de contrôle de la données
3	09ex0044	Sonde hors eau	Données effacées	10/11/09 18h au 11/01/10 8h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	16/01/10 11h au 28/01/10 16h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	29/01/10 10h au 05/02/10 12h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	16/02/10 8h au 17/02/10 14h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	17/02/10 14h au 23/02/10 6h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	25/02/10 7h au 27/02/10 12h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	09/03/10 17h au 14/03/10 22h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	25/03/10 4h au 26/03/10 14h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	29/04/10 13h au 03/05/10 13h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	15/05/10 22h au 19/05/10 23h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	21/05/10 15h au 22/05/10 21h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	11/06/10 8h au 17/06/10 12h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	21/06/10 13h au 23/07/10 23h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	25/07/10 2h au 13/08/10 6h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	17/08/10 11h au 13/09/10 3h	inco
24	09ex0045	Pic	Données effacées	19/11/09 10h au 19/11/09 16h	inco
		Pic	Données effacées	02/12/09 16h au 03/12/09 0h	inco
		Pic	Données effacées	25/03/10 6h au 25/03/10 17h	inco
		Décrochement	Correction glissante	26/05/10 10h au 14/06/10 14h	ince
		Pic	Effacer	28/07/2010 10h au 28/07/2010 15h	inco
18	09ex0047	Données manquantes		25/05/10 13h au 26/05/10 13h	inco
24	09ex0048	Pic	Données effacées	19/11/09 10h au 20/11/09 6h	inco
		Pic	Données effacées	02/12/09 15h au 03/12/09 10h	inco
		Pic	Données effacées	25/03/10 6h au 26/03/10 1h	inco
		Pic	Effacer	28/07/10 10h au 28/07/10 20h	inco
		Données manquantes		27/04/10 17h au 26/05/10 10h	inco
7	09ex0050	Pic	Données effacées	24/11/09 9h au 24/11/09 12h	inco
		Pic	Données effacées	05/02/10 9h 05/02/10 17h	inco
		Petit décrochement	Translation	22/04/10 16h au 24/05/10 9h	ince
		Pic	Translation individuelle	14/06/10 11h	inco
		Données manquantes		22/04/10 10h	inco
19	09ex0051	Pic	Données effacées	10/11/09 14h au 10/11/09 20h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	02/01/10 2h au 15/01/10 10h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	30/01/10 18h au 06/02/10 15h	inco
		Petit décrochement	Correction glissante	25/05/10 12h au 14/06/10 13h	ince
		Pic	Translation individuelle	15/06/2010 14h	inco
5	09ex0054	Pic	Données effacées	24/11/09 7h au 24/11/09 10h	inco
		Pic	Données effacées	02/12/09 9h au 02/12/09 8h	inco
		Pic	Translation individuelle	16/03/10 à 9h	ince
		Pic	Translation individuelle	24/03/10 à 13h	ince
		Pic	Translation individuelle	28/07/10 8h	inco
5	09ex0058	Pic	Translation individuelle	24/11/09 9h	ince
		Pic	Données effacées	02/12/09 8h au 02/12/09 11h	inco
		Pic	Données effacées	23/02/10 9h au 23/02/10 15h	inco
		Pic	Données effacées	24/03/10 10h au 24/03/10 13h	inco
		Pic	Translation individuelle	05/07/10 12h	inco
		Pic	Translation individuelle	28/07/10 9h	inco
22	09ex0070	Pic	Données effacées	11/11/09 11h au 11/11/09 14h	inco
		Pic	Translation individuelle	01/12/09 11h	ince
		Pic	Translation individuelle	02/12/09 15h	ince
		Pic	Translation individuelle	16/12/09 16h	ince
		Pic	Translation individuelle	24/03/10 17h	ince
		Petit pic étrange car courbe lisse partout ailleurs	Données effacées	01/03/10 de 13h à 19h	inco
		Petit pic étrange car courbe lisse partout ailleurs	Données effacées	02/03/10 de 7h à 11h	inco
		Petit pic étrange car courbe lisse partout ailleurs	Données effacées	02/03/10 de 11h à 19h	inco
		Petit pic étrange car courbe lisse partout ailleurs	Données effacées	03/03/10 de 7h à 10h	inco
		Petit pic étrange car courbe lisse partout ailleurs	Translation indivuelle	10/03/10 à 11h	ince
		Petit décrochement	Correcton glissante	26/05/10 9h au 14/06/10 13h	ince
		Pic	Translation individuelle	07/07/2010 14h	inco
		Pic	Effacer	28/07/2010 11h à 28/07/2010 12h	inco
22	09ex0074	Sonde hors eau	Données effacées	11/11/09 23h au 09/02/10 16h	inco
		Sonde hors eau	Données effacées	21/02/10 10h au 28/02/10 20h	inco
		Pic	Translation individuelle	24/03/10 à 16h	ince
		Pic	Translation individuelle	26/05/10 8h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	28/06/2010 8h au 14/08/2010 15h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	27/08/2010 11h au 14/09/2010 13h	inco
25	09ex0075	Sonde hors eau	Données effacées	22/11/09 11h au 19/01/10 8h	inco
25	09ex0078	Petit pic	Translation individuelle	10/11/09 17h	ince
		Sonde hors eau	Données effacées	08/12/09 16h au 11/01/10 22h	inco
		Courbe à comportement étrange avec un pic et replat	Données effacées	22/11/09 11h au 24/11/09 21h	inco
		Petit pic	Translation individuelle	25/05/10 11h	inco
		Sonde hors eau	Effacer	29/06/2010 3h au 09/08/2010 12h	inco

ANNEXE 6 :

Tableau des débits et des paramètres physico-chimiques entre octobre 2009 et septembre 2010

Nom du site	Date	Heure	Débit (m3/s)	Paramétres physico-chimiques				
				pH	t°C (pH)	Cond (µS/cm)	t°C (cond.)	O2 %
Source KN1	15/10/2009	07h20	0,005	6,83		92,80	20,70	-
KN1	15/10/2009	08h25	0,065	7,14		113,60	21,70	-
KO5	15/10/2009	14h45	0,013	5,64		61,30	26,20	-
Source KN1	09/11/2009	13h32	0,036	7,54		59,40	20,80	-
KN1	09/11/2009	15h00	0,155	7,80		92,30	22,50	-
KO5	09/11/2009	16h20	0,032	7,00		49,90	23,00	-
Source KN1	30/11/2009	13h25	0,006	7,83	22,1	90,3	22,1	-
KN1	30/11/2009	18h10	0,058	-	-	-	-	-
KO5	30/11/2009	13h	0,009	6,58	28	58,5	28	-
KNA	30/11/2009	14h20	0,005	8,11	28,1	80,2	28,1	-
KNB	30/11/2009	15h20	0,005	7,4	23,4	110,9	23,4	-
KNC	30/11/2009	16h40	0,035	6,88	23,5	111,6	23,5	-
KND	30/11/2009	17h30	0,027	8,1	23,6	106,7	23,6	-
KOD	30/11/2009	7h50	0,001	7,6	21,9	106	21,9	-
KOF	30/11/2009	9h00	0,001	6,77	25,7	116,7	25,7	-
KOI	30/11/2009	9h25	0,005	6,35	26,8	41,7	26,8	-
KOL	30/11/2009	10h50	0,004	6,62	25,8	34,8	25,8	-
KOO	30/11/2009	12h20	0,002	6,44	28,9	35,9	28,9	-
KA	30/11/2009	13h45	0,112	-	-	-	-	-
KB	30/11/2009	14h45	0,177	-	-	-	-	-
KC	30/11/2009	15h45	0,23	8,02	-	106,80	-	-
Source KN1	19/01/2010	08:45	0,003	6,71	20,50	101,00	21,40	-
	Seconde prise de mesure			6,69	20,50	100,90	21,40	-
KN1	19/01/2010	11:13	0,031	7,36	23,80	128,60	24,70	-
	Seconde prise de mesure			7,25	23,70	128,20	24,50	-
KO5	19/01/2010	13:30	0,01	5,78	28,10	78,00	28,40	-
	Seconde prise de mesure			5,20	27,40	-	-	-
Source KN1	18/02/2010	12:35	0,018	5,90	20,60	84,60	21,60	-
	Seconde prise de mesure			5,85	20,60	84,60	21,60	-
KN1	18/02/2010	13:35	0,141	6,27	26,20	129,40	27,20	-
	Seconde prise de mesure			6,26	26,20	129,50	27,10	-
KO5	18/02/2010	10:10	0,02	5,86	23,00	66,40	24,10	-
	Seconde prise de mesure			5,66	23,10	66,30	24,10	-
Confluence_KO5	18/02/2010	08:00	0,12	6,55	20,90	101,00	21,90	-
	Seconde prise de mesure			6,34	21,00	101,00	22,00	-

Nom du site	Date	Heure	Débit (m3/s)	Paramétres physico-chimiques				
				pH	t°C (pH)	Cond (µS/cm)	t°C (cond.)	O2 %
Source KN1	22/03/2010	10:45	0,066	7,04	21,9	63,5	22	107
	Seconde prise de mesure			7,03	21,9	63,5	22	107,1
KN1	22/03/2010	17:45	0,224	7,72	23,3	105,2	23,5	100,8
	Seconde prise de mesure			7,75	23,3	105,2	23,5	101
KO5	23/03/2010	14:45	0,064	7,11	26,8	66,3	26,7	62,2
	Seconde prise de mesure			7,11	26,7	66,4	26,7	62,3
Confluence_KO5	23/03/2010	15:43	0,108	7,11	23,9	81,8	23,9	73,5
	Seconde prise de mesure			7,11	23,9	81,8	23,9	73,7
KN1A	22/03/2010	13:10	0,077	7,36	23,2	68,7	23,4	105,2
	Seconde prise de mesure			7,4	23,2	68,7	23,4	107
KN1B	22/03/2010	14:10	0,087	7,17	23,4	87,6	24,6	95,7
	Seconde prise de mesure			7,16	23,5	87,8	24,6	93,5
KN1C	22/03/2010	15:15	0,152	7,64	24,6	103,1	24,6	85
	Seconde prise de mesure			7,69	24,6	103,1	24,6	85,1
KN1D	22/03/2010	16:37	0,157	7,63	-	102,6	24,6	84,2
	Seconde prise de mesure			7,66	-	102,6	24,6	84,2
KO5A	23/03/2010	08:50	0,014	7,22	21,6	103,6	21,5	79,3
	Seconde prise de mesure			7,25	21,6	103,6	21,5	80,1
KO5B	23/03/2010	10:10	0,049	7,32	23,5	74	23,5	95,5
	Seconde prise de mesure			7,28	23,5	74,1	23,5	95,1
KO5C	23/03/2010	11:22	0,037	7,71	-	74,7	23,9	76,3
	Seconde prise de mesure			7,73	-	74,7	23,9	75,8
KO5D	23/03/2010	12:37	0,032	7,58	25,2	66,5	24,8	76,2
	Seconde prise de mesure			7,57	25,2	66,5	24,8	76
KO5E	23/03/2010	13:55	0,053	7,25	26,1	59,8	26,1	70,2
	Seconde prise de mesure			7,27	26,1	59,8	26,1	70,7
KOA	23/03/2010	16:30	0,518	7,61	24,5	92,6	24,5	75,2
	Seconde prise de mesure			7,63	24,5	92,5	24,5	75
KOB	23/03/2010	17:12	0,698	7,52	24,2	89,8	24,2	92,2
	Seconde prise de mesure			7,53	24,2	89,8	24,2	92,3
KOC	24/03/2010	07:14	0,864	7,65	23,1	89,5	23	77,4
	Seconde prise de mesure			7,65	23,1	89,5	23	77,5
K1	24/03/2010	08:10	1,429	7,85	24,3	93,8	27,1	95,4
	Seconde prise de mesure			7,86	24,3	93,9	27,1	95,6
KN1	22/04/2010	15:15	0,396	7,77	22,7	97,4	22,7	-
	Seconde prise de mesure			7,73	22,7	96,6	22,7	-
KO5	23/04/2010	07:45	0,216	7,34	22,20	62,30	22,20	0,03
	Seconde prise de mesure			7,34	22,2	62,3	22,2	0,03
Source KN1	27/04/2010	15:00	0,082	6,76	-	75,90	-	-
	Seconde prise de mesure			-	-	-	-	-
KN1	26/05/2010	13h50	0,327	7,24	23,7	90,5	-	-
	Seconde prise de mesure			7,18	23,7	91,1	-	-
KO5	26/05/2010	07:45	0,177	6,12	23,70	56,50	-	-
	Seconde prise de mesure			5,89	23,70	56,60	-	-
Source KN1	26/05/2010	15:00	0,131	6,56	21,3	61,50	-	-
	Seconde prise de mesure			6,49	21,3	61,5	-	-
Source KN1	07/06/2010	11:25	0,04	7,04	22	91	22	98,2
	Seconde prise de mesure			7,02	22	91,2	22	98,2
KN1	07/06/2010	15:40	0,189	7,26	23	100,4	23	98,2
	Seconde prise de mesure			7,21	23	101,1	23	98,2
KO5	08/06/2010	07:20	0,056	6,01	22,6	71,3	22,6	66,3
	Seconde prise de mesure			6,04	22,6	70,9	22,6	66,3

Nom du site	Date	Heure	Débit (m3/s)	Paramétres physico-chimiques				
				pH	t°C (pH)	Cond (µS/cm)	t°C (cond.)	O2 %
Confluence_KO5	08/06/2010	16:10	0,173	6,54	22	75,4	22	74,8
	Seconde prise de mesure			6,54	22	75,4	22	74,8
KN1A	08/06/2010	09:55	0,067	7,5	22,4	76,2	22,4	98,5
	Seconde prise de mesure			7,5	22,4	76,1	22,4	98,5
KN1B	08/062010	08:30	0,073	6,75	20,4	93,8	20,4	90,4
	Seconde prise de mesure			6,75	20,4	93,8	20,4	90,4
KN1C	08/06/2010	10:55	0,108	6,87	22,4	102,8	22,4	78,8
	Seconde prise de mesure			6,87	22,4	102,8	22,4	78,8
KN1D	08/06/2010	14:10	0,186	7,24	22,10	99,8	22,1	83,1
	Seconde prise de mesure			7,24	22,10	99,8	22,1	83,1
KO5A	07/06/2010	10:30	0,008	6,79	21,5	105,7	21,5	74,8
	Seconde prise de mesure			6,82	21,5	105,7	21,5	74,8
KO5B	07/06/2010	14:40	0,048	6,91	23,6	105,7	23,6	81,6
	Seconde prise de mesure			6,89	23,6	106,2	23,6	81,6
KO5C	07/06/2010	13:00	0,032	7,01	23,60	72,4	23,6	75,8
	Seconde prise de mesure			6,99	23,60	72,1	23,6	75,8
KO5D	07/06/2010	13:45	0,049	7,15	23,1	97,3	23,1	76,1
	Seconde prise de mesure			7,12	23,1	96,8	23,1	76,1
KO5E	09/06/2010	07:50	0,068	6,81	19,3	56,9	19,3	68,6
	Seconde prise de mesure			6,83	19,3	57	19,3	68,6
KOA	08/06/2010	15:30	0,435	7,1	22,1	88,7	22,1	77
	Seconde prise de mesure			7,1	22,1	88,7	22,1	77
KOB	08/06/2010	16:45	0,735	6,77	21,8	84,2	21,8	89,6
	Seconde prise de mesure			6,77	21,8	84,2	21,8	89,6
KOC	09/06/2010	09:20	0,698	7	21,7	92,2	21,7	70,9
	Seconde prise de mesure			6,98	21,7	92,2	21,7	70,9
K1	09/06/2010	10:20	1,706	7,3	22,3	92,3	22,3	96,8
	Seconde prise de mesure			7,29	22,3	92,3	22,3	96,8
KN1	07/07/2010	11h15	0,132	7,12	21,6	94,2	21,6	
	Seconde prise de mesure			7,14	21,6	94,3	21,6	
KO5	08/07/2010	14:55	0,040	6,80	21,30	71,40	21,30	
	Seconde prise de mesure			6,81	21,30	71,40	21,30	
Source KN1	08/07/2010	11:40	0,028	7,10	21,2	96,40	21,2	
	Seconde prise de mesure			7,11	21,2	96,80	21,2	
KN1	10/08/2010	14h35	0,206	7,89	24	100,9	24	
	Seconde prise de mesure			7,9	23,9	101,1	23,9	
KO5	10/08/2010	12:50	0,019	7,45	22,00	110,80	22,00	
	Seconde prise de mesure			7,45	22,10	111,40	22,10	
Source KN1	09/08/2010	11:30	0,054	6,98	22	67,50	22	
	Seconde prise de mesure			6,98	22	67,50	22	
KN1	15/09/2010	13h45	0,077	7,38	25,7	118,8	25,7	
	Seconde prise de mesure			7,39	25,7	119	25,7	
KO5	15/09/2010	12h40	0,008	7,06	27,0	80,1	27,0	
	Seconde prise de mesure			7,06	27,0	80,7	27,0	
Source KN1	15/09/2010	14h25	0,003	7,55	21,8	106,2	21,8	
	Seconde prise de mesure			7,58	21,8	106,7	21,8	

ANNEXE 7 :

Résultats de l'hydrochimie in situ en nappe en décembre 2009 (1er tableau), mars 2010 (2ème tableau) et juillet 2010 (3ème tableau)

Hydrochimie_in-situ décembre 2009								
Plateforme	**Nom du piézomètre**	**PEL/PEC**	**Date**	**Touque**	**Prélèvement**	**Conductivité**	**pH**	**Température**
8	09ex0012	PEL	02/12/2009		-	385	8,19	28,4
8	09ex0013	PEC	02/12/2009					
24	09ex0045	PEL	02/12/2009	0		148,5	6,73	-
				1		148,5	6,93	-
				2		143,9	7,05	-
				3		143,8	7,06	-
					17h10	148,5	6,73	22,2
24	09ex0048	PEC	02/12/2009	0		137,3	5,73	-
				1		129,2	5,6	-
				2		96,4	5,48	-
					16h32	-	-	24,8
5	09ex0054	PEL	02/12/2009	0		139,2	-	-
				1		138,7	-	-
				2		138,1	-	-
				3		137,9	-	-
				4		138,0	-	-
					09h04	138	8,29	22,5
7	09ex0050	PEL	02/12/2009	0		140,8	-	-
				1		141,4	-	-
				2		141,0	-	-
				3		141,1	-	-
				4		141,0	-	-
					10h04	141,0	7,85	24,0
6	09ex0060	PEL	02/12/2009	0		638	7,0	-
				1		283	7,29	-
				2		252	7,37	-
				3		228	7,46	-
				4		203	7,53	-
				5		214	7,59	-
					-	-	-	23,8
6	09ex0062	PEC	02/12/2009	0		57,9		-
				1		53,2	5,0	-
				2		59,2	5,05	-
				3		48,8	5,05	-
				4		54,7	5,11	-
				5		57,7	5,16	-
				6		55,8	5,16	-
					12h10	-	-	26,2
22	09ex0070	PEL	02/12/2009	0		5,65	12,18	-
				1		5,58	12,16	-
				2		4,76	12,19	-
				3		4,24	13,16	-
				4		3,8	12,14	-
					15h15	-	-	23,1
22	09ex0074	PEC	02/12/2009					

Plateforme	Nom du piézomètre	PEL/PEC	Hauteur d'eau	Date	Heure	Temps	Conductivité	pH	Température
8	09ex0012	PEL	11,36m	24/03/2010	14h17	0	293	8,81	25,3
					14h20	3	251	8,17	24,5
					14h23	6	245	8,1	24,2
8	09ex0013	PEC	8,29m	24/03/2010	14h39	0	302	8,69	26,9
					14h42	3	669	8,8	26,7
					14h45	5	299	7,79	27
					14h47	7	81,9	6,65	26,6
					14h49	9	61,8	5,8	26,6
					14h51	11	52,8	5,54	26,6
					14h53	13	51,3	5,54	26,7
24	09ex0045	PEL	6,51m	25/03/2010	6h13	0	126,3	7,96	22,1
					6h15	2	125,5	7,89	22
					6h17	4	129,4	7,84	22,1
					6h20	7	130,2	7,88	22,1
					6h23	10	130,8	7,92	22,1
					6h26	13	130,8	7,9	22,1
					6h29	16	130,9	7,9	22,1
					6h31	18	130,2	7,87	22,1
					6h34	21	130,2	7,86	22
24	09ex0048	PEC	4,995m	25/03/2010	6h52	0	108,3	5,65	21,7
					6h56	4	78,6	5,29	22,1
					6h59	7	101	5,43	22,2
					7h03	11	106,3	5,42	22,2
					7h06	14	99,2	5,38	22,2
					7h09	17	88,8	5,3	22,2
					7h12	20	83,9	5,28	22,2
					7h16	24	77,7	5,26	22,3
					7h20	28	74,7	5,26	22,3
					7h24	32	69,6	5,26	22,4
					7h27	35	66,2	5,25	22,5
					7h30	38	64,9	5,23	22,5
					7h33	41	66,1	5,26	22,5
					7h36	44	66,5	5,27	22,5
5	09ex0054	PEL	1,3555m	24/03/2010	12h15	0	131,2	8,26	24,5
					12h17	2	128,8	8,41	24,1
					12h20	5	130,2	8,41	24,1
					12h24	9	131,2	8,34	24,2
					12h28	13	132,2	8,32	24,5
					12h31	16	133,3	8,29	24,5
					12h34	19	135,9	8,28	24,4
					12h37	22	134,6	8,26	24,5
					12h40	25	134,8	8,25	24
					12h41	26	134,5	8,24	23,8
5	09ex0058	PEC	1,76m	24/03/2010	11h00	0	172,9	8,93	23,4
					11h02	2	159,5	8,39	23,4
					11h03	3	148,5	8,27	23,4
					11h07	7	142,5	7,75	26,1
					11h09	9	137,9	7,64	25,1
					11h11	11	136,1	7,57	24,9
					11h13	13	133,5	7,52	24,6
					11h16	16	132,5	7,59	24,5
					11h19	19	131,9	7,44	24,5
					11h22	22	132,1	7,42	24,6
					11h24	24	133,4	7,41	24,8
					11h30	30	135	7,42	25,9
					11h34	34	134,3	7,43	26
					11h37	37	135	7,42	26,1
6	09ex0060	PEL	7,86m	24/03/2010	13h17	0	189,6	9,88	26,1
					13h20	3	166,8	8,41	24,2
					13h23	6	166,6	8,25	23,9
					13h26	9	165,9	8,25	23,8
					13h29	12	165,8	8,25	23,9
6	09ex0062	PEC	8,86m	24/03/2010	13h40	0	49,5	5,25	25,3
					13h43	3	49,1	4,85	25
					13h45	5	48,9	4,83	24,6
					13h49	9	48,9	4,82	24,5
					13h51	11	49	4,79	24,5
22	09ex0070	PEL	6,22m	24/03/2010	16h24	0	697	11,43	22,1
					16h27	3	761	11,48	22
					16h31	7	777	11,45	22
					16h33	9	776	11,49	22
					16h39	15	802	11,5	21,9
					16h41	17	648	11,42	21,9
					16h44	20	714	11,46	21,9
					16h47	23	666	11,42	21,9
					16h49	26	654	11,42	21,9
					16h53	30	646	11,4	21,9
					16h57	33	640	11,4	21,9
					17h00	36	616	11,39	21,9
					17h03	39	604	11,37	21,9
					17h07	42	607	11,37	21,9
					17h09	45	608	11,36	21,9
22	09ex0074	PEC	4,3m	24/03/2010	15h43	0	108,1	6,02	25,8
					15h44	1	97,3	6,37	24
					15h47	4	95,5	6,37	23,1
					15h51	9	94,6	6,45	22,9
					15h54	12	94	6,43	22,9
					15h57	15	92,6	6,44	22,8
					16h00	18	91,3	6,43	22,7
					16h03	21	90,8	6,42	22,7
					16h05	23	90,2	6,41	22,6
					16h08	26	90,2	6,41	22,6

Hydrochimie_in-situ Juillet 2010

Plateforme	Nom du piézomètre	PEL/PEC	Hauteur d'eau	Date	Heure	Temps	Conductivité	pH	Température
8	09ex0012	PEL	11,36m	28/07/2010					
8	09ex0013	PEC	8,29m	28/07/2010	13h20	0	244	8,78	
					13h24	4	224	8,73	
					Piézo asséché, nous avons attendus le réapprovisionnement en eau puis nous avons prélever				
					13h45	25	185,2	8,19	
24	09ex0045	PEL	6,51m	28/07/2010	10h06	0	128,3	6,45	22,6
					10h10	4	130	6,8	22,6
					10h13	7	130,6	7,21	22,6
					10h15	9	130,8	7,32	22,6
					10h17	11	130,5	7,43	22,6
					10h19	13	130,3	7,47	22,4
					10h21	15	130,5	7,53	22,2
					10h23	17	130,3	7,56	22,2
					10h25	19	130,7	7,58	22,2
					10h28	22	130,7	7,62	22,2
24	09ex0048	PEC	4,995m	28/07/2010	9h39	0	73,3	5,77	22,7
					9h41	2	76,3	5,54	22,7
					9h44	5	101,1	5,45	22,7
					9h46	7	74,7	5,22	22,7
					9h48	9	63,6	5,14	22,7
					9h50	11	61,1	5,13	22,7
					9h52	13	64,7	5,2	22,7
					9h54	15	67	5,22	22,7
					9h56	17	63,7	5,26	22,7
					9h58	19	63,1	5,29	22,7
5	09ex0054	PEL	1,3555m	28/07/2010	8h06	0	137,7	8,36	22
					8h10	4	134,9	8,38	22
					8h14	8	135,5	8,4	22
					8h18	12	136,1	8,43	22
					8h22	16	135,5	8,42	22
					8h26	20	135,6	8,42	22
					8h30	24	135,6	8,44	22
5	09ex0058	PEC	1,76m	28/07/2010	8h51	0	141,9	8,32	22,8
					8h55	4	136,4	8,32	22,8
					8h59	8	132,3	7,63	22,8
					9h03	12	131,1	7,54	22,8
					9h06	15	131,6	7,54	22,8
6	09ex0060	PEL	7,86m	28/07/2010	15h34	0	176,1	6,48	22,1
					15h36	2	175,8	7,49	22,1
					15h38	4	175,8	7,8	22,4
					15h40	6	175,8	7,91	22,3
					15h42	8	175,8	7,99	22,1
					15h44	10	175,8	7,99	22,1
					15h46	12	175,8	8,1	22,1
6	09ex0062	PEC	8,86m	28/07/2010	15h12	0	49,2	6,01	22,6
					15h14	2	49,9	5,7	22,6
					15h15	3	49,9	5,71	22,6
					15h17	5	49,9	5,29	22,6
					15h19	7	50,1	5,5	22,6
					15h21	9	50,4	5,42	22,6
					15h22	11	50,2	5,01	22,6
					15h24	13	49,9	5	22,6
					15h26	15	49,9	4,8	22,6
22	09ex0070	PEL	6,22m	28/07/2010	10h59	0	178,9	10,31	21,6
					11h02	3	145,4	10,23	21,6
					11h04	5	147	10,19	21,6
					11h06	7	139,9	10,16	21,6
					11h10	11	159,7	10,35	21,6
					11h13	14	174,1	10,42	21,6
					11h17	18	191,1	10,53	21,6
					11h21	22	191,1	10,53	21,6
					11h23	25	191,9	10,54	21,6
22	PF 22 piézo 3	PEC	4,3m	28/07/2010	10h38	0	135,8	9,02	22
					10h40	2	135,6	9,01	22
					10h43	5	134,9	8,79	22
					10h45	7	135,6	8,6	22
					10h49	9	135,9	8,47	22
					10h52	12	136,2	8,4	22

ANNEXE 8 :

Résultats des analyses hydrochimiques au laboratoire de décembre 2009 (1er tableau), mars 2010 (2ème tableau), juin 2010 (3ème tableau) et juillet 2010 (4ème tableau)

Analyses hydrochimiques en laboratoire_ Déc. 2009

Date de prélèvement : 02/12/09 sauf KO5 (01/12/09)

				Valeurs mesurées									
				Piézomètres								Jaugeages	
		Unité de mesure	Limite de détection	09ex0012	09ex0045	09ex0048	09ex0050	09ex0054	09ex0060	09ex0062	09ex0070	KN1	KO5
Paramètres physico-chimiques	Al	(mg/l)	0,001	4,211	0,019	0,417	0,546	0,941	0,037	61,105	1,267	0,003	0,005
	Ca	(mg/l)	0,1	10,9	10,7	12,9	2,0	3,5	6,2	0,7	335,5	1,5	0,6
	Cl	(mg/l)	0,1	13,8	10,7	15,4	9,7	10,2	10,8	10,4	10,5	9,5	12,3
	Conductivité	(µS/cm)	0,1	372,0	133,5	107,6	135,8	140,7	181,6	48,5	3780,0	112,5	63,5
	CO3	(mg/l)	0,1	0,7	< 0,1	< 0,1	0,3	0,4	0,1	< 0,1	3,6	0,2	< 0,1
	HCO3	(mg/l)	0,1	87,5	90,0	26,8	73,3	77,3	104,6	6,4	238,2	58,1	7,3
	K	(mg/l)	0,05	7,00	1,00	2,10	0,35	0,55	0,90	0,35	6,85	0,20	0,40
	Mg	(mg/l)	0,01	14,00	12,00	2,10	14,80	14,8	18,60	1,90	14,13	11,80	3,80
	Na	(mg/l)	0,01	33,39	6,36	6,91	5,54	5,63	6,82	5,60	12,68	5,28	5,53
	pH		0,01	8,12	6,82	6,14	7,78	7,90	7,21	5,40	11,87	7,84	6,75
	Si	(mg/l)	0,1	3,0	7,0	1,0	6,0	7,0	8,0	1,0	1,0	7,0	1,0
	SO4	(mg/l)	0,1	70,4	1,0	14,0	3,4	3,6	6,5	1,4	3,2	2,5	6,5
Paramètres indésirable	F	(mg/l)	0,01	0,06	0,07	< 0,01	0,04	0,05	0,07	< 0,01	0,11	< 0,01	0,01
	Fe	(µg/l)	1	321240	4203	957868	52778	36592	3486	632345	11325	1774	665
	Mn	(µg/l)	1	234	244	3009	85	74	66	510	7	5	3
	NH4	(mg/l)	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	NO2	(mg/l)	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	NO3	(mg/l)	0,1	< 0,1	< 0,1	0,7	0,2	< 0,1	< 0,1	1	< 0,1	0,4	0,6
	PO4	(mg/l)	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Paramètres toxiques	Cr	(µg/l)	1	529	< 1	344	324	345	12	195759	2	< 1	< 1
	Cr VI	(µg/l)	5	10	< 5	70	10	10	10	15	< 5	< 5	< 5

Analyses hydrochimiques en laboratoire_ Mars. 2010

Date de prélèvement : 24/03/2010

				Valeurs mesurées									
				Piézomètres									
		Unité de mesure	Limite de détection	09ex0012	09ex0013	09ex0045	09ex0048	09ex0054	09ex0058	09ex0060	09ex0062	09ex0070	09ex0074
Paramètres physico-chimiques	Al	(mg/l)	0,001	0,004	0,001	0,005	0,001	0,004	0,084	0,009	0,007	0,157	0,004
	Ca	(mg/l)	0,1	12,5	2,2	3	1,5	2,2	1,3	2,2	0,3	56	2,7
	Cl	(mg/l)	0,1	7,6	6,2	7	9	6,4	6,4	6,5	6,5	6,4	6,3
	Conductivité	(µS/cm)	0,1	223	61,5	113,2	70,7	114,1	110,4	131,9	46,1	409	92,6
	CO3	(mg/l)	0,1	0,5	<0,1	0,5	<0,1	0,6	0,5	0,9	<0,1	21,8	0,2
	HCO3	(mg/l)	0,1	114,8	16,5	73,9	18,2	75,6	70,9	97,4	12,3	1,9	43,0
	K	(mg/l)	0,05	6,95	0,25	0,65	1,85	0,35	0,3	0,50	0,20	2,45	0,65
	Mg	(mg/l)	0,01	10,42	1,81	11,98	2,05	13,37	13,02	17,49	1,74	0,41	6,68
	Na	(mg/l)	0,01	21,66	5,56	6,69	7,59	5,87	6	6,32	5,33	8,08	5,85
	pH		0,01	7,89	7,25	8,11	7,43	8,12	8,1	8,22	6,36	11,28	7,83
	Si	(mg/l)	0,1	<0,1	6,0	14,0	3,0	18,0	14,0	7,0	2,0	5,0	3,0
	SO4	(mg/l)	0,1	23,1	2,4	0,2	2,9	1,4	1,4	0,9	0,9	4,2	2,2
Paramètres indésirable	F	(mg/l)	0,01	0,07	0,05	0,01	0,03	0,04	0,02	0,07	<0,01	0,05	0,01
	Fe	(µg/l)	1	4	3	175	5	11	<1	42	<1	<1	<1
	Mn	(µg/l)	1	1	230	506	69	92	11	32	35	1	<1
	NH4	(mg/l)	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	NO2	(mg/l)	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	NO3	(mg/l)	0,1	0,4	0,8	<0,1	0,4	0,2	0,3	<0,1	0,6	<0,1	0,2
	PO4	(mg/l)	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Paramètres toxiques	Cr	(µg/l)	1	1	1	<1	16	<1	<1	<1	1	<1	131
	Cr VI	(µg/l)	5	10	10	5	40	10	15	25	20	5	145

Analyses hydrochimiques en laboratoire_ Juin. 2010

Date de prélèvement : 10/06/2010

				Jaugeages	
		Unité de mesure	Limite de détection	KN1	KO5
Paramètres physico-chimiques	Al	(mg/l)	0,001	0,003	0,001
	Ca	(mg/l)	0,1	0,8	0,3
	Cl	(mg/l)	0,1	9,9	9,3
	Conductivité	(µS/cm)	0,1	93	55
	CO3	(mg/l)	0,1	<0,1	<0,1
	HCO3	(mg/l)	0,1	36,4	12,2
	K	(mg/l)	0,05	0,25	0,15
	Mg	(mg/l)	0,01	9,27	3,39
	Na	(mg/l)	0,01	5,09	5,04
	pH		0,01	7,65	6,66
	Si	(mg/l)	0,1	5	2
	SO4	(mg/l)	0,1	7,5	1,7
Paramètres indésirable	F	(mg/l)	0,01	<0,01	<0,01
	Fe	(µg/l)	1	88	11
	Mn	(µg/l)	1	6	2
	NH4	(mg/l)	0,01	<0,01	<0,01
	NO2	(mg/l)	0,01	<0,01	<0,01
	NO3	(mg/l)	0,1	0,5	0,4
	PO4	(mg/l)	0,1	<0,1	<0,1
Paramètres toxiques	Cr	(µg/l)	1	11	<1
	Cr VI	(µg/l)	5	10	<5

Analyses hydrochimiques en laboratoire_ Juillet. 2010

Date de prélèvement : 28/07/2010

				Valeurs mesurées									
				Piézomètres									
		Unité de mesure	Limite de détection	09ex0012	09ex0013	09ex0045	09ex0048	09ex0054	09ex0058	09ex0060	09ex0062	09ex0070	pf22 pz3
Paramètres physico-chimiques	Al	(mg/l)	0,001	0,002	sec	0,003	0,005	0,003	0,001	0,007	0,009	0,008	0,012
	Ca	(mg/l)	0,1	9,9	sec	1,5	1	2,6	1,9	1,5	0,3	9,2	2,3
	Cl	(mg/l)	0,1	8,8	sec	10,2	11,9	9,5	9,6	10	9,8	9,6	9,3
	Conductivité	(µS/cm)	0,1	146	sec	111,6	59,1	116,2	113,1	135,1	46,9	112,5	118,4
	CO3	(mg/l)	0,1	0,5	sec	0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,6	<0,1	5,3	0,2
	HCO3	(mg/l)	0,1	82,6	sec	60,1	8,3	65,5	62,1	88,9	6,6	27	72,7
	K	(mg/l)	0,05	3,1	sec	0,45	1,40	0,03	0,25	0,35	0,25	1,50	0,35
	Mg	(mg/l)	0,01	11,03	sec	11,54	1,93	12,61	12,04	17,50	1,38	2,96	13,67
	Na	(mg/l)	0,01	12,2	sec	6,34	6,61	5,59	5,58	5,99	5,73	7,83	6,03
	pH		0,01	7,98	sec	7,57	5,33	8,08	7,3	8,09	4,73	9,56	7,76
	Si	(mg/l)	0,1	4,0	sec	7,0	1,0	9,0	12,0	8,0	1,0	6,0	9,0
	SO4	(mg/l)	0,1	18,4	sec	1,1	2,8	2,2	1,8	0,7	1,2	5,9	1,5
Paramètres indés	F	(mg/l)	0,01	0,04	sec	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,08	0,02
	Fe	(µg/l)	1	2	sec	3054	16	2340	22	140	17	33	301
	Mn	(µg/l)	1	1	sec	33	34	38	6	39	50	<1	2
	NH4	(mg/l)	0,01	<0,01	sec	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	NO2	(mg/l)	0,01	<0,01	sec	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	NO3	(mg/l)	0,1	0,6	sec	<0,1	0,5	0,2	0,5	0,1	0,8	<0,1	0,1
	PO4	(mg/l)	0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Paramètres toxiques	Cr	(µg/l)	1	5	sec	10	21	15	8	8	14	15	11
	Cr VI	(µg/l)	5	<5	sec	<5	15	<5	<5	5	5	<5	5

ANNEXE 9 :

CD